



TOMO I

INFORME FINAL: Capítulos 1 al 5: Textos

Convenio Desempeño 2014:

Programa de manejo y monitoreo de las mareas rojas en las
regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, Etapa VIII 2014-15

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Mayo 2015



TOMO I

INFORME FINAL: Capítulos 1 al 5: Textos

Convenio Desempeño 2014:

Programa de manejo y monitoreo de las mareas rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, Etapa VIII 2014-15

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Mayo 2015

REQUIRENTE

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

Subsecretaria de Economía Y EMT
Katía Trusich Ortiz

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

TOMO I ÍNDICE GENERAL

	Páginas
ÍNDICE DE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
INDICE TABLAS.....	xxiii
INDICE DE ANEXOS.....	xxvii

Capítulo 1: A. Introducción General al Programa Manejo y Monitoreo Mareas Rojas

RESUMEN EJECUTIVO.....	5
1.1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.1.1. Conceptos de floraciones de algas nociva (FAN) y prevención de las FAN.....	13
1.1.2. Concepto de plaga hidrobiológica.....	15
1.1.3. Floraciones de algas nocivas: estado actual en Chile.....	16
1.1.4. Definición y caracterización de un programa de monitoreo.....	20
1.1.5. Contenido del informe final.....	21
1.2. OBJETIVOS.....	24
1.2.1. Objetivo general.....	24
1.2.2. Objetivos específicos.....	24
1.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

Capítulo 2: B. Monitoreo del micro-fitoplancton y toxinas marinas, incluyendo variables hidrográficas y meteorológicas, VIII etapa (marzo de 2014 a febrero 2015)

2.1. INTRODUCCIÓN.....	39
2.2. OBJETIVOS.....	42
2.2.1 Objetivo general.....	42
2.2.2 Objetivos específicos.....	42
2.3. METODOLOGÍA.....	43
2.3.1 Metodología Objetivo Específico 1.....	43

2.3.2 Metodología Objetivos Específicos 2 y 3	46
2.3.3 Metodología Objetivo Específico 4	48
2.4. GESTIÓN DEL PROYECTO	49
2.5. RESULTADOS	55
2.5.1 Objetivo Específico 1	57
2.5.2 Objetivo Específico 2 y 3	58
2.5.3 Objetivo Específico 4	59
2.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

Capítulo 3: C. Correntometría e hidrografía entre las islas Chaulinec y Tranqui, mar interior de Chiloé

3.1. INTRODUCCIÓN	65
3.2. OBJETIVOS	67
3.2.1 Objetivo específico	67
3.3. METODOLOGÍA	68
3.3.1. Correntometría euleriana	68
3.3.2. Hidrografía	69
3.4. RESULTADOS	70
3.4.1. Correntometría euleriana	70
3.4.1.1. Período otoño (abril-mayo 2014)	70
3.4.1.2. Período primavera (noviembre-diciembre 2014)	70
3.4.2. Hidrografía	71
3.4.2.1. Período otoño (abril-mayo 2014)	71
3.4.2.2. Período primavera (noviembre-diciembre 2014)	72
3.5. DISCUSIÓN	74
3.6. CONCLUSIONES	75
3.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

Capítulo 4: D. Distribución y abundancia de microalgas nocivas, particularmente de *Alexandrium catenella*, y su relación con patrones de circulación en fiordos y canales

4.1. INTRODUCCIÓN	83
4.2. OBJETIVOS	85
4.2. Objetivo específico	85
4.3. METODOLOGÍA	86
4.3.1. Identificación zonas de interés dentro del área de estudio	86
4.3.2. Modelo hidrodinámico regional Aysén	87
4.3.3. Modelo desacoplado de partículas – regional Aysén	89

4.4. RESULTADOS	91
4.4.1. Identificación de zonas de interés dentro del área de estudio	91
4.4.2. Modelo hidrodinámico regional de Aysén	93
4.4.3. Modelo desacoplado de dispersión de partículas – regional de Aysén	95
4.5. DISCUSIÓN.....	97
4.6. CONCLUSIONES	99
4.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

Capítulo 5: E. Primeros resultados del programa de Manejo y Monitoreo de las mareas Rojas para el período mayo 2006 - febrero 2014

5.1. INTRODUCCIÓN.....	107
5.2. OBJETIVOS	109
5.2.1 Objetivo específico	109
5.3. METODOLOGÍA.....	110
5.3.1. Ordenación de los datos y aspectos generales de los análisis.....	111
5.3.2. Metodología para cada una de las siete interrogantes.	116
5.4. RESULTADOS	122
5.4.1. ¿Existen configuraciones espacio temporales (“patterns”) del fitoplancton total en los fiordos y canales australes entre el estuario de Reloncaví y Canal Beagle?.....	126
5.4.2. ¿De existir estas configuraciones espacio temporales, como se relacionan con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?	133
5.4.3. ¿Cuáles son las variables biológicas, oceanográficas y meteorológicas que muestran una mayor correlación con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?	138
5.4.4. ¿Existen configuraciones espacio temporales que puedan ser usadas como herramientas de prevesnción en fenómenos de floraciones nocivas?.....	141
5.4.5. ¿Es factible a partir de la base de datos definir de manera objetiva el número de sitios de muestreo y la distancia entre sitios de muestreo, según las tendencias temporales de la concentración de veneno paralizante en mariscos selectos u otras variables?	157
5.4.6. ¿Es factible establecer una relación predictiva entre estimadores de la abundancia relativa de taxones nocivos y la densidad de estos taxones?	157
5.5. DISCUSIÓN.....	159
5.5.1. ¿Existen configuraciones espacio temporales (“patterns”) del fitoplancton total en los fiordos y canales australes entre seno de Reloncaví y Canal Beagle?	159
5.5.2. ¿De existir estas configuraciones espacio temporal, como se relacionan con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?	161
5.5.3. ¿Cuáles son las variables biológicas, oceanográficas y meteorológicas que muestran una mayor correlación con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?	163
5.5.4. ¿Existen configuraciones espacio temporales que puedan ser usadas como	

herramientas de prevención en fenómenos de floraciones nocivas?	166
5.5.5. ¿Es factible establecer una relación predictiva entre estimadores de la abundancia relativa de taxones nocivos y la densidad de estos taxones?	175
5.6. CONCLUSIONES	178
5.6.1 ¿Existen configuraciones espacio temporales ("patterns") del fitoplancton total en los fiordos y canales australes entre seno de Reloncaví y Canal Beagle?	178
5.6.2 ¿De existir estas configuraciones espacio temporal, como se relacionan con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?	178
5.6.3 ¿Cuáles son la variables biológicas, oceanográficas y metereológicas que muestran una mayor correlación con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?	179
5.6.4 ¿Existen configuraciones espacio-temporales que puedan ser usadas como herramientas de prevención, en fenómenos de floraciones nocivas?	180
5.6.5 ¿Es factible establecer una relación predictiva entre estimadores de la abundancia relativa de taxones nocivos y la densidad de estos taxones?	181
5.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	182

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS

Capítulo 1: A

- Figura. 1.1.** Expansión latitudinal sur – norte de *Alexandrium catenella* y del veneno paralizante de los Mariscos (VPM) en el sistema de fiordos y canales sur australes de Chile. Los * indican detección simultánea de *A. catenella* y VPM; los (I) indican año de detección de *A. catenella* y a la izquierda se muestra año de detección del VPM.
- Figura. 1.2.** Distribución geográfica en el litoral de Chile de la microalga *Alexandrium ostenfeldii*.
- Figura. 1.3.** Distribución geográfica en el litoral de Chile de las microalgas *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis acuta* y *Protoceratium reticulatum*.
- Figura. 1.4.** Distribución geográfica en el litoral de Chile de las toxinas marinas hidrofílicas y lipofílicas detectadas hasta 2014.

Capítulo 2: B

- Figura. 2.1.** Sitios de muestreo y sectorizaciones en las regiones de Los Lagos y Aysén. En azul puntos de muestreo del Subprograma Regular, en rojo sitios de muestreo del Subprograma de Fiscalización y Vigilancia, y en amarillo, localidades de muestreo del Subprograma de Raúl Marín Balmaceda.
- Figura. 2.2.** Sitios de muestreo y sectorizaciones en la región de Magallanes. En azul puntos de muestreo del Subprograma Regular.

Capítulo 3: C

- Figura 3.1.** Posición de los anclajes de ADCP y estaciones de CTDO en periodos de otoño y primavera.
- Figura 3.2.** Elipse de máxima varianza en Chaulinec.
- Figura 3.3.** Representación de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) totales y residuales en el sector de la Isla Chaulinec, X región.

- Figura 3.4.** Análisis espectral de la componente norte-sur en Chaulinec
- Figura 3.5.** Diagrama de vector progresivo de la corriente en Chaulinec.
- Figura 3.6.** Elipse de máxima varianza en isla Tranqui.
- Figura 3.7.** Análisis espectral de la componente norte-sur en Isla Tranqui.
- Figura 3.8.** Representación de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) totales residuales en el sector de la Isla Tranqui, X región.
- Figura 3.9.** Diagrama del vector progresivo de la corriente en Tranqui.
- Figura 3.10.** Elipse de máxima varianza en Isla Tranqui
- Figura 3.11.** Representación de las componentes ortogonales U (este y la componente V (norte)) de la corriente residual en Tranqui.
- Figura 3.12.** Diagrama de vector progresivo de la corriente en Tranqui.
- Figura 3.13.** Análisis espectral de la componente norte-sur en Tranqui. Espectro de la componente U (izquierda) y de la componente V (derecha).
- Figura 3.14.** Elipse de máxima varianza en isla Chaulinec, (26/11/2014 - 04/12/2014).
- Figura 3.15.** Elipse de máxima varianza en isla Chaulinec (18/12/2014 - 22/12/2014)
- Figura 3.16.** Elipse de máxima varianza en isla Chaulinec (24.12.2014 – 27.12.2014).
- Figura 3.17.** Representación de las componentes ortogonales U (este) y la componente V (norte) de la corriente en isla Chaulinec para cada uno de los periodos (de izquierda a derecha: periodos del 26/11/2014 - 04/12/2014, del 18/12/2014 - 22/12/2014 y del 24/12/2014 – 27/12/2014).
- Figura 3.18.** Diagrama del vector progresivo en isla Chaulinec para cada uno de los periodos (de izquierda a derecha: periodos del 26/11/2014 - 04/12/2014, del 18/12/2014 - 22/12/2014 y del 24/12/2014 – 27/12/2014).
- Figura 3.19.** Sección norte-sur de Temperatura, salinidad y oxígeno disuelto para el mes de abril de 2014.
- Figura 3.20.** Sección norte-sur de Temperatura, salinidad y oxígeno disuelto para el mes de mayo de 2014.
- Figura 3.21.** Sección norte-sur de fluorescencia para el mes de abril y mayo de 2014.
- Figura 3.22.** Sección norte-sur de Temperatura, salinidad y oxígeno disuelto para el mes de noviembre de 2014.
- Figura 3.23.** Sección norte-sur de Temperatura, salinidad y oxígeno disuelto para el mes de diciembre de 2014.

- Figura 3.24.** Sección norte-sur de fluorescencia para el mes de noviembre y diciembre de 2014.
- Figura 3.25.** Estructura de temperatura y salinidad mediante isopícnas, para la campaña de otoño.
- Figura 3.26.** Estructura de temperatura y salinidad mediante isopícnas, para la campaña de primavera.

Capítulo 4: D

- Figura 4.1.** Distribución de las estaciones de muestreo para cada una de las tres regiones: a) Los Lagos, b) Aysén, c) Magallanes.
- Figura 4.2.** Dominio de MIKE3 del modelo regional Chiloé-Aysén mostrando malla flexible de elementos triangulares junto a la batimetría interpolada.
- Figura 4.3.** Plano vertical de un modelo de MIKE3 mostrando la distribución de las capas sigma en función de la profundidad.
- Figura 4.4.** Condiciones iniciales de temperatura en superficie procedentes del modelo global Mercator sobre dominio regional Chiloé-Aysén.
- Figura 4.5.** Condiciones iniciales de salinidad en superficie procedentes del modelo global Mercator sobre dominio regional Chiloé-Aysén.
- Figura 4.6.** Serie de tiempo de la condición de borde de nivel del mar en los 3 bordes del modelo regional Chiloé-Aysén.
- Figura 4.7.** Condición de borde de temperatura de MIKE3 a partir del modelo global Mercator.
- Figura 4.8.** Condición de borde de salinidad de MIKE3 a partir del modelo global Mercator.
- Figura 4.9.** Componente U de la velocidad del viento a 10 metros sobre la superficie del modelo global de reanálisis NCEP/NCAR.
- Figura 4.10.** Componente V de la velocidad del viento a 10 metros sobre la superficie del modelo global de reanálisis NCEP/NCAR.
- Figura 4.11.** Presión atmosférica sobre la superficie del modelo global de reanálisis NCEP/NCAR
- Figura 4.12.** Ubicación de las estaciones de CTD-O en la región de Los Lagos (Puntos rojos registros en verano).
- Figura 4.13.** Ubicación de las estaciones de CTD-O en la región de Aysén (Puntos rojos registros en verano, puntos verdes registros en invierno).
- Figura 4.14.** Ubicación de las estaciones de CTD-O en la región de Magallanes (Puntos rojos registros en verano, puntos verdes registros en invierno).

- Figura 4.15.** Ubicación de las estaciones de ACDP's y correntómetros (CORR) en la región de Los Lagos.
- Figura 4.16.** Ubicación de las estaciones ACDP's y correntómetros (CORR) en la región de Aysén.
- Figura 4.17.** Ubicación de las estaciones de ACDP's y correntómetros (CORR) en la región de Magallanes.
- Figura 4.18.** Ubicación de las estaciones de mareógrafos (Marea) en la región de Los Lagos.
- Figura 4.19.** Ubicación de las estaciones de mareógrafos (Marea) en la región de Los Aysén.
- Figura 4.20.** Ubicación de las estaciones de mareógrafos (Marea) en la región de Magallanes.
- Figura 4.21.** Ubicación de las estaciones meteorológicas en la región de Los Lagos.
- Figura 4.22.** Ubicación de las estaciones meteorológicas en la región de Aysén.
- Figura 4.23.** Ubicación de las estaciones meteorológicas en la región de Magallanes.
- Figura 4.24.** Densidad promedio de *Alexandrium catenella* (cél L⁻¹) para el período 2006 – 2014 en la región de los Lagos.
- Figura 4.25.** Densidad promedio de *Alexandrium catenella* (cél L⁻¹) para el período 2006 – 2014 en la región de Aysén.
- Figura 4.26.** Densidad promedio de *Alexandrium catenella* (cél L⁻¹) para el período 2006 – 2014 en la región de Magallanes.
- Figura 4.27.** Abundancia relativa promedio para *Alexandrium catenella* durante el período 2006 – 2014 en la región de los Lagos.
- Figura 4.28.** Abundancia relativa promedio para *Alexandrium catenella* durante el período 2006 – 2014 en la región de Aysén.
- Figura 4.29.** Abundancia relativa promedio para *Alexandrium catenella* durante el período 2006 – 2014 en la región de Magallanes.
- Figura 4.30.** Ocurrencia promedio de *Alexandrium catenella* (%) para el periodo 2006 – 2014 en la región de los Lagos
- Figura 4.31.** Ocurrencia promedio (%) de *Alexandrium catenella* para el período 2006 – 2014 en la región de Aysén.
- Figura 4.32.** Ocurrencia promedio de *Alexandrium catenella* (%) para el período 2006 – 2014 en la región de Magallanes.
- Figura 4.33.** Concentración promedio de Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM, µg eq. STX 100 g⁻¹) para el período 2006 – 2014 en la región de los Lagos.
- Figura 4.34.** Concentración promedio de Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM, µg eq. STX100 g⁻¹) para el período 2006 – 2014 en la región de Aysén.

- Figura 4.35.** Concentración promedio de Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM, $\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$) para el período 2006 – 2014 en la región de Magallanes.
- Figura 4.36a** Abundancia promedio de *Alexandrium catenella* (cel L^{-1}) para las etapas I - IV en la región de Aysén.
- Figura 4.36b.** Abundancia promedio de *Alexandrium catenella* (cel L^{-1}) para las etapas V – VII en la región de Aysén.
- Figura 4.37.** Circulación superficial promedio para región de Aysén.
- Figura 4.38.** Vectores a) Flujo y b) Reflujo general para la región de Aysén.
- Figura 4.39.** Circulación superficial promedio para región de Aysén (a) y zona de Melinka (b).
- Figura 4.40** Circulación superficial promedio para región de Aysén (a) y zona de canal Puyuhuapi (b).
- Figura 4.41.** Circulación superficial promedio para región de Aysén (a) y zona sur de canal Moraleda (b).
- Figura 4.42.** Promedio ($\pm\text{DE}$) densidad (Cél L^{-1}) de *Alexandrium catenella* para las zonas a) Melinka, b) Canales Jacaf - Puyuhuapi.
- Figura 4.43a.** Promedio ($\pm\text{DE}$) Abundancia (Cel L^{-1}) de *Alexandrium catenella* para las zonas a) canal Moraleda – isla Magdalena, b) canal Moraleda – Puerto Aguirre.
- Figura 4.43b.** Promedio ($\pm\text{DE}$) Abundancia (Cel L^{-1}) de *Alexandrium catenella* para las zonas a) zona isla Traiguén, b) Tortel.
- Figura 4.44.** Ubicación geográfica de los sectores de interés escogidos para el desarrollo del Objetivo 6. Se muestra además la nomenclatura de la estación de muestreo y entre paréntesis el promedio de la densidad (cél L^{-1}) y porcentaje de ocurrencia.
- Figura 4.45.** Distribuciones temporales para *A. catenella* en la estación A03 puerto Barrientos: a) densidad (cel L^{-1}), b) VPM ($\mu\text{g eq. SXT } 100 \text{ g}^{-1}$), c) abundancia relativa (AR) y registros temporales de: d) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), e) salinidad (psu) y f) densidad (kg m^{-3}).
- Figura 4.46.** Distribuciones temporales para *A. catenella* en la estación A22 isla San Andrés: a) densidad (cel L^{-1}), b) VPM ($\mu\text{g eq. SXT } 100 \text{ g}^{-1}$), c) abundancia relativa (AR) y registros temporales de: d) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), e) salinidad (psu) y f) densidad (kg m^{-3}).
- Figura 4.47.** Distribuciones temporales para *A. catenella* en la estación A43 Playas Largas: a) densidad (cel L^{-1}), b) VPM ($\mu\text{g SXT eq. } 100 \text{ g}^{-1}$), c) abundancia relativa (AR) y registros temporales de: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad (psu) y densidad (kg m^{-3}).
- Figuras 4.48** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en las tres estaciones de estudio de la región de Aysén, b) Desplazamiento de las partículas a 24 horas.

- Figuras 4.48.** Matriz de liberación de partículas (microalgas) en las tres estaciones de estudio de la región de Aysén, desplazamiento de las partículas a 48 (a) y 72 (b) horas.
- Figuras 4.49.** Matriz de liberación de partículas (microalgas) en las tres estaciones de estudio de la región de Aysén, desplazamiento de las partículas a 96 (a) y 120 (b) horas.
- Figuras 4.50.** Matriz de liberación de partículas (microalgas) en las tres estaciones de estudio de la región de Aysén, desplazamiento de las partículas a 144 (a) y 168 (b) horas.
- Figuras 4.51.** Matriz de liberación de partículas (microalgas) en las tres estaciones de estudio de la región de Aysén, desplazamiento de las partículas a 192 (a) y 216 (b) horas.
- Figuras 4.52.** Matriz de liberación de partículas (microalgas) en las tres estaciones de estudio de la región de Aysén, desplazamiento de las partículas a 240 (a) y 264 (b) horas.
- Figuras 4.53.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A03 Puerto Barrientos, b) Desplazamiento de las partículas a 24 horas.
- Figuras 4.54.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A03 Puerto Barrientos, b) Desplazamiento de las partículas a 48 (a) y 72 (b) horas..
- Figuras 4.55.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A03 puerto Barrientos, b) Desplazamiento de las partículas a 96 (a) y 120 (b) horas.
- Figuras 4.56.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A03 puerto Barrientos, b) Desplazamiento de las partículas a 144 (a) y 168 (b) horas.
- Figuras 4.57.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A03 puerto Barrientos, b) Desplazamiento de las partículas a 192 (a) y 216 (b) horas.
- Figuras 4.58.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A03 puerto Barrientos, b) Desplazamiento de las partículas a 240 (a) y 264 (b) horas.
- Figuras 4.59.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A22 isla San Andrés, b) Desplazamiento de las partículas a 24 horas.
- Figuras 4.60.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A22 isla San Andrés, b) Desplazamiento de las partículas a 44 (a) y 72 (b) horas.
- Figuras 4.61.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A22 isla San Andrés, b) Desplazamiento de las partículas a 96 (a) y 120 (b) horas.
- Figuras 4.62.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A22 isla San Andrés, b) Desplazamiento de las partículas a 144 (a) y 168 (b) horas.
- Figuras 4.63.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A22 isla San Andrés, b) Desplazamiento de las partículas a 192 (a) y 216 (b) horas.
- Figuras 4.64.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A22 isla San Andrés, b) Desplazamiento de las partículas a 240 (a) y 264 (b) horas.

- Figuras 4.65.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A43 Playas Largas,
b) Desplazamiento de las partículas a 24 horas.
- Figuras 4.66.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A43 Playas Largas,
b) Desplazamiento de las partículas a 48 (a) y 72 (b) horas.
- Figuras 4.67.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A43 Playas Largas,
b) Desplazamiento de las partículas a 96 (a) y 120 (b) horas.
- Figuras 4.68.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A43 Playas Largas,
b) Desplazamiento de las partículas a 144 (a) y 168 (b) horas.
- Figuras 4.69.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A43 Playas Largas,
b) Desplazamiento de las partículas a 192 (a) y 216 (b) horas.
- Figuras 4.70.** a) Matriz de liberación de partículas (microalgas) en la estación A43 Playas Largas,
b) Desplazamiento de las partículas a 240 (a) y 264 (b) horas.

Capítulo 5: E

- Figura 5.1.** Registros máximos en los niveles de VPM para cada una de las tres regiones administrativas durante el periodo de estudio (mayo 2006 a febrero de 2014).
- Figura 5.2.** Periodos del año con un mayor riesgo de incremento de densidad u ocurrencia de floración de *Alexandrium catenella*.
- Figura 5.3.** Conglomerados definidos con las 158 estaciones de estudio para en promedio del fitoplancton cuantitativo (cel L⁻¹) en el periodo entre marzo de 2006 y febrero de 2014.
- Figura 5.4.** Ordenamiento multidimensional de las 158 estaciones de estudio para en promedio del fitoplancton cuantitativo (cel L⁻¹) en el periodo entre mayo de 2006 y febrero de 2014.
- Figura 5.5a.** Mapa por regiones con los grupos resultantes del análisis de conglomerados para el promedio del fitoplancton cuantitativo (cel L⁻¹) en el periodo entre mayo de 2006 y febrero de 2014.
- Figura 5.5b.** Leyenda de símbolos y colores para cada uno de los 31 grupos de estaciones segregados y mapeados en la Figura 5.5a.
- Figura 5.6.** Análisis de MDS para la distribución temporal de fitoplancton entre fiordo de Reloncaví a Cabo de Hornos. Las estaciones fueron agrupadas de acuerdo al grado de similitud que presentan las especies del ensamble de fitoplancton presentes en determinadas zonas.
- Figura 5.7.** Importancia de las especies nocivas en las zonas comprendidas entre seno de Reloncaví y Cabo de Hornos. Diatomeas nocivas, corresponden a la sumatoria de las

especies del género *Pseudonitzschia* (*P. cf. pseudodelicatissima* y *P. cf. australis*). En tanto, los dinoflagelados nocivos corresponde a la sumatoria de las contribuciones de *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuta*, *D. acuminata* y *Protoceratium reticulatum*.

- Figura 5.8.** Estacionalidad del fitoplancton total (diatomeas + dinoflagelados), para zonas comprendidas entre seno de Reloncaví (Los Lagos) hasta canal Beagle (Magallanes).
- Figura 5.9.** Composición del fitoplancton dominante (15 especies) en cada uno de los grupos y estaciones segregadas individualmente con el análisis de clúster para el sector de **a)** Fiordo de Reloncaví, **b)** Calbuco y **c)** Quemchi.
- Figura 5.10.** Composición del fitoplancton dominante (15 especies) en cada uno de los grupos y estaciones segregadas individualmente con el análisis de clúster para el sector de **a)** Quellón, **b)** Aysén Norte 1 y **c)** Aysén Norte 2.
- Figura 5.11.** Composición del fitoplancton dominante (15 especies) en cada uno de los grupos y estaciones segregadas individualmente con el análisis de clúster para el sector de **a)** estero Pitipalena, **b)** estero Elefantes y **c)** Moraleda centro 1.
- Figura 5.12.** Composición del fitoplancton dominante (15 especies) en cada uno de los grupos y estaciones segregadas individualmente con el análisis de clúster para el sector de **a)** isla Meninea, **b)** Tortel y **c)** Magallanes centro 2.
- Figura 5.13.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el fiordo de Reloncaví, región de Los Lagos.
- Figura 5.14.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el seno de Reloncaví, región de Los Lagos.
- Figura 5.15.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en la zona de Calbuco, región de Los Lagos.
- Figura 5.16.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en la zona de Quemchi, región de Los Lagos.
- Figura 5.17.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de I. Desertores, región de Los Lagos.
- Figura 5.18.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de Dalcahue, región de Los Lagos.
- Figura 5.19.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de Quellón, región de Los Lagos.
- Figura 5.20.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de Corcovado 1, región de Los Lagos.
- Figura 5.21.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de Corcovado 2, región de Los Lagos.

- Figura 5.22.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de Aysén norte 2, región de Aysén.
- Figura 5.23.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de estero Pitipalena, región de Aysén
- Figura 5.24.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de los canales Jacaf-Puyuhuapi, región de Aysén.
- Figura 5.25.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de I. Huichas, región de Aysén.
- Figura 5.26.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector norte de canal Moraleda (Moraleda 1), región de Aysén.
- Figura 5.27.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector sur de canal Moraleda (Moraleda 2), región de Aysén.
- Figura 5.28.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el seno Aysén, región de Aysén.
- Figura 5.29.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de I. Meninea, región de Aysén.
- Figura 5.30.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de estero Elefantes, región de Aysén.
- Figura 5.31.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en canal Chacabuco, región de Aysén.
- Figura 5.32.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de Tortel, región de Aysén.
- Figura 5.33.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de Magallanes norte, región de Magallanes.
- Figura 5.34.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de Magallanes norte 2, región de Magallanes
- Figura 5.35.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de I. Piazzzi - B. Isthmus, región de Magallanes
- Figura 5.36.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de seno Otway, región de Magallanes.
- Figura 5.37.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector norte-sur del estrecho de Magallanes, región de Magallanes.

- Figura 5.38.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector este-oeste del estrecho de Magallanes, región de Magallanes.
- Figura 5.39.** Estacionalidad del micro-fitoplancton con las mayores contribuciones a la similitud del ensamble, ubicado en el sector de canal Beagle, región de Magallanes.
- Figura 5.40.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de conglomerados (solo grupos representativos) en base a la abundancia relativa promedio mensual de *A. catenella* para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.
- Figura 5.41.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de conglomerados (solo grupos representativos) en base a la abundancia relativa promedio mensual de *A. ostenfeldii* para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.
- Figura 5.42.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de conglomerados (solo grupos representativos) en base a la abundancia relativa promedio mensual de *D. acuminata* para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.
- Figura 5.43.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de conglomerados (solo grupos representativos) en base a la abundancia relativa promedio mensual de *D. acuta* para las regiones de Los Lagos Aysén y Magallanes.
- Figura 5.44.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de conglomerados (solo grupos representativos) en base a la abundancia relativa promedio mensual de *P. reticulatum* para las regiones de Los Lagos Aysén y Magallanes.
- Figura 5.45.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de conglomerados (solo grupos representativos) en base a la abundancia relativa promedio mensual de *P. australis* para las regiones de Los Lagos Aysén y Magallanes.
- Figura 5.46.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de conglomerados (solo grupos representativos) en base a la abundancia relativa promedio mensual de *P. pseudodelicatissima* para las regiones de Los Lagos Aysén y Magallanes.
- Figura 5.47.** Análisis de correlación entre la abundancia de fitoplancton total (cel L⁻¹) y la abundancia relativa para los grupos definidos a través del análisis de conglomerados (grupos representativos) de *A. catenella*. a) análisis general para el conjunto de grupos. Las demás graficas representan el análisis de cada grupo por separado.
- Figura 5.48.** Análisis de correlación entre la abundancia de fitoplancton total (cel L⁻¹) y la abundancia relativa para los grupos definidos a través del análisis de conglomerados (grupos representativos) de *A. ostenfeldii*. a) análisis general para el conjunto de grupos. Las demás graficas representan el análisis de cada grupo por separado.
- Figura 5.49.** Análisis de correlación entre la abundancia de fitoplancton total (cel L⁻¹) y la abundancia relativa para los grupos definidos a través del análisis de conglomerados

(grupos representativos) de *D. acuminata*. a) análisis general para el conjunto de grupos. Las demás graficas representan el análisis de cada grupo por separado.

Figura 5.50. Análisis de correlación entre la abundancia de fitoplancton total (cel L⁻¹) y la abundancia relativa para los grupos definidos a través del análisis de conglomerados (grupos representativos) de *D. acuta*. a) análisis general para el conjunto de grupos. Las demás gráficas representan el análisis de cada grupo por separado

Figura 5.51. Análisis de correlación entre la abundancia de fitoplancton total (cel L⁻¹) y la abundancia relativa para los grupos definidos a través del análisis de conglomerados (grupos representativos) de *P. reticulatum*. a) análisis general para el conjunto de grupos. Las demás graficas representan el análisis de cada grupo por separado

Figura 5.52. Análisis de correlación entre la abundancia de fitoplancton total (cel L⁻¹) y la abundancia relativa para los grupos definidos a través del análisis de conglomerados (grupos representativos) de *P. australis*. a) análisis general para el conjunto de grupos. Las demás graficas representan el análisis de cada grupo por separado

Figura 5.53. Análisis de correlación entre la abundancia de fitoplancton total (cel L⁻¹) y la abundancia relativa para los grupos definidos a través del análisis de conglomerados (grupos representativos) de *P. pseudodelicatissima*. a) análisis general para el conjunto de grupos. Las demás graficas representan el análisis de cada grupo por separado.

Figura 5.54. Gráfico de Draftsman elaborado a partir de los datos no transformados de las seis variables ambientales de estudio.

Figura 5.55. Representación bidimensional del análisis de componentes principales llevado a cabo a partir de las variables ambientales: Temperatura (°C) y salinidad (psu) a 5 metros de profundidad, nubosidad (8vos), presión atmosférica (mba), dirección (grados) y velocidad del viento (m s⁻¹).

Figura 5.56. Dendograma de ordenación de las estaciones de muestreo, obtenido a partir del análisis de “clúster” aplicado a las variables ambientales. En colores y con un símbolo se indican las 11 agrupaciones formadas a partir de este análisis (ver texto).

Figura 5.57. Mapa distribución geográfica de los 10 grupos definidos por el análisis de clúster para las variables ambientales. En la leyenda adjunta se identifica por colores a cada grupo de estaciones segregado.

Figura 5.58. Ordenación nMDS de las estaciones de muestreo analizadas, obtenidas a partir de la matriz de índices de similitud euclidianas entre las variables ambientales promediadas anualmente. El valor de *stress* (0.1) refleja, a grandes rasgos, el nivel de similitud entre las estaciones de muestreo. Los diez símbolos de colores reflejan los 11 grupos obtenidos en el dendograma de la Figura 3. Las líneas discontinuas de colores representan el conjunto de grupos de estaciones asociadas con grados de similitud semejantes (a mayor valor menos similares o más distantes)

- Figura 5.59.** Dendograma de ordenación de las estaciones de muestreo, obtenido a partir del análisis de “clúster” aplicado a la abundancia relativa de las especies nocivas. En colores y con un símbolo se indican las 27 agrupaciones formadas a partir de este análisis (ver texto).
- Figura 5.60.** Mapa distribución geográfica de los 27 grupos definidos por el análisis de clúster para la abundancia relativa. En la leyenda de la **Figura 5.61** se identifica por colores a cada grupo de estaciones segregadas.
- Figura 5.61.** Leyenda de símbolos y colores para cada uno de los 27 grupos de estaciones segregados y mapeados en la Figura 7.
- Figura 5.62.** Ordenación nMDS de las estaciones de muestreo analizadas, obtenidas a partir de la matriz de índices de Bray–Curtis euclidianas de la abundancia relativa de las especies nocivas promediadas anualmente. El valor de *stress* (0.12) refleja, a grandes rasgos, el nivel de similitud entre las estaciones de muestreo. Los símbolos de colores reflejan cada uno 27 grupos obtenidos en el dendograma de la Figura 3. Las líneas discontinuas de colores representan los conjuntos de grupos de estaciones con porcentajes de similitud similares (65, 75 y 85%)
- Figura 5.63.** Grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la toxicidad por VPM promedio máxima por grupo (**TPMG**), integrados por las 152 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Ver **Figura 5.64** para información detallada del eje x.
- Figura 5.64.** Detalle de las 152 estaciones que conforman los diferentes grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la toxicidad por VPM promedio mensual máximo por grupo (**TPMG**), para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Al lado de cada grupo se indica el número de rango de **TPMG** (sup.) y el número de estaciones por región (inf.) que conforman cada grupo.
- Figura 5.65.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la toxicidad promedio máxima por grupo (**TPMG**) de VPM por bioensayo ratón para las regiones de Los Lagos Aysén y Magallanes.
- Figura 5.66.** Distribución anual de la toxicidad de VPM promedio mensual por grupo ($\mu\text{g STX eq./100 g}$, eje x como raíz cuadrada de la toxicidad, excepto el gráfico **e**) para el periodo 2006-2013. Se indica el mes en el que ocurrió la toxicidad promedio máxima por grupo, **TPMG** (valor real), denominación, color y número de estaciones por grupo resultante del análisis de CLUSTER. Gráficos **a-d** señala, grupos de estaciones con rangos similares de **TPMG**, ordenados de mayor a menor número de estaciones por rango; gráfico **e**, estaciones individuales no agrupadas por el análisis de CLUSTER; recuadro inferior indica número de estaciones por región con toxicidad no detectable (ND) para el periodo de estudio.

- Figura 5.67.** Grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio máxima por grupo (**ARPMG**) de *A. catenella*, integrados por las 158 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Ver Figura 5.68 para información detallada del eje x.
- Figura 5.68.** Detalle de las 158 estaciones que conforman los diferentes grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa de *A. catenella* promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**), para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Al lado de cada grupo se indica el número de rango de **ARPMG** (sup.) y el número de estaciones por región (inf.) que conforman cada grupo.
- Figura 5.69.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**) de *A. catenella* para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.
- Figura 5.70.** Distribución anual de la abundancia relativa de *A. catenella* promedio mensual por grupo para el periodo 2006-2013. Se indica el mes en el que ocurrió la abundancia relativa promedio máxima por grupo (**ARPMG**), denominación, color del grupo y número de estaciones por grupo resultante del análisis de CLUSTER. Gráficos **a-e** señalan grupos de estaciones con rangos similares de **ARPMG**, ordenados de mayor a menor número de estaciones por rango; gráfico **f**, estación individual, no agrupada por el análisis de CLUSTER. El recuadro inferior indica el número de estaciones por región con toxicidad no detectable (ND) para el periodo de estudio.
- Figura 5.71.** Grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio máxima por grupo (**ARPMG**) de *A. ostentfeldii*, integrados por las 158 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Ver **Figura 5.72** para información detallada del eje x.
- Figura 5.72.** Detalle de las 158 estaciones que conforman los diferentes grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa de *A. ostentfeldii* promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**), para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Al lado de cada grupo se indica el número de rango de **ARPMG** (sup.) y el número de estaciones por región (inf.) que conforman cada grupo.
- Figura 5.73.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**) de *A. ostentfeldii* para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.
- Figura 5.74.** Distribución anual de la abundancia relativa de *A. ostentfeldii* promedio mensual por grupo para el periodo 2006-2013. Se indica el mes en el que ocurrió la abundancia relativa promedio máxima por grupo (**ARPMG**), denominación, color del grupo y número de estaciones por grupo resultante del análisis de CLUSTER. Gráficos **a-c** señalan grupos de estaciones con rangos similares de **ARPMG**, ordenados de mayor a menor número de estaciones por rango. El gráfico **d**, estaciones individuales no agrupada por el análisis de CLUSTER.

- Figura 5.75.** Análisis de correspondencia para las variables VPM, *A. catenella* y *A. ostenfeldii* (sup.) que muestra las relaciones significativas entre ellas (círculos y líneas, según Tabla 5.14) y con los sitios de muestreo categorizados por sector regional (inf., círculos negros): Los Lagos Norte (LN), Los Lagos centro (LC), Los Lagos sur (LS), Raúl Marín Balmaceda (R), Melinka (M), Canal Moreleda (CM), Aysén norte (AN), Aysén sur (AS), Tortel (T), Magallanes norte (MN), Magallanes centro (MC, Magallanes sur (MS). Nótese que Los Lagos y Aysén (círculos sup.) son discriminados por la dimensión 1, mientras Magallanes (círculo inf.) es discriminado de las regiones anteriores por la dimensión 2.
- Figura 5.76.** Grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base al promedio porcentual mensual máximo de toxicidad por grupo (**PPMG**) debido a toxinas lipofílicas (bioensayo positivo a VDM), que integran las 152 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Ver **Figura 5.77** para información detallada del eje x.
- Figura 5.77** Detalle de las 152 estaciones que conforman los diferentes Grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base al promedio porcentual mensual máximo de toxicidad por grupo (**PPMG**) debido a toxinas lipofílicas (bioensayo positivo a VDM), para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Al lado de cada grupo se indica el número de rango de **PPMG** (sup.) y el número de estaciones por región (inf.) que conforman cada grupo.
- Figura 5.78.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base del promedio porcentual mensual (**PPM**) de positivos a VDM por bioensayo ratón para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.
- Figura 5.79.** Distribución de la frecuencia del promedio porcentual mensual de positivos a VDM por bioensayo ratón. Se indica el mes en el que ocurrió el promedio porcentual mensual máximo por grupo (**PPMG**), denominación, color y número de estaciones por grupo resultante del análisis de CLUSTER. Gráficos **a-c** señala grupos de estaciones con rangos similares de **PPMG**, ordenados de mayor a menor número de estaciones por rango; gráfico **d**, estaciones individuales no agrupadas por el análisis de CLUSTER.
- Figura 5.80.** Grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio máxima por grupo (**ARPMG**) de *D. acuminata*, integrados por las 158 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Ver **Figura 5.81** para información detallada del eje x.
- Figura 5.81.** Detalle de las 158 estaciones que conforman los diferentes grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa de *D. acuminata* promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**), para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Al lado de cada grupo se indica el número de rango de **ARPMG** (sup.) y el número de estaciones por región (inf.) que conforman cada grupo.

- Figura 5.82.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**) de *D. acuminata* para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.
- Figura 5.83.** Distribución anual de la abundancia relativa de *D. acuminata* promedio mensual por grupo para el periodo 2006-2013. Se indica el mes en el que ocurrió la abundancia relativa promedio máxima por grupo (**ARPMG**), denominación, color del grupo y número de estaciones por grupo resultante del análisis de CLUSTER. Gráficos **a-d** señalan grupos de estaciones con rangos similares de **ARPMG**, ordenados de mayor a menor número de estaciones por rango. Grupo **a**, no agrupado.
- Figura 5.84.** Grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio máxima por grupo (**ARPMG**) de *D. acuta*, integrados por las 158 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Ver **Figura 5.85** para información detallada del eje x.
- Figura 5.85** Detalle de las 158 estaciones que conforman los diferentes grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa de *D. acuta* promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**), para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Al lado de cada grupo se indica el número de rango de **ARPMG** (sup.) y el número de estaciones por región (inf.) que conforman cada grupo.
- Figura 5.86.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**) de *D. acuta* para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.
- Figura 5.87.** Distribución anual de la abundancia relativa de *D. acuta* promedio mensual por grupo para el periodo 2006-2013. Se indica el mes en el que ocurrió la abundancia relativa promedio máxima por grupo (**ARPMG**), denominación, color del grupo y número de estaciones por grupo resultante del análisis de CLUSTER. Gráficos **a-c** señalan grupos de estaciones con rangos similares de **ARPMG**, ordenados de mayor a menor número de estaciones por rango. El gráfico **d**, señala una estación no agrupada por el análisis de CLUSTER. Recuadro inferior, estaciones con registro no detectable (ND) de la microalga.
- Figura 5.88.** Grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio máxima por grupo (**ARPMG**) de *P. reticulatum*, integrados por las 158 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Ver **Figura 5.89** para información detallada del eje x.
- Figura 5.89.** Detalle de las 158 estaciones que conforman los diferentes grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa de *P. reticulatum* promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**), para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Al lado de cada grupo se indica el número de rango de **ARPMG** (sup.) y el número de estaciones por región (inf.) que conforman cada grupo.

- Figura 5.90.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**) de *P. reticulatum* para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.
- Figura 5.91.** Distribución anual de la abundancia relativa de *P. reticulatum* promedio mensual por grupo para el periodo 2006-2013. Se indica el mes en el que ocurrió la abundancia relativa promedio máxima por grupo (**ARPMG**), denominación, color del grupo y número de estaciones por grupo resultante del análisis de CLUSTER. Gráficos **a-e** señalan grupos de estaciones con rangos similares de **ARPMG**, ordenados de mayor a menor número de estaciones por rango. El gráfico **f**, señala estaciones no agrupada por el análisis de CLUSTER. Recuadro inferior, estaciones con registro no detectable (ND).
- Figura 5.92.** Análisis de correspondencia para las variables VDM (toxinas lipofílicas), *D. acuminata*, *D. acuta* y *P. reticulatum* (sup.) que muestra las relaciones significativas entre ellas (círculos y líneas, según Tabla 5.19) y con los sitios de muestreo categorizados por sector regional (inf., círculos negros): Los Lagos Norte (LN), Los Lagos centro (LC), Los Lagos sur (LS), Raúl Marín Balmaceda (R), Melinka (M), Canal Moreleda (CM), Aysén norte (AN), Aysén sur (AS), Tortel (T), Magallanes norte (MN), Magallanes centro (MC), Magallanes sur (MS). Nótese que Los Lagos y Magallanes (círculo der.) son discriminados por la dimensión 2, mientras Aysén (círculo izq.) es discriminado de las regiones anteriores por la dimensión 1.
- Figura 5.93.** Análisis de correspondencia para las variables VPM, *A. catenella* y *A. ostenfeldii* asociadas a los meses con mayor probabilidad (indicada con flechas en base a Tabla 5.20) en que ocurren los máximos promedios grupales respectivos. Flechas rojas para VPM (sup. e inf.), flechas azules para *A. catenella* (sup.) y flechas verdes para *A. ostenfeldii* (inf.).
- Figura 5.94.** Análisis de correspondencia para las variables VDM, *D. acuminata*, *D. acuta* y *P. reticulatum* asociadas a los meses con mayor probabilidad (indicada con flechas en base a Tabla 5.21) en que ocurren los máximos promedios grupales respectivos. Flechas rojas para VDM (sup., centro e inf.), flechas azules para *D. acuminata* (sup.), flechas verdes para *D. acuta* (centro) y flechas grises para *P. reticulatum* (inf.).
- Figura 5.95.** Grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio máxima por grupo (**ARPMG**) de *A. cf. australis*, integrados por las 158 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Ver **Figura 5.97** para información detallada del eje x.
- Figura 5.96.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**) de *P. australis* para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.
- Figura 5.97.** Detalle de las 158 estaciones que conforman los diferentes grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa de *P. cf. australis* promedio

mensual máxima por grupo (**ARPMG**), para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Al lado de cada grupo se indica el número de rango de **ARPMG** (sup.) y el número de estaciones por región (inf.) que conforman cada grupo.

- Figura 5.98.** Distribución anual de la abundancia relativa promedio mensual por grupo de *P. cf. australis* para el periodo 2006-2013 en las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). En gráficos **a-d** se indica el mes en el que ocurrió la abundancia relativa promedio máxima por grupo (**ARPMG**), denominación, color del grupo y número de estaciones por grupo resultante del análisis de CLUSTER.
- Figura 5.99.** Grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio máxima por grupo (**ARPMG**) de *P. cf. pseudodelicatissima*, integrados por las 158 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Ver **Figura 5.101** para información detallada del eje x.
- Figura 5.100.** Distribución geográfica de los grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**) de *P. pseudodelicatissima* para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes
- Figura 5.101.** Detalle de las 158 estaciones que conforman los diferentes grupos resultantes del análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa de *P. cf. pseudodelicatissima* promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**), para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Al lado de cada grupo se indica el número de rango de **ARPMG** (sup.) y el número de estaciones por región (inf.) que conforman cada grupo
- Figura 5.102.** Distribución anual de la abundancia relativa de *P. cf. pseudodelicatissima* promedio mensual por grupo para el periodo 2006-2013 en las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). En gráficos **a-e** se indica el mes en el que ocurrió la abundancia relativa promedio máxima por grupo (**ARPMG**), denominación, color del grupo y número de estaciones por grupo resultante del análisis de CLUSTER.
- Figura 5.103.** Dispersión de los valores observados (círculos calipsos), valores promedio ($\pm$ error estándar) (círculos verdes) y modelos ajustados (lineal y potencial) para estimar la densidad a partir de la abundancia relativa para *A. catenella*.
- Modelo potencial con ecuación $y = (23,2 \pm 30,8)X^{(4,3 \pm 0,6)}$ ($r^2 = 0,96$; $p = 0.0001$)
- Figura 5.104.** Dispersión de los valores observados (círculos calipsos), valores promedio ($\pm$ error estándar) (círculos verdes) y modelos ajustados (lineal y potencial) para estimar la densidad a partir de la abundancia relativa para *D. acuminata*.
- Modelo logarítmico con ecuación $y = -(15,5 \pm 287) + (411,4 \pm 173) \ln(X)$ ($r^2 = 0,466$; $p = 0.041$).
- Figura 5.105.** Dispersión de los valores observados (círculos calipsos), valores promedio ($\pm$ error estándar) (círculos verdes) y modelos ajustados (lineal y potencial) para estimar la densidad a partir de la abundancia relativa para *D. acuta*.

Modelo potencial con ecuación $y = (122,2 \pm 48,4)X^{(1,04 \pm 0,22)}$ ($r^2 = 0,91$; $p = 0.002$).

Figura 5.106. Dispersión de los valores observados (círculos calipsos), valores promedio ($\pm$ error estándar) (círculos verdes) y modelos ajustados (lineal y potencial) para estimar la densidad a partir de la abundancia relativa para *P. reticulatum*. Modelo potencial con ecuación $y = (65,7 \pm 79,3)X^{(2,17 \pm 0,66)}$ ($r^2 = 0,86$; $p = 0.016$).

ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS

Capítulo 1: A

Tabla 2.1. Transvectores recolectados para la detección de toxicidad (VPM, VDM y VAM) en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.*6 estaciones pre-cosecha de ostión del sur.

Capítulo 2: B

Tabla 2.2. Escalas de abundancia relativa para *Dinophysis acuta*, *Alexandrium catenella*, *Pseudo-nitzschia* cf. *australis* y *P.* cf. *pseudodelicatissima*. Número de células promedio bajo un cubre-objeto de 18x18 mm en 3 alícuotas de 0,1 ml cada una.

Capítulo 3: C

Tabla 3.1. Ubicación de anclajes de ADCP.

Tabla 3.2. Los puntos geográficos de las estaciones de CDTO, durante campaña de otoño y primavera, fueron los siguientes:

Capítulo 5: E

Tabla 5.1. Contribución porcentual de los 10 taxones que más contribuyen a la abundancia total de cada uno de los 30 grupos segregados por el análisis de CLUSTER.

Tabla 5.2. Grupos de taxones por región administrativa (Los Lagos LL, Aysén AY, Magallanes, MAG) resultantes de la ordenación (escalafón) de la contribución porcentual a la abundancia total del fitoplancton.

Tabla 5.3. Se detallan aquellas especies que presentaron el mayor porcentaje de contribución a la similitud del ensamble del micro-fitoplancton.

Tabla 5.5. Matriz de correlaciones entre las variables ambientales (Coeficientes de Pearson en rojo indican nivel de significancia mayor a 0,05)

Tabla 5.4. Códigos y distribución (zona-sector) de las 7 especies nocivas para los diferentes grupos representativos derivados del análisis de conglomerados para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes

- Tabla 5.6.** Valores propios de las variables ambientales medidas para los seis primeros ejes del análisis de componentes principales (ACP) y la varianza absorbida para cada uno de los ejes.
- Tabla 5.7.** Prueba estadística ANOSIM comparando los grupos de estaciones a partir de las variables ambientales (R global = 0,887). En rojo se muestra el par de grupos con menor distancia significativa (mayor similitud entre grupos).
- Tabla 5.8.** Prueba estadística ANOSIM comparando los grupos de estaciones a partir de la abundancia relativa de las siete especies nocivas (R global = 0,952). En rojo se muestra el par de grupos con menor distancia significativa (mayor similitud entre grupos).
- Tabla 5.9.** Resultados del análisis SIMPER. Para cada uno de los 25 grupos de estaciones (se excluyen 2 grupos por tener menos de 3 estaciones) se muestra su similitud promedio (en negrita) y las especies de acuerdo a su contribución dentro de cada grupo. Además se muestra la abundancia relativa promedio, la similitud promedio y la tasa del análisis (similitud/desviación estándar) para cada grupo.
- Tabla 5.10.** Resultado del análisis entre las variables ambientales y la abundancia de las especies nocivas a partir de la rutina BIOENV. Tanto para las variables individuales como para el conjunto de ellas, se muestra el valor del cociente de correlación de Spearman (ρ_s) y el nivel de significancia (p).
- Tabla 5.11.** Grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la toxicidad por VPM promedio mensual máxima por grupo (**TPMG**) para las 152 estaciones de las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Se indican los colores y formas asignados a cada grupo, porcentaje de estaciones integradas por cada grupo ordenados de mayor a menor, porcentaje acumulado de las mismas, mes en que se produjo la **TPMG** y número de rango designado.
- Tabla 5.12.** Grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**) de *A. catenella* para las 158 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Se indican los colores y formas asignados a cada grupo, porcentaje de estaciones integradas por cada grupo ordenados de mayor a menor, porcentaje acumulado de las mismas, mes en que se produjo la **ARPMG** y número de rango designado.
- Tabla 5.13.** Grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**) de *A. ostenfeldii* para las 158 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Se indican los colores y formas asignados a cada grupo, porcentaje de estaciones integradas por cada grupo ordenados de mayor a menor, porcentaje acumulado de las mismas, mes en que se produjo la **ARPMG** y número de rango designado.
- Tabla 5.14.** Residuos tipificados corregidos arrojados por el análisis de contingencia para las variables VPM, *A. catenella* y *A. ostenfeldii*. Valores absolutos > 1.96 son significativos

al nivel de 0.05 y la dirección de la asociación está dada por el signo. En color se indica la asociación positiva significativa entre los rangos de las variables.

- Tabla 5.15.** Grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la frecuencia del promedio porcentual mensual máxima por grupo (**PPMG**) de positivos a VDM por bioensayo ratón (toxinas lipofílicas), para las 152 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Se indican los colores y formas asignados a cada grupo, porcentaje de estaciones integradas por cada grupo ordenados de mayor a menor, porcentaje acumulado de las mismas, mes en que se produjo el **PPMG** y número de rango designado.
- Tabla 5.16.** Grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**) de *D. acuminata* para las 158 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Se indican los colores y formas asignados a cada grupo, porcentaje de estaciones integradas por cada grupo ordenados de mayor a menor, porcentaje acumulado de las mismas, mes en que se produjo la **ARPMG** y número de rango designado.
- Tabla 5.17.** Grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**) de *D. acuta* para las 158 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Se indican los colores y formas asignados a cada grupo, porcentaje de estaciones integradas por cada grupo ordenados de mayor a menor, porcentaje acumulado de las mismas, mes en que se produjo la **ARPMG** y número de rango designado.
- Tabla 5.18.** Grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**) de *P. reticulatum* para las 158 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Se indican los colores y formas asignados a cada grupo, porcentaje de estaciones integradas por cada grupo ordenados de mayor a menor, porcentaje acumulado de las mismas, mes en que se produjo la **ARPMG** y número de rango designado.
- Tabla 5.19.** Residuos tipificados corregidos arrojados por el análisis de contingencia para las variables toxinas lipofílicas, *D. acuminata*, *D. acuta* y *P. reticulatum*. Valores absolutos > 1.96 son significativos al nivel de 0.05 y la dirección de la asociación está dada por el signo. En color se indica la asociación positiva significativa entre los rangos de las variables.
- Tabla 5.20.** Residuos tipificados corregidos arrojados por el análisis de contingencia para las variables toxinas VPM, *A. catenella* y *A. ostenfeldii* en relación a los meses de muestreo. Valores absolutos > 1.96 son significativos al nivel de 0.05 y la dirección de la asociación está dada por el signo. En color se indica la asociación positiva significativa entre los rangos de las variables y meses con mayor probabilidad de ocurrencia.
- Tabla 5.21.** Residuos tipificados corregidos arrojados por el análisis de contingencia para las variables toxinas lipofílicas, *D. acuminata*, *D. acuta* y *P. reticulatum* en relación a los

meses de muestreo. Valores absolutos > 1.96 son significativos al nivel de 0.05 y la dirección de la asociación está dada por el signo. En color se indica la asociación positiva significativa entre los rangos de las variables y meses con mayor probabilidad de ocurrencia.

- Tabla 5.22.** Grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**) de *P. cf. australis* para las 158 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Se indican los colores y formas asignados a cada grupo, porcentaje de estaciones integradas por cada grupo ordenados de mayor a menor, porcentaje acumulado de las mismas, mes en que se produjo la **ARPMG** y número de rango designado.
- Tabla 5.23.** Grupos definidos por el análisis de CLUSTER en base a la abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**) de *P. cf. pseudodelicatissima* para las 158 estaciones consideradas para las regiones de Los Lagos (L), Aysén (A) y Magallanes (M). Se indican los colores y formas asignados a cada grupo, porcentaje de estaciones integradas por cada grupo ordenados de mayor a menor, porcentaje acumulado de las mismas, mes en que se produjo la **ARPMG** y número de rango designado.
- Tabla 5.24.** Coeficientes de determinación y correlación de las regresiones entre las variables AR y densidad para los cuatro taxones nocivos de estudio.
- Tabla 5.25.** Promedios ($\pm$ error estándar) de la densidad (cél L^{-1}) por nivel de AR para cada una de los cuatro taxones nocivos estudiados.

ÍNDICE DE ANEXOS

Capítulo 2: B

Anexo 2.1. SUB-PROGRAMA DE MONITOREO REGULAR

Estaciones de monitoreo entre marzo de 2014 y febrero de 2015 en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, incluyendo código, topónimo, sectorización, transvector, institución requirente y coordenadas geográficas.

Anexo 2.2. SUB-PROGRAMA DE VIGILANCIA Y FISCALIZACIÓN:

Estaciones de monitoreo entre marzo de 2014 y febrero de 2015 en las regiones de Los Lagos y Aysén, incluyendo código, topónimo, sectorización, transvector, institución requirente y coordenadas geográficas.

Anexo 2.3. SUB-PROGRAMA DE RAÚL MARÍN BALMACEDA

Estaciones de monitoreo entre marzo de 2014 y febrero 2015 en un sector de la región de Aysén, incluyendo código, topónimo, sectorización, transvector, institución requirente y coordenadas geográficas.

Anexo 2.4. BASE DE DATOS 1 (en CD):

Datos Informe final Programa Manejo y Monitoreo de las Mareas Rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, VIII etapa 2014-15. Marzo 2014 – Febrero 2015.

Capítulo 3: C

Anexo 3.1. BASE DE DATOS 2 (en CD):

Datos Informe final Programa Manejo y Monitoreo de las Mareas Rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, VIII etapa 2014-15. Marzo 2014 – Febrero 2015.

Capítulo 5: E

Anexo 5.1. Promedios mensuales para el período comprendido entre marzo de 2006 y febrero de 2014 para la abundancia relativa de las 7 especies tóxicas y sus toxinas asociadas, y los promedios mensuales para los datos oceanográficos (temperatura, salinidad, densidad) para cada una de las estaciones de monitoreo en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.

Anexo 5.2. Promedios mensuales para la abundancia del fitoplancton total (cel L⁻¹), abundancia relativa, abundancia numérica (cel L⁻¹) y toxina asociada a las 7 especies nocivas, para el periodo comprendido entre marzo de 2006 y febrero de 2014 para las 30 estaciones representativas seleccionadas de las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.

Anexo 5.3. Promedio mensual para las variables oceanográficas (temperatura y salinidad), meteorológicas (temperatura ambiental, nubosidad y presión barométrica) y rosa de vientos (dirección y velocidad), para cada mes del año de todo el periodo de muestreo (2006-2014) en la zona de Los Lagos, Aysén y Magallanes.

INFORME FINAL
Capítulo 1: A

Introducción General al Programa Manejo y Monitoreos Marea Rojas.



INFORME FINAL

Capítulo 1: A

Introducción General al Programa Manejo y Monitoreos Marea Rojas.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Mayo 2015

JEFE DE PROYECTO

Leonardo Guzmán Méndez

AUTORES

Leonardo Guzmán Méndez

Gemita Pizarro Nova

Óscar Espinoza González

RESUMEN EJECUTIVO

Este documento corresponde al informe final del estudio Programa Manejo y Monitoreo de las mareas rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes VIII Etapa, 2014-15. Su objetivo general es disponer de un sistema oportuno de muestreo, detección y cuantificación periódico del Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM), Veneno Diarreico de los Mariscos (VDM) y Veneno Amnésico de los Mariscos (VAM), además de las especies de microalgas nocivas fuentes primarias de las toxinas (*Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *D. acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, respectivamente) adecuado a la realidad geográfica de las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.

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

En este documento se presentan los resultados finales del estudio en su VIII etapa, 2014-15, tal como se establece en los términos técnicos de referencia. Consecuentemente se incluyen los siguientes aspectos:

- a) Variaciones espacio temporales del Veneno Paralizante de los Mariscos, Veneno Diarreico de los Mariscos y Veneno Amnésico de los Mariscos en transvectores selectos en una red de estaciones que abarca desde la región de Los Lagos hasta la región de Magallanes;
- b) Resultados de la distribución y abundancia de *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *D. acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, en la misma red de estaciones de muestreo;
- c) Resultados de la composición, abundancia y distribución espacio temporal del fitoplancton total en la red de estaciones;
- d) Información hidrográfica y meteorológica recolectada en la misma red de estaciones;
- e) Aspectos oceanográficos recolectados durante otoño y primavera en un sector localizado de la región de Los Lagos;
- f) Análisis histórico de aspectos oceanográficos ligados a la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo, particularmente referido a *A. catenella*; y
- g) Un primer análisis de la base de datos generada en este estudio desde mayo 2006 hasta febrero de 2014, y que aborda aspectos del fitoplancton cualitativo y cuantitativo, taxones nocivos, toxicidad en mariscos centinela y aspectos hidrográficos y meteorológicos. Ésta es la primera oportunidad en que se analizan los antecedentes generados por este estudio, de manera integral y profunda, abarcando un lapso de casi ocho años de trabajo sistemático de este programa.

En lo que se refiere a los primeros cuatro aspectos (letras a, b, c y d) sólo se incorporan las bases de datos generadas, antecedentes que serán analizados de manera integrada durante el trabajo de 2015-16, continuando el análisis iniciado durante 2014-15 (este informe), no obstante que se incluyen comentarios de los resultados de las toxinas y abundancia relativa de los taxones nocivos.

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

- a) Primera parte: Introducción general al programa manejo y monitoreo de las mareas rojas, que incluye índice general, resumen ejecutivo, introducción, objetivos y referencias bibliográficas, además de figuras.
- b) Segunda parte: Monitoreo del micro-fitoplancton y toxinas marinas, incluyendo variables hidrográficas y meteorológicas VIII etapa (marzo 2014 - febrero 2015). Incluye los resultados no analizados del monitoreo realizado durante el lapso indicado. Se entrega una introducción, objetivos específicos relativos a esta parte, metodología de los cuatro objetivos específicos, gestión del estudio y formato de la base de datos, una muy breve descripción de los registros de toxicidad y abundancia relativa del fitoplancton nocivo, además de referencias bibliográficas. Se incluyen figuras, tablas y anexos.
- c) Tercera parte: Correntometría e hidrografía entre las islas Chaulinec y Tranqui, mar interior de Chiloé. Está referida al registro de variables oceanográficas durante otoño y primavera en un sector selecto del área de estudio. Está ordenada en introducción, objetivo específico, metodología, resultados, discusión, conclusiones y referencias bibliográficas. Se incluyen figuras y tablas.
- d) Cuarta parte: Distribución y abundancia de especies de algas nocivas, particularmente de *Alexandrium catenella*, y su relación con patrones de circulación en fiordos y canales. Considera una revisión de los antecedentes oceanográficos para el área de estudio, orientada a lograr una comprensión de la distribución y abundancia del fitoplancton en general y particularmente del nocivo, incluyendo la selección de sectores para una posterior modelación. El énfasis de este capítulo está orientado hacia la comprensión de la distribución y abundancia de *A. catenella*, en función de los patrones de circulación. Este capítulo está ordenado en introducción, objetivo, metodología, resultados, discusión, conclusiones y referencias bibliográficas. Se incluyen figuras y tablas.
- e) Quinta parte: Resultados del programa manejo y monitoreo de las mareas rojas para el período mayo 2006 – febrero 2014. Se entregan los resultados, discusión y conclusiones del desarrollo del objetivo 7 de este estudio, y que se aborda entregando respuestas a siete interrogantes incorporadas en la propuesta técnica. Los antecedentes se han ordenado incluyendo introducción, objetivo, metodología, resultados, discusión, conclusiones y referencias bibliográficas. Se incluyen figuras, tablas y anexos.

El estudio en esta etapa contempla siete objetivos específicos. Los antecedentes analizados abarcan desde mayo de 2006 hasta febrero de 2014, considerando antecedentes desde el estuario de Reloncaví en la región de Los Lagos hasta el canal Beagle en la región de Magallanes.

Respecto del monitoreo se adjunta la base de datos generada, además de entregar comentarios de la gestión ligada a los resultados más relevantes que ocurrieron durante el desarrollo del monitoreo. El período considerado comprende desde marzo de 2014 hasta febrero 2015. Por contrato **no corresponde** analizar en esta instancia los antecedentes generados, pero se entrega un análisis general de los complejos tóxicos considerados y de los taxones nocivos monitoreados.

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

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

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

El SMR considera 185 estaciones distribuidas desde Los Lagos hasta Magallanes. Corresponden a estaciones ubicadas en sectores de extracción de recursos hidrobiológicos. La frecuencia de muestreo

es cuasi mensual con un receso invernal de 45 días aproximadamente, criterio que es afectado por las condiciones climáticas de otoño que determina modificaciones en el calendario definido. En cada estación se realiza: toma de muestras de agua para estimaciones de abundancia relativa de los ocho taxones nocivos, análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton nocivo y total, toma de muestras para vigilancia de variaciones espacio temporales de toxinas en transvectores, toma de datos oceanográficos y meteorológicos. Las estaciones que son muestreadas en este sub-programa se encuentran detalladas en las Figuras 2.1-2.2 y anexo 2.1.

El SVF, considera una frecuencia de muestreo más alta en 17 estaciones ubicadas en el sector de Quellón, el área sur y sur-este de la Isla de Chiloé, Melinka en el área norte de la región de Aysén y un transecto en el Canal Moraleda y Golfo Corcovado, para disponer de mayor información para la toma de decisiones por parte de la autoridad fiscalizadora en relación al transporte de especies hidrobiológicas mediante wellboats. El detalle de las estaciones y su ubicación se encuentra en el Anexo 2.2 y en la Figura 2.1. La frecuencia de muestreo es aproximadamente cada 10 días, con una frecuencia menor en el período invernal. En cada estación se realizan las mismas actividades señaladas para el subprograma regular, pero los transvectores son recogidos con una frecuencia mensual, exceptuando aquellos puntos de muestreos que por la topografía del lugar o por la disponibilidad de recursos impiden la recolección de mariscos.

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

El muestreo de transvectores para la detección de toxinas, se orienta hacia especies centinelas en cada región, sin perjuicio de la recolección de otros mariscos según las necesidades, desde el punto de vista de la salud pública, u otras particularidades de cada región. Los transvectores muestreados en cada estación se presentan en la Tabla 2.1. y Anexos 2.1.- 2.3., y se indica si el punto presenta restricciones para la extracción de estos recursos, ya sea por profundidad o por disponibilidad.

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

mediante cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) según la metodología descrita por Quilliam *et al.* (1995). Los resultados se presentan en microgramos de ácido domoico por gramo de carne de marisco ($\mu\text{g g}^{-1}$). Los resultados se entregan por subprograma, estación, crucero y región administrativa, con las unidades correspondientes para los resultados cuantitativos, y positivo o negativo para los resultados cualitativos (caso del VDM).

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

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

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

El fitoplancton es recolectado mediante arrastres verticales desde 20 m de profundidad hasta la superficie o según la profundidad del lugar, usando una red de trama de malla de 23 μm . Las muestras son fijadas con formalina neutralizada al 2-3% y de cada punto se conforma una sola muestra (i.e. muestra integrada de seis arrastres). Los muestreos cuantitativos se realizan muestreando la columna de agua entre los 20 m de profundidad y superficie, utilizando una manguera de 2,5 cm de diámetro. La columna es fraccionada en dos estratos; un primer estrato de 10 m a superficie y el segundo de 20 a 10 m de profundidad (una muestra por estrato).

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

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

El fitoplancton cualitativo se entrega como presencia/ausencia y en el caso de la abundancia relativa, los datos son presentados según el nivel alcanzado en las respectivas escalas definidas para cada taxón. Los resultados cuantitativos son entregados en células por litro (cél L⁻¹). Estos resultados se entregan por subprograma, región, estación y crucero.

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

Los resultados del monitoreo muestran en líneas generales que la región de Magallanes, no presentó ningún registro máximo, ni en toxinas marinas, como tampoco en estimadores de abundancia relativa de todos los taxones nocivos considerados. Los valores más altos tanto de toxinas, como de fitoplancton nocivo se registraron en la región de Aysén, con algunas excepciones observadas en la región de Los Lagos.

No hubo muestras con veneno paralizante detectable mediante el bioensayo ratón en la región de Los Lagos. Al igual que en el estero Pitipalena (subprograma RMB) en que tampoco se detectaron mariscos positivos a este complejo tóxico (VPM). El registro mayor se observó en la región de Aysén con 3.402 µg eq. STX 100 g⁻¹ carne de marisco en muestras de cholga recolectadas en Aysén sur en Colonia Grande (A52) el 27 de febrero de 2015. En la región de Magallanes, el valor más alto registrado para este complejo tóxico fue notoriamente más bajo que el observado en la región de Aysén, rompiéndose la tendencia de incremento hacia el sur observada en años previos, registrándose un máximo de 184 µg eq. STX 100 g⁻¹ carne de marisco, valor observado en el área norte de Magallanes en isla Vancouver (M15) también en cholga, en muestras recolectadas el 4 de julio de 2014, valor concordante con las estimaciones de abundancia relativa para *A. catenella* registrados para esa región.

En cuanto a los resultados del bioensayo para veneno diarreico, la proporción más alta de resultados positivos fue registrada en la región de Aysén (44,7%), seguido por la región de Magallanes (28,7%)

y el valor más bajo fue observado en la región de Los Lagos (12,3%), valores correspondientes al total de muestras analizadas por región.

Respecto del ácido domoico (veneno amnésico), sólo en la región de Los Lagos hubo un par de muestras positivas, y con valores muy por debajo de la norma de $20 \mu\text{g g}^{-1}$, con estimaciones de $2,4 \mu\text{g g}^{-1}$ en chorito recolectado en canal Dalcahue (L11) el 17 de marzo de 2014 y $0,7 \mu\text{g g}^{-1}$ en almeja recolectada en punta Chiguao (L19) el 5 de febrero de 2015, ambas durante verano.

En general, las estimaciones más altas de abundancia relativa fueron registradas en la región de Aysén y algunas ocasiones también en la región de Los Lagos. Para *Alexandrium catenella*, éstas fueron observadas en marzo de 2014 en Seno Medio (A18N3) el 2 de marzo, isla Gama Zañartu-Canal Yacaf (A16) e isla Bobadilla-Seno Soto (A17) el 8 de marzo, punta Apablaza (A16N1) el 9 de marzo, con registros de nivel 8 (ultra abundante). Valores similares fueron registrados el 20 de enero de 2015 en isla Orestes (A23), isla Julián (A30) e isla Ester (A32N1). Es importante señalar que para el sector del estero Pitipalena (subprograma RMB) el registro más alto de *A. catenella* ocurrió durante el primer crucero (9 de marzo de 2014) con una abundancia relativa de abundante (nivel 4) observado en Canal (A07). Algo similar ocurrió con *A. ostenfeldii*, que presentó la estimación más alta en Laja Brazo Pillán 1 (A06) con un registro de hiper abundante (nivel 7), en cambio hubo nueve oportunidades en que *Dinophysis acuminata* presentó estimaciones de ultra abundante (nivel 8) en cruceros realizados en marzo, abril y mayo de 2014 y enero y febrero de 2015, valores registrados preferentemente en Laja Brazo Pillán 1 (A06), además de observaciones puntuales en Playa corta (A08N2), Mallín (A08N1) y Repollal – estero Las Islas (A08). *Dinophysis acuta* presentó estimaciones muy bajas en A06, A08 y A08N1 en febrero de 2015. *Protoceratium reticulatum*, si bien presentó estimaciones de abundancia relativa un poco más altas que *D. acuta*, estas también fueron baja, un nivel 4 (abundante) en islote Las Hermanas (A08N3) en enero 2015. En cambio las especies de *Pseudo-nitzschia* presentaron estimaciones más altas, si bien tampoco fueron muy frecuentes, *P. cf. australis*, en seis oportunidades con registros de extremadamente abundante (nivel 6) en los meses de marzo y noviembre de 2014 (Canal, Playa corta, islote Las Hermanas) y enero de 2015 en Repollal – estero las Islas y Mallín. Y *P. cf. pseudodelicatissima* sólo tuvo un registro importante en Laja Brazo Pillán 1 con una estimación de ultra abundante (nivel 8) en marzo de 2014.

En el subprograma regular (SMR) los registros más altos de abundancia relativa se observaron en cuatro localidades de la región de Aysén durante marzo de 2014 con una estimación de ultra abundante (nivel 8) en isla Gama Zañartu – Canal Yacaf (A16), punta Apablaza (A16N1), isla Bobadilla – Seno Soto (A17) y seno Medio (A18N3) y tres localidades durante enero de 2015 con la misma estimación en isla Orestes (A23), isla Julián (A30) e isla Ester (A32N1). En cambio presentaron un nivel de mega abundante (nivel 9), *A. ostenfeldii* en seno Ventisquero 2 (A19N2) en la región de Aysén, *D. acuminata* en seis sitios en Los Lagos, todas en la boca del estero de Reloncaví y sectores adyacentes, y ocho en la región de Aysén distribuidas en Aysén norte y Aysén sur; *D. acuta* en seis localidades de Aysén norte y sur y *P. reticulatum* en tres sitios en Los Lagos (Cochamó L02N2, Marimelli L02N3 y Pocihuen L02N4) y Aysén (isla Julián A30, isla Viola A30N1 e isla Ester A32N1), respectivamente. Las especies de *Pseudo-nitzschia* sólo alcanzaron hasta hiper abundante (nivel 7),

si bien *P. cf. australis* presentó ese nivel con una notoria mayor frecuencia 19 veces en la región de Aysén y 9 en la región de Los Lagos contra 4 oportunidades de *P. cf. pseudodelicatissima*, todas registradas en la región de Aysén.

Para el subprograma de Fiscalización y Vigilancia (SFV) con la excepción del registro de mega abundante (nivel 9) observado marzo de 2014 para *D. acuminata* en la localidad de bahía Asasao (L22) en el sur de Chiloé, todos los otros registros para las otras especies nocivas siempre fueron inferiores a aquellos más altos registrados señalados para el subprograma Regular.

Se incluye la base datos generada durante esta etapa.

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

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

En esta ocasión se incorporan además, los progresos realizados en el trabajo desarrollado respecto de dos objetivos que fueron incorporados durante esta VIII etapa, estos están referidos a) al análisis integrado de la información recogida por efecto de este estudio entre mayo de 2006 y febrero de 2014, vale decir, desde la I etapa hasta la VII etapa de este monitoreo y, b) a la identificación de los rasgos de la variación espacial y temporal de los patrones de circulación, en específico los movimientos de masas de agua superficiales (hasta 20 m de profundidad), en sectores donde se desarrolla la actividad extractiva de moluscos y actividades de acuicultura que se encuentren afectas al área declarada como plaga de *Alexandrium catenella*. Para ello se ha utilizado la data oceanográfica histórica para los sectores de interés, junto con la recolectada con motivo de este programa en etapas anteriores, además de utilizar información de otros estudios con antecedentes suficientes para la identificación de patrones.

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

1.1. INTRODUCCIÓN

1.1.1. Conceptos de floración de alga nociva (FAN) y prevención de las FAN.

En las últimas cuatro décadas se ha apreciado, a escala mundial, un incremento aparente en la frecuencia, duración, cobertura geográfica e intensidad de los fenómenos conocidos como mareas rojas y que técnicamente son denominadas Floraciones de Algas Nocivas (FAN) (*sensu* UNESCO, 1996). Chile no ha estado ajeno a estos eventos, particularmente en su extremo sur austral. Aunque no ha sido confirmado, pareciera que para esta macro región, este incremento no es aparente y que corresponde a un cambio real.

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

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

Se han planteado al menos cinco hipótesis que intentan explicar el incremento aparente en la frecuencia, cobertura e intensidad de las floraciones:

- a) Por un incremento del conocimiento resultante de mejores métodos de detección y un aumento de las actividades en zonas costeras (Anderson, 1989),
- b) Por un incremento de la productividad primaria causada por la eutrofización de las aguas costeras y a un rompimiento de la razón de macronutrientes favoreciendo a especies nocivas, como consecuencia de un aumento en el uso y eliminación de desechos industriales y domésticos en los sectores litorales (Smayda, 1990),

- c) Por el transporte de especies y sus quistes en aguas de lastre, cuya eliminación desde embarcaciones de cabotaje y trasplante de mariscos tóxicos, puede favorecer la dispersión de especies nocivas a zonas que previamente estaban libres de estas taxa (Hallegraeff, 1993),
- d) Por mecanismos físicos de transporte de las células vegetativas y/o de los quistes (Franks y Anderson, 1992), y
- e) Las floraciones que no pueden ser atribuidas a un proceso de eutrofización antrópica de las aguas costeras, sólo podrían ser explicadas por cambios climáticos globales (Hallegraeff, 1993, Wyatt, 1993).

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

Las microalgas productoras de toxinas incluyen las especies nocivas asociadas a saxitoxinas (STXs, veneno paralizante), okadaatos (AO, DTXs, veneno diarreico) (Lembeye *et al.* 1993; Uribe *et al.* 2001), ácido domoico (veneno amnésico) (Álvarez *et al.* 2009b; López-Rivera *et al.* 2009), pectenotoxinas (PTXs) (Blanco *et al.* 2007; Fux *et al.* 2011), yessotoxinas (YTXs) (Álvarez *et al.* 2011; Pizarro, 2014; Pizarro *et al.* 2012b), espirólidos (SPXs) (Álvarez *et al.* 2010; Almandoz, *et al.* 2014), gimnodiminas (Trefault *et al.* 2011), azaspirácidos (AZPs) (Álvarez *et al.* 2010; López-Rivera *et al.* 2010), entre otras, y que han sido detectadas en diferentes sectores del litoral nacional, pero principalmente entre el Estuario de Reloncaví y Canal Beagle (e.g. Reguera *et al.* 2014).

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

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

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

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

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

Por lo mismo, los problemas crecientes que impone este fenómeno natural requieren por un lado el desarrollo de investigación científica para mejorar el nivel de conocimiento y comprensión de estos fenómenos y por otro, la realización de acciones operacionales que fortalezcan la prevención, para proteger la salud pública y disminuir los trastornos en los sectores productivos afectados o evitar efectos ambientales no deseados por la ampliación del ámbito de distribución de microalgas nocivas. Entre las acciones operacionales se incluyen los monitoreos, y otras actividades orientadas a fortalecer la prevención, como la capacitación, educación y difusión.

1.1.2. Concepto de plaga hidrobiológica.

En Chile, por un lado, la preocupación en torno a estas floraciones ha estado orientada a proteger la salud pública, responsabilidad que recae en la Subsecretaría de Salud Pública del Ministerio de Salud y en las regiones, en las Secretarías Regionales Ministeriales de Salud. Por otro lado, para los temas de la pesca y la acuicultura, la autoridad es la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SSPA) del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

La Ley General de Pesca y Acuicultura es la que establece el marco jurídico, que faculta a la autoridad la dictación de resoluciones y reglamentos para un mejor uso de los recursos hidrobiológicos y su ambiente. Dentro de ese contexto se promulgó el Reglamento sobre Plagas Hidrobiológicas (Decreto

Supremo N° 345 de 2005 del Ministerio de Economía), que otorga a la autoridad pesquera atribuciones para adoptar medidas frente a determinados eventos que son calificados como plagas y vigente desde el 17 de diciembre de 2007.

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.

En este contexto, la SSPA haciendo uso de las facultades que le otorga el Reglamento de Plagas propuso a la microalga *Alexandrium catenella* como plaga hidrobiológica (i.e. plaga FAN), debido al riesgo y al efecto negativo que representa este microorganismo para la salud pública, la actividad pesquera y la acuicultura. El área potencialmente comprometida, es la vasta macro-zona que abarca desde el sur de Chiloé (región de Los Lagos) (42° 22'S) hasta el Canal Beagle, región de Magallanes (54°55'42"), la cual ha sido recientemente renovada por un plazo de dos años (R. Ex. 3575 de la SSPA del 29/12/2014) y en la que se incluye como Área de Riesgo de Plaga al Estero Pitipalena. Ello ha determinado, al menos para esta microalga, que las precauciones no sólo deben estar centradas en torno a la salud pública sino que también desde un punto de vista ambiental. En consecuencia la generación periódica de información, basada en monitoreos o vigilancias de las microalgas nocivas, constituyen también un pilar para la toma de decisiones desde la perspectiva del reglamento de plagas, más allá de la relevancia que tenía esta información para el apoyo de decisiones para la protección de la salud pública y minimización de los impactos sobre las actividades productivas y el entorno social y económico.

Dada la dinámica de las floraciones de *A. catenella* y su carácter recurrente, hace indispensable un monitoreo permanente ya que las restricciones que se apliquen para evitar la dispersión de esta microalga requiere conocer la distribución y abundancia en distintos períodos del año. Interesa en este contexto, tanto la distribución y abundancia de la forma vegetativa en la columna de agua como la de los quistes en los sedimentos. En etapas sucesivas son de interés el conocimiento de los factores ambientales que regulan la distribución y abundancia de esta microalga, como también la incorporación de aproximaciones que permitan su modelamiento.

1.1.3. Floraciones de algas nocivas: estado actual en Chile

El litoral chileno y particularmente el extremo sur austral del país, esto es, las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, no han estado ajenas a estos fenómenos y sus implicancias, lo que ha sido relevante a partir de la década de los noventa. La región de Los Lagos, particularmente el mar interior de Chiloé ha sido afectado por floraciones asociadas al veneno diarreico (desde 1970), al veneno amnésico (desde 2000) y recientemente al veneno paralizante de los mariscos (desde 2002); la región de Aysén ha sido afectada por floraciones asociadas a los venenos diarreico y paralizante (desde

mediados de los noventa); mientras que Magallanes ha sido fuertemente afectada por este último complejo tóxico (desde 1972), pero se han detectado también concentraciones, aunque por debajo de la norma oficial, de VDM y VAM. Los mayores impactos, desde el punto de vista de la salud pública, han ocurrido en esta última región.

El VPM en Magallanes ha sido citado, en varias ocasiones, en 1972, 1981 y 1989 y desde 1991 hasta la fecha en forma continua, constituyéndose en un problema permanente; en Aysén esta toxina ha estado presente desde 1994 hasta la fecha y, en la región de Los Lagos se hizo presente durante 2002, detectándose a partir de enero de ese año por algunos meses y reapareciendo nuevamente en diciembre de 2006 y marzo-abril de 2009, en brotes que se extendieron por unas cuatro semanas, respectivamente. En definitiva ha habido una clara expansión de la distribución geográfica del VPM hacia el norte y de la microalga fuente primaria de este complejo tóxico, con el consecuente impacto sobre la salud pública y los sistemas productivos, reflejando una expansión real y contraponiéndose con la expansión aparente que señala la literatura especializada (Figura 1.1).

El organismo identificado como fuente primaria del VPM es el dinoflagelado *Alexandrium catenella*, conocido desde 1972 para Magallanes y desde 1992 señalado también para Aysén, y desde 1998 para el extremo sur de la Isla de Chiloé (Lembeye, 1981; Lembeye *et al.*, 1997, Uribe, 1988, Uribe *et al.*, 1995, 1997, 1998, Guzmán & Campodonico, 1975; Guzmán *et al.*, 1999, 2000, 2002, 2009, 2010; datos no publicados).

La información de los años noventa, muestra que la dinámica de las floraciones asociadas a VPM, es diferente en las regiones de Aysén y Magallanes, incluso ésta última muestra rasgos que impiden generalizar para toda la geografía de esta región. En el mar interior de Chiloé la situación, hasta ahora, ha sido de brotes ocasionales, un evento en los primeros meses de 2002, otro a fines de 2006 y un tercero, entre mediados de marzo y mediados de abril de 2009. Floraciones de esta naturaleza determinan efectos muy marcados por el desarrollo e importancia de la pesca, acuicultura y turismo en esta región, además de su impacto sobre la salud pública.

Una síntesis del número de intoxicaciones fatales asociados al VPM totaliza 22 casos para Magallanes, 12 para Aysén y 1 para Los Lagos, además de unos quinientos intoxicados, siendo primavera-verano el lapso en que ha ocurrido la mayor parte de las intoxicaciones. El límite de distribución norte de *A. catenella* y presencia de VPM está en el sector de Canal Dalcahue en la región de Los Lagos, pero en octubre de 2009, la forma vegetativa de la microalga fue registrada en Calbuco, que corresponde a la cita más septentrional que existe de la especie en el litoral nacional y que ocurrió en correspondencia con la mayor floración de esta microalga registrada en tiempos recientes. Existe sin embargo una cita de *A. catenella* en la boca del estero de Reloncaví y para el golfo de Ancud (Valenzuela & Avaria, 2009), antecedentes que no han sido confirmados con los monitoreos realizados desde mayo de 2006 hasta la fecha (datos no publicados), pero es importante considerar que muestras de mariscos recogidas en el sector del estuario de Reloncaví y analizadas mediante HPLC permitieron constatar la presencia de veneno paralizante (STX, neoSTX, dcSTX, GTX2-3 y 4), en cantidades ($<5 \mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$ carne de marisco) que no son detectables mediante el bioensayo ratón, cuyo límite

está alrededor de los 30-40 $\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$ carne de marisco; se ha sugerido que la fuente primaria de este perfil toxicológico sería *A. catenella* (Seguel *et al.*, 2006). Para el norte de Chile (Bahía Mejillones, Bahía Tongoy y Bahía Guanaqueros) se ha señalado la presencia de veneno paralizante en mariscos confirmada mediante cromatografía líquida de alta eficacia, aunque en concentraciones bajo la norma (*i.e.* entre 27-34 $\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$), no obstante que no se ha detectado en organismos del plancton o en cultivo que eventualmente pudieran ser fuente primaria de este complejo tóxico, además se ha comunicado que los perfiles toxicológicos de la primera bahía y las otras dos mencionadas fueron diferentes (Álvarez *et al.*, 2009a). Estudios recientes han mostrado una amplia distribución de *Alexandrium ostenfeldii* (Salgado *et al.* 2012b), especie que podría estar también asociada a la detección de veneno paralizante en mariscos (Figura 1.2), dado que produce veneno paralizante, espirólidos, incluso gimnodiminas (Cembella *et al.*, 2000, Hansen *et al.*, 1992, Kremp *et al.*, 2009). Al menos un clon de esta especie aislado de la región de Aysén ha mostrado estar asociado sólo a veneno paralizante (Pizarro *et al.*, 2012a), pero espirólidos han sido detectados en tejidos de mariscos y en el agua.

En Chile el VDM ha estado asociado a varios cientos de intoxicados desde 1970 hasta la fecha, pero no ha habido ningún caso fatal vinculado con este complejo tóxico. Han sido asociadas a la producción de toxinas los dinoflagelados *D. acuminata* y *D. acuta* (Lembeye *et al.*, 1993, Blanco *et al.*, 2007, Guzmán *et al.*, 2011, Fux *et al.*, 2011), sin embargo otras especies de este género (*D. caudata*, *D. fortii*, *D. infundibulus*, *D. tripos*, *D. rotundata*) también han sido identificadas y de las cuales no existen estudios definitorios que indiquen o no la presencia de toxinas. Los antecedentes indican que han ocurrido eventos recurrentes en el Seno Reloncaví (1970, 1979, 1986), fiordo Jacaf (1980, 1984), Archipiélago Chonos (1991), estos dos últimos en la región de Aysén, y que estuvieron asociados a la presencia de *D. acuta* (Figura 1.3) y aunque no fueron confirmados como el organismo causante de la toxina, ha sido encontrado en 1991 en el tracto digestivo de mariscos contaminados con AO y dinofisistoxina-1 (DTX1) (COI, 2005; Zhao *et al.*, 1991). En 1999 también fueron detectadas ambas toxinas en mariscos de Aysén pero en niveles trazas y en 2000 sólo fue detectada DTX-1 en la misma Región. Uribe *et al.*, (2001) reportan la presencia de veneno diarreico asociado a *D. acuminata* en muestras recolectadas en el Estrecho de Magallanes (Figura 1.3).

Las especies del género *Dinophysis* constituyen un serio problema para la salud pública y la actividad económica de recursos marinos, dado que están asociadas a la producción de toxinas como el ácido okadaico (AO) y hepatotóxicas, como las pectenotoxinas. Otro grupo de toxinas de efectos cardiotoxicos son las yesotoxinas, producidas por los dinoflagelados *Protoceratium reticulatum*, presente en las regiones de Los Lagos y Aysén (Figura 1.3) y *Lingulodinium polyedrum*. Tradicionalmente las toxinas diarreicas (OA y derivados), las pectenotoxinas y las yesotoxinas se incluían en un mismo complejo denominado veneno diarreico de los mariscos (VDM). Hoy se excluyen estas dos últimas por no tener efectos diarreogénicos y porque requieren métodos analíticos específicos para su determinación. Existen evidencias para el mar interior de Chiloé en que se confirma la presencia de DTX1, además de la detección PTX2, trazas de AO y YTX, además de PTX seco ácido que corresponde a la transformación enzimática de la PTX; la detección de YTX se vincula con *P. reticulatum* (Pizarro *et al.*, 2006, 2011a). Goto *et al.* (2000) presentaron evidencias de PTX en

muestras recolectadas en Chile. Asimismo, para Bahía Inglesa en la región de Atacama, se ha mostrado para muestras de plancton, filtradores y células aisladas de *D. acuminata* la presencia de pectenotoxinas (PTX2), no obstante que el ácido okadaico y sus derivados o análogos no fueron detectados (Blanco *et al.*, 2007) resultados similares para esta especie fueron encontrados para *D. acuminata* del Estuario de Reloncaví (Fux *et al.*, 2011), sin embargo recientemente Pizarro *et al.* (2014) ha mostrado que esta especie recolectada en la región de Magallanes produce también okadaatos (AO, DTX1). Por otro lado se ha mostrado que la intoxicación masiva luego del consumo de mariscos contaminados con DTX3 recolectados en la región de Aysén, no obstante que este compuesto no inhibe las proteínas fosfatasa (PP1 y PP2) y no es detectado por el bioensayo ratón, pero se encontró DTX1 en las fecas de pacientes que consumieron mariscos contaminados sólo con DTX3, que al parecer es transformado en DTX1 por lipasas y esterases que habitualmente en mamíferos digieren los nutrientes y xenobióticos (García *et al.*, 2005). Para el extremo norte del país, en la bahía de Arica ha sido señalada también la presencia de pectenotoxinas y yesotoxinas (Krock *et al.*, 2009a).

Respecto del ácido domoico, causante de las intoxicaciones con veneno amnésico de los mariscos (VAM), éste se detectó por primera vez en 1997, toxina que ha sido detectada en la zona norte del país, en Bahía Inglesa en la región de Atacama y en Bahía Tongoy en la región de Coquimbo y en la zona sur, en la región de Los Lagos, en la costa este de la Isla de Chiloé. Y en niveles subtóxicos en la región de Aysén y trazas en la región de Magallanes (datos no publicados), además de las detecciones puntuales registradas en este programa (datos no publicados). Esta toxina hasta ahora no ha estado vinculada con intoxicaciones en seres humanos y se la asocia a la diatomea *Pseudo-nitzschia australis*. De las toxinas señaladas, ésta es la única que deja secuelas, en los casos de intoxicaciones graves. Esta toxina podría estar asociada también a *P. pseudodelicatissima*, pero no existen antecedentes confirmatorios para la situación chilena. A mediados y fines de diciembre de 2008, en la región de Atacama se detectaron niveles de riesgo para las personas, 23,2 y 198,5 µg g⁻¹ de ácido domoico, que obligaron adoptar medidas de protección, las cuales fueron derogadas el 8 de enero de 2009 (A. Vaquero, MINSAL com. pers.). Se ha mostrado para las regiones de Atacama y Coquimbo, en las bahías Inglesa y La Herradura y Tongoy, respectivamente, que *P. australis* y *P. calliantha* son taxones productores de ácido domoico (Álvarez *et al.*, 2009b).

Una síntesis de la distribución geográfica a lo largo del litoral chileno de las distintas toxinas detectadas hasta ahora se presenta en la Figura 1.4.

Otros estudios sobre floraciones de algas nocivas y toxinas marinas en el litoral chileno, no citados previamente, han sido presentados por Aguilera-Belmonte *et al.* (2011, 2013), Alves de Souza *et al.* (2008, 2014), Ávila *et al.* (2015), Díaz *et al.* (2011, 2014), Garrido *et al.* (2012), Guzmán *et al.* (2012a, 2012b, 2012c), Molinet *et al.* (2010), Muzio *et al.* (2012), Navarro *et al.* (2006, 2011), Pizarro (2014), Pizarro *et al.* (2011b, 2012a), Seguel *et al.* (2010); Uribe *et al.* (2010), Varela *et al.* (2012), Vidal *et al.* (2012), Vivanco *et al.* (2012).

1.1.4. Definición y Caracterización de un programa de monitoreo

Un programa de monitoreo es una actividad sistemática en el espacio y tiempo, orientado a contar con información que permita conocer las tendencias naturales de determinadas variables que pueden ser utilizadas como indicadores de cambio ambiental y eventualmente indicadores de riesgo para la salud pública y las actividades productivas (Guzmán *et al.*, 2010, datos no publicados).

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

Las técnicas para recolectar información del ambiente son variadas e incluyen desde las sondas moleculares y celulares diseñadas para conocer cualitativa y cuantitativamente la presencia de determinadas microalgas nocivas, hasta la teledetección mediante el uso de sensores remotos, además del registro *in situ* de información y toma de muestras en tiempo real, recogida con variados sensores oceanográficos y meteorológicos para el registro continuo de información y recolección de muestras mediante sistemas automáticos.

Las técnicas tradicionales incluyen toma de muestra de agua mediante redes de fitoplancton, botellas o mangueras y observación y cuantificación al microscopio. En cuanto a las técnicas de detección de las toxinas, éstas se aplican también en el laboratorio, e incluyen desde los tradicionales bioensayos que son específicos para cada grupo de veneno (por ejemplo bioensayo para el veneno paralizante de los mariscos) hasta el uso de cromatografía líquida de alta eficacia acoplada a espectrometría de masas (HPLC-MS) (Quilliam, 2004), no obstante que actualmente están apareciendo tecnologías para detectar toxinas en condiciones de terreno, pero que aún no son aceptadas como técnicas oficiales para evaluar la inocuidad alimentaria de los mariscos o detectar la toxicidad de las microalgas.

En un programa de monitoreo de FAN y toxinas marinas, las variables a medir, técnicas de muestreo, frecuencia de medición y localización de los sitios de muestreo, entre otros aspectos, dependen de las características del área en la cual se desarrollará, particularmente la realidad geográfica, el desarrollo del sector productivo afectado (particularmente pesca y acuicultura), la existencia de grupos ribereños, y el tipo o tipos de floraciones susceptibles de detectar. Esta consideración es particularmente importante para la realidad geográfica de las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, no obstante que en líneas generales debieran contar con acciones de monitoreo con una estructura y organización similares. Estas regiones presentan singularidades que obligan a desarrollar estrategias con formatos diferentes, particularmente por la importancia diferencial de determinadas toxinas en cada región, no obstante que los antecedentes que se logren por efecto del programa, estarán orientados a contar con la información oportuna y confiable para la toma de decisiones para proteger la salud pública y

minimizar los impactos sobre las actividades productivas, incluida la información pertinente desde la perspectiva del reglamento de plagas hidrobiológicas.

Por tanto entre las actividades relevantes a considerar se incluyen el monitoreo de la concentración de toxinas en mariscos indicadores, distribución y abundancia de las especies nocivas, y registro de las principales variables meteorológicas y oceanográficas. La obtención de esta información supone claridad respecto de la selección y ubicación de los sitios de muestreo, las metodologías de recolección y preservación de las muestras, técnicas de análisis y ordenamiento, interpretación y presentación de los resultados. Esta información es la que hace posible la toma de decisión en forma oportuna por parte de la autoridad y fortalece al mismo tiempo la prevención según la acepción previamente.

Un análisis de los criterios, técnicas, métodos y otros aspectos que deben ser considerados en el diseño de un programa de monitoreo (o vigilancia) han sido presentados por Smayda (1995, 2003); UNESCO (1996); Anderson (2004, 2009) Anderson *et al.* (2001); Reguera (2002), Andersen *et al.*, (2003), Todd (2003), entre otros.

Anderson (2009) con relación al monitoreo, control y manejo de las floraciones de algas nocivas, ha realizado un excelente resumen acerca del problema global, abarcando sus tendencias y causas, las nuevas tecnologías y aproximaciones para monitorearlas, como controlar y manejar estos fenómenos, resaltando el uso de sondas moleculares para la detección de células específicas, el empleo de ensayos sensibles y rápidos para las toxinas, la detección y el seguimiento de las floraciones mediante percepción remota, el control y las estrategias de mitigación de las floraciones, y el uso de modelos físico/biológicos de gran escala para analizar floraciones pasadas y predecirlas.

1.1.5. Contenido del informe final

En este documento se presentan los resultados finales del estudio Manejo y monitoreo de las mareas rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, VIII etapa, 2014-15, tal como se establece en los términos técnicos de referencia. Consecuentemente se incluyen los siguientes aspectos:

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

- d) Información hidrográfica y meteorológica recolectada en la misma red de estaciones;
- e) Aspectos oceanográficos recolectados durante otoño y primavera en un sector localizado de la región de Los Lagos;
- f) Análisis histórico de aspectos oceanográficos ligados a la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo, particularmente referido a *catenella*; y
- g) Un primer análisis de la base de datos generada en este estudio desde mayo 2006 hasta febrero de 2014, y que aborda aspectos del fitoplancton cualitativo y cuantitativo, taxones nocivos, toxicidad en mariscos centinela y aspectos hidrográficos y meteorológicos. Ésta es la primera oportunidad en que se analizan los antecedentes generados por este estudio, de manera integral y profunda, abarcando un lapso de casi ocho años de trabajo sistemático de este programa.

En lo que se refiere a los primeros cuatro aspectos señalados (letras a, b, c y d) sólo se incorporan las bases de datos generadas, antecedentes que serán analizados de manera integrada durante el trabajo a desarrollar durante 2015-16, continuando y profundizando el análisis iniciado durante 2014-15 (este informe).

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

- f) Primera parte: Resumen ejecutivo, introducción, objetivos e índice general, referencias bibliográficas. Se incluyen figuras.
- g) Segunda parte: Incluye los resultados del monitoreo efectuado durante marzo 2014 - febrero 15 y corresponde a la entrega de la base de datos generada durante ese lapso. En esta parte se entrega una introducción general al tema, objetivos específicos relativos a esta parte, metodología referida a estos objetivos, gestión del estudio y formato de cómo se entrega la base de datos, se incluye una muy breve descripción de los registros de toxicidad y abundancia relativa del fitoplancton nocivo, además de referencias bibliográficas. Se incluyen figuras, tablas y anexos.
- h) Tercera parte: Está referida al registro de variables oceanográficas en un sector selecto del área de estudio, durante otoño y primavera. Está ordenada en introducción, objetivo específico, metodología, resultados, discusión, conclusiones y referencias bibliográficas. Se incluyen figuras y tablas.
- i) Cuarta parte: Considera una revisión de los antecedentes oceanográficos para el área de estudio, orientada a lograr una comprensión de la distribución y abundancia del fitoplancton en general y particularmente del nocivo, incluyendo la selección de sectores para una posterior

modelación. El énfasis de este capítulo está orientado hacia la comprensión de la distribución y abundancia de *Alexandrium catenella*, en función de los patrones de circulación. Este capítulo está ordenado en introducción, objetivo, metodología, resultados, discusión, conclusiones y referencias bibliográficas. Se incluyen figuras y tablas.

- j) Quinta parte: En ésta se entregan todos los resultados, discusión y conclusiones del desarrollo del objetivo 7 de este estudio, y se abordan entregando respuestas a siete interrogantes incorporadas en la propuesta técnica de este estudio. Los antecedentes se han ordenado incluyendo introducción, objetivo, metodología, resultados, discusión, conclusiones y referencias bibliográficas. Se incluyen figuras, tablas y anexos.

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

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, al asumir los costos relativos a los análisis de mariscos para detectar y cuantificar las diferentes toxinas consideradas en este programa según las metodologías oficiales del país.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

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

1.2.2. Objetivos específicos

- 1.2.2.1 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.
- 1.2.2.2. 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.
- 1.2.2.3. Conocer la abundancia, composición y distribución espacio temporal del fitoplancton total en la red de estaciones del estudio.
- 1.2.2.4 Recolectar información hidrográfica y meteorológica en las estaciones de monitoreo de las regiones.
- 1.2.2.5 Registrar parámetros oceanográficos (corrientes) en sectores de interés dentro del área de estudio.
- 1.2.2.6 Identificar patrones de corrientes asociados a movimiento de partículas (microalgas) en sectores de interés dentro la macro zona de estudio.
- 1.2.2.7 Identificar patrones de distribución espacio temporal dentro del área de estudio para las distintas especies fitoplanctónicas nocivas relacionadas con los registros meteorológicos e hidrográficos registrados por el programa a partir de su base de datos histórica.

1.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera-Belmonte, A., I. Inostroza, J. M. Franco, P. Riobó, P. I. Gómez. 2011. The growth, toxicity and genetic characterization of seven strains of *Alexandrium catenella* (Whedon and Kofoid) Balech 1985 (Dinophyceae) isolated during the 2009 summer outbreak in southern Chile. *Harmful Algae* 12: 105-112.
- Aguilera-Belmonte, A., I. Inostroza, K.S. Carillo, J. M. Franco, P. Riobó, P. I. Gómez. 2013. The combined effect of salinity and temperatura on the growth and toxin content of four Chilean strains of *A. catenella* (Whedon and Kofoid) Balech 1985 (Dinophyceae) isolated from an outbreak occurring in southern Chile in 2009. *Harmful Algae*, 23: 55-59.
- Almandoz, G. O., Montoya, N. G-, Hernando, M. P., Benavidez, H. R., Carignan, M. O. & Ferrario, M. E. 2014. Toxic strains of the *Alexandrium ostenfeldii* complex in southern South America (Beagle Channel, Argentina). *Harmful Algae* 37: 100-109.
- Álvarez, G., E. Uribe, A. Vidal, P. Avalos, F. González, C. Mariño & J. Blanco. 2009a. Paralytic shellfish toxins in *Argopecten purpuratus* and *Semimytilus algosus* from Northern Chile. *Aquat. Living Resour.* 22: 1-7.
- Alvarez, G., Uribe, E., Quijano-Scheggia, S., López-Rivera, A., Mariño, C. & Blanco, J. 2009b. Domoic acid production by *Pseudo-nitzschia australis* and *Pseudo-nitzschia calliantha* isolated from North Chile. *Harmful Algae* 8 (6): 938-945.
- Álvarez, G., Uribe, E. Ávalos, P. Mariño, C. & Blanco, J. 2010. First identification of azaspiracid and spirolides in *Mesodesma donacium* and *Mulinia edulis* from Northern Chile. *Toxicon* 55: 638–641.
- Álvarez, G., Uribe, E., Díaz, R., Braun, M., Mariño, C. & Blanco, J. 2011. Bloom of the Yessotoxin producing dinoflagellate *Protoceratium reticulatum* (Dinophyceae) in Northern Chile. *Journal of Sea Research* 65: 427–434
- Alves-De-Souza, C., D. Varela, F. Navarrete, P. Fernández & P. Leal. 2008. Distribution, abundance and diversity of modern dinoflagellates assemblages from southern Chile (43°-54°S). *Botánica Marina* 51: 399-410.

- Alves-De-Souza, C.; Varela, D.; Contreras, C.; De La Iglesia, P.; Fernández, P.; Hipp, B.; Hernández, C.; Riobó, P.; Reguera, B.; Franco, J.M.; Diogène, J., García, C. & Lagos, L. 2014. Seasonal variability of *Dinophysis* spp. and *Protoceratium reticulatum* associated to lipophilic shellfish toxins in a strongly stratified Chilean fjord. Deep Sea Res. II Top. Stud. Oceanogr. 101: 152-162.
- Andersen, P., H. Enevoldsen & D. Anderson. 2003. Harmful algal monitoring programme and action plan design. In: Manual on Harmful Marine Microalgae. H.M. Hallegraeff, D.M. Anderson & A.D. Cembella (editors). UNESCO Publishing. Second edition, pp. 627-648.
- Anderson, D. 1989. Toxic algal blooms and red tides: a global perspective. In: Red Tides, Biology, Environmental Science, and Toxicology (T. Okaichi, Anderson, D.M., and Nemoto, T., Eds.). New York. Elsevier Science Publishers, pp. 11-16.
- Anderson, D. 2004. Prevention, Control and Mitigation of Harmful Algal Blooms: Multiple Approaches to HAB Management. In: Harmful Algae Management and Mitigation. Hall, S., Etheridge, S., Anderson, D., Kleindinst, J., Zhu, M and Zou, Y. (Eds). Asia-Pacific Economic Cooperation (Singapore): APEC Publication #204-MR-04.2, pp. 123-130.
- Anderson, D. M. 2009. Approaches to monitoring, control and management of harmful algal blooms (HABs). Ocean & Coastal Management. 52: 342-347.
- Anderson, D.M., P. Anderson, V.M. Bricelj, J.J. Cullen and J.E. Rensel. 2001. Monitoring and Management Strategies for Harmful Algal Blooms in coastal Waters, APEC #201-mr-01.1, Asia Pacific Economic Program, Singapore, and Intergovernmental Oceanographic Commission Technical Series.
- Ávila, M., C. de Zárate, A. Clément, P. Carbonell & F Pérez. 2015. Efecto de factores abióticos en el crecimiento vegetativo de *Alexandrium catenella* proveniente de quistes en laboratorio. Revista de Biología Marina y Oceanografía, vol. 50. (en prensa).
- Blanco, J., Álvarez, G. & Uribe, E. 2007. Identification of pectenotoxins in plankton, filterfeeders, and isolated cells of a *Dinophysis acuminata* with an atypical toxin profile from Chile. Toxicon: 710-716.
- Bricelj, M., & S.P. MacQuarrie. 2003. Intrinsic factors influencing the accumulation of PSP toxins in bivalve molluscs. In: Molluscan Shellfish Safety. A. Villalba, B. Reguera, J.L. Romalde & R. Beiras (Eds.), pp.121-126.
- Cembella, A., Lewis, N. & Quilliam, M. 2000. The marine dinoflagellate *Alexandrium ostenfeldii* (Dinophyceae) as a causative organism of spirolide shellfish toxins. Phycologia 39:67-74.

- COI. 2005. Informes de reuniones de trabajo N° XXXIII. Sede UNESCO Paris, Francia. 20-28 de Junio de 2005.
- Díaz, P., C. Molinet, M. A. Cáceres, A. Valle-Levinson. 2011. Seasonal and intratidal distribution of *Dinophysis* spp. in a Chilean fjord. *Harmful Algae* 10: 155–164.
- Díaz, P.A., C. Molinet, M. Seguel, M. Díaz, G. Labra, R. I. Figueroa. 2014. Coupling planktonic and benthic shifts during a bloom of *Alexandrium catenella* in southern Chile: Implications for bloom dynamics and recurrence *Harmful Algae* 40: 9–22.
- Franks, P.J.S. & D.M. Anderson. 1992. Alongshore transport of a toxic phytoplankton blooms in a buoyancy current: *Alexandrium tamarense* in the Gulf of Maine. *Marine Biology* 112: 153-164.
- Fuentes, C., A. Clement & A. Aguilera. 2008. Summer *Alexandrium catenella* bloom and the impact on fish farming in the XI Aysén region, Chile. Moestrup, O. et al. (eds). Proceeding of the International Conference on Harmful Algae. International Society for the Study of Harmful Algae and Intergovernmental Oceanographic Commission UNESCO. Copenhagen 183-186.
- Fux, E., Smith J.L., Tong, T., Guzmán, L. & Anderson D.M. 2011. Toxin profiles of five geographical isolates of *Dinophysis* spp. from North and South America. *Toxicon* 57(2): 275-287.
- García, C., D- Truan, M. Lagos, J.P. Santelices, J.P. Díaz & N. Lagos. 2005. Metabolic transformation of dinophysistoxins-3 into dinophysistoxins-1 causes human intoxication by consumption of =-acil-derivatives dinophysistoxins contaminated shellfish. *Journal of Toxicological Sciences*. 30 (4): 287-296.
- Garrido, C., M. Frangópulos & D. Varela. 2012. Efecto de diferentes proporciones de nitrógeno/fósforo en el crecimiento y toxicidad de *A. catenella* (Dinoflagellata). *Anales Instituto de la Patagonia (Chile)* 40 (2): 113-123.
- GEOHAB, 2001. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Science Plan. P. Gilbert and G. Pitcher (eds). SCOR and IOC, Baltimore and Paris, 86 pp.
- GEOHAB, 2003. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Implementation Plan. P. Gentien, G. Pitcher, A. Cembella, P. Gilbert (eds). SCOR and IOC, Baltimore and Paris, 36 pp.
- Goto, H., Igarashi, T., Watai, M., Yasumoto, T., Gomez, O.V., Lembeye, G.S, Noren, E., Gisselson, L.A., Graneli, E., 2000. Worldwide occurrence of pectenotoxins and yessotoxins in shellfish and phytoplankton. In: Hallegraeff, G. (ed.) 9th International Conference on Harmful Algal Blooms (Conference Abstracts). 7-11 February 2000, Hobart, Tasmania, Australia. 20 pp.
- Guzmán L., & I. Campodonico, 1975. Marea roja en la región de Magallanes. *An. Inst. Patagonia, Ser. Monogr.* 9, 1–44.

- Guzmán, L., G. Pizarro, J.C. Uribe., O. Oyarzo, R. Victoriano, E. Barticevic, C. Alarcón, S. Cuevas, A. Atalah, V. Chacón & M. Santana. 1999. Difusión Programa Marea Roja en la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena, Segunda Etapa. Tomos I, II, III, IV. 176 pp. + figuras+ anexos.
- Guzmán, L., J.C. Uribe, G., Pizarro, B. Suárez, A. López, C. Alarcón & R. Igor. 2000a. Seguimiento de la Toxicidad en Recursos Pesqueros de Importancia Comercial en la XII Región FIP 97-48. Informe Final. Fondo de Investigación Pesquera. 123 pp. + figuras + tablas + fotografías y anexos.
- Guzmán, L., G. Pizarro, R. Igor, A. Atalah, O. Oyarzo, E. Barticevic, C. Alarcón, J. Foppiano, N. Butorovic, E. Almonacid & M. Ruiz. 2000b. Difusión Programa Marea Roja en la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena, Cuarta Etapa. Tomos I, II, III, IV. 274 pp. + figuras + fotografías + anexos.
- Guzmán L., Pacheco H, Pizarro G & Alarcón C. 2002. *Alexandrium catenella* y veneno paralizante de los mariscos en Chile. In Floraciones algales nocivas en el Cono Sur Americano: E. Sar, M. Ferrario y B. Reguera (eds), Instituto Español de Oceanografía. Cap. 11. págs. 235-256.
- 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, C. Zamora, P. Zamora & N. Pesse. 2009. Manejo y Monitoreo de las mareas rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Informe Final. 187p. + Figuras + Tablas + Anexos. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción- Subsecretaría de Pesca.
- 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., N. Pesse, G. Vidal, G. Pizarro, X. Vivanco, M. Palma & C. Alarcón. 2012a. Desarrollo de microarreglos de oligonucleótidos para la detección e identificación de microalgas productoras de Veneno Paralizante de Mariscos, año 2011. Informe IFOP para PUC. FONDEF 2011. Informe final 75 pp.
- Guzmán L., X. Vivanco, G. Vidal, G. Pizarro, C. Hernández, M. A. Tocornal, M. T. Fauré and M. Palma. 2012b. Spatial And Temporal Variability Of *Alexandrium catenella* And PSP In Southern Chile (43° - 55° S) (May 2006 – May 2010) In: Pagou, P. and Hallegraeff, G. (eds). Proceedings of the 14th International Conference on Harmful Algae. International Society for the Study of Harmful Algae and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO 2012. ICHA 14 pp.75-77.

- Guzmán, L., X. Vivanco, G. Pizarro, G. Vidal, V. Arenas, L. Iriarte, S. Mercado, C. Alarcón, H. Pacheco, M. Palma. 2012c. The relative abundance as a tool to increase the certainty of temporal and spatial distribution of harmful algal species. In: Pagou, P. and Hallegraeff, G. (eds). Proceedings of the 14th International Conference on Harmful Algae. International Society for the Study of Harmful Algae and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO 2012. ICHA 14. pp. 285-287.
- Hallegraeff, G.M. 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32: 79-99.
- Hallegraeff, G.M 1995. Harmful algal blooms: A global overview. In Manual on Harmful Marine Microalgae (Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M. & A.D. Cembella Eds.). IOC Manual and Guides N° 33. UNESCO 1995. pp. 1-22.
- Hansen, P. J., Cembella, A. D. & Moestrup, Ø. 1992. The marine dinoflagellate *Alexandrium ostenfeldii*: paralytic shellfish toxin concentration, composition, and toxicity to a tintinnid ciliate. *J. Phycol.* 28:597-603.
- Kremp, A., T. Lindholm, N. Dreßler, K. Erler, G. Gerdt, S. Eirtovaara & E. Leskinen. 2009. Bloom forming *Alexandrium ostenfeldii* (Dinophyceae) in shallow waters of the Åland Archipelago, Northern Baltic Sea. *Harmful Algae* 8: 318-328.
- Krock, B., C.G. Seguel, K. Valderrama & U. Tillmann. 2009a. Pectenotoxins and yessotoxin from Arica Bay, North Chile as determined by tandem mass spectrometry. *Toxicon* 54: 364-367.
- Lembeye, G. 1981. Segunda Aparición del Veneno Paralítico de los Mariscos (VPM) asociado a la presencia de *Gonyaulax catenella*, en Magallanes (Chile). 1981. *Ans. Inst. Pat.* 12: 273-276.
- Lembeye, G., Yasumoto, Y., Zhao, J. & Fernández, R. 1993. DSP outbreak in Chilean fiords. In: Smayda, T. J. & Shimizu, Y. (Eds.), *Toxic phytoplankton blooms in the sea*. Elsevier, Amsterdam, pp. 525-529.
- Lembeye, G., C Molinet, N. Marcos, A. Sfeir, A. Clement & X. Rojas. 1997. Monitoreo de la Marea Roja en las aguas interiores de la X y XI regiones. Informe Final Proyecto FIP 95/23b. Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Chile. 62 pp.
- Lembeye, G., N. Marcos, A. Sfeir, C. Molinet, F. Jara, C. Clément & X. Rojas. 1998. Seguimiento de la toxicidad en recursos pesqueros de importancia comercial en la X y XI región. Informe final. Universidad Austral. Fondo de Investigación Pesquera. 86 pp. + figuras + anexos.

- Lindahl, O. 1998. Occurrence and Monitoring of harmful algae in the marine environment. In: Miraglia, M., Van Egmond, H., Brera, C. & J. Gilbert, (eds.) 1998. Mycotoxins and phycotoxins – developments in chemistry, toxicology and food safety. Proceedings of the IX International IUPAC Symposium on Mycotoxins and Phycotoxins. Fort Collins, Colorado, Alaken Press, pp. 409-423.
- López-Rivera, A., Pinto, M., Insinilla, A., Suarez-Isla, B. A., Uribe, E., Álvarez, G., Lehane, M., Furey, A., James, K. J. 2009. The occurrence of domoic acid linked to a toxic diatom bloom in a new potential vector: The tunicate *Pyura chilensis* (piure). *Toxicon* 54:754-762.
- López-Rivera, A., O'Callaghan, K., Moriarty, M., O'Driscoll, D., Hamilton B., Lehane, M., James, K.J. & Furey, A. 2010. First evidence of azaspiracids (AZAs): A family of lipophilic polyether marine toxins in scallops (*Argopecten purpuratus*) and mussels (*Mytilus chilensis*) collected in two regions of Chile. *Toxicon* 55: 692-701.
- Molinet, C., E. Niklitschek, M. Seguel & P Díaz. 2010. Trends of natural accumulation and detoxification of paralytic shellfish poison in two bivalves from the Northwest Patagonian inland sea. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 45 (2): 195-204.
- 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, J.M., M.G. Muñoz & A. M. Contreras. 2006. Temperature as a factor regulating growth and toxin content in the dinoflagellates *Alexandrium catenella*. *Harmful Algae* 5 : 762-769.
- Navarro, J. M., B. L. Águila, F. Machmar, O. R. Chaparro & A. M. Contreras. 2011. Dynamic of intoxication and detoxification in juveniles of *Mytilus chilensis* (Bivalvia: Mytilidae) exposed to paralytic shellfish toxins. *Aquat. Living Resour.* 24, 93–98.
- Pizarro G. 2014. Análisis de toxinas lipofílicas mediante LC-MS/MS en muestras de fitoplancton y moluscos recolectadas durante la floración estival 2013 de *Dinophysis* spp. en Magallanes. Informe final Proyecto de Emergencia SUBPESCA-MINECON. Abril 2014. 16p+tablas+figuras+anexos.
- Pizarro, G., Alarcón, C., Franco, J.M., Palma, M, Escalera, K, Reguera, B, Vidal, G. & Guzmán, L. 2006. Distribución espacial de *Dinophysis* spp. y detección de toxinas DSP en el agua mediante resinas diaion (verano 2006, región de Los Lagos, Chile). Taller de resultados campaña CIMAR 11, SHOA. Octubre de 2006. Libro de resúmenes.

- Pizarro G, Alarcón C, Franco JM, Escalera L, Reguera B, Vidal G, Palma M & Guzmán L. 2011a. Distribución espacial de *Dinophysis* spp. y detección de toxinas DSP en el agua mediante resinas DIAION (verano 2006, X región de Chile). *Cienc.Tecnol.* 34 (1):25-50.
- Pizarro G., Garrido C., Zamora C., Alarcón C., Raimapo R., Salgado P & Guzmán L. 2011b. Distribución de *Alexandrium catenella* y de toxina paralizante en el fitoplancton y mariscos en el estrecho de Magallanes y Tierra del Fuego (primavera 2010). *Crucero CIMAR 16 Fiordos. Informes preliminares noviembre de 2011, CONA*, p. 69-81.
- Pizarro G., M. Seguel, L. Guzmán, C. Alarcón, H. Pacheco & E. Fernández-Niño 2012a. Nets And Mussels As Cysts Captors During The Decline Phase Of A *Alexandrium catenella* Bloom. In: Pagou, P. and Hallegraeff, G. (eds). *Proceedings of the 14th International Conference on Harmful Algae. International Society for the Study of Harmful Algae and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO 2012. ICHA 14* pp. 276-278.
- Pizarro, G., N. Pesse, P. Salgado, C. Alarcón, C. Garrido & L. Guzmán. 2012a. Determinación de la capacidad de adherencia, mecanismos de propagación y métodos de destrucción de *Alexandrium catenella* (célula vegetativa y quiste). *Informe Final Proyecto SUBPESCA. Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso, Chile*, 79 pp.
- Pizarro, G., B. Paz, P. Salgado, P. Álvarez-Chaver, C. Garrido & L. Guzmán. 2012b. Perfil de toxinas de *Protoceratium reticulatum* aislados de la región de Aysén. XXXII Congreso de Ciencias del Mar, 22-25 octubre 2012. Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile. Libro de Resúmenes, p. 83.
- Pizarro, G., F. Arévalo, A. Moroño, P. Riobó, J. Franco, C. Zamora & L. Guzmán. 2014. Emergent lipophilic shellfish toxins in the Magellan region (47-55 °S), Chile. Presentado al 10th International Conference on Harmful Algae, Wellington, New Zealand. 27 al 31 octubre 2014.
- Quilliam, M. 2004. Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LC-MS): A Universal Method for the analysis of toxins? 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, pp. 171 – 173.
- Reguera, B., 2002. Establecimiento de un Programa de Seguimiento de Microalgas Tóxicas. En *Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur América*. Eugenia A. Sar., Martha E. Ferrario y Beatriz Reguera (Eds.). Instituto Español de Oceanografía. pp. 21-54.
- Reguera, B., Riobó, P., Rodríguez, F., Díaz, PA., Pizarro, G., Paz, B., Franco, JM. & Blanco, J. 2014. *Dinophysis* toxins: Causative organisms, distribution and fate in shellfish. *Mar. Drugs* 12: 394-461.

- Salgado, P., G. Pizarro & L. Guzmán. 2012b. Distribución de *Alexandrium ostenfeldii* y *Alexandrium* sp. (Dinophyceae) en Chile. XXXII Congreso de Ciencias del Mar, 22-25 octubre 2012. Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile. Libro de resúmenes, p. 259.
- Seguel, M. A. Sfeir & M. Gangas. 2006. Distribución de quistes de *Alexandrium catenella* y *Protoceratium reticulatum* (Dinoflagelados) en sedimentos provenientes de la región de Los Lagos (41° 25' – 43° 08' Lat. S). En Crucero CIMAR 11 Fiordos. Informes Preliminares. Comité Oceanográfico Nacional, pp. 51-57.
- Seguel, M., A. Sfeir & V. Albornoz. 2010. Floraciones de microalgas tóxicas en la región de Aysén y su relación con larvas de peces. Ciencia y Tecnología de Mar, 33 (1), 31-42
- Smayda, T. J. 1990. Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea: evidence for a global epidemic. In: Toxic Marine Phytoplankton (E- Granéli, B. Sundström, L. Edler & D.M. Anderson, Eds.). N.Y. Elsevier Science Publishers, pp. 29-40.
- Smayda, T. J. 1995. Environmental monitoring. In: Manual on Harmful Marine Microalgae. Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M. & A.D. Cembella (Eds.). IOC Manual and Guides N° 33. UNESCO. pp. 405-431.
- Smayda, T. J. 2003. Environmental monitoring, with examples from Narragansett Bay. In: Manual on Harmful Marine Microalgae. H.M. Hallegraeff, D.M. Anderson & A.D. Cembella (Eds.). UNESCO Publishing. Second edition. pp. 595-626.
- Todd, K. 2003. Role of phytoplankton monitoring in marine biotoxin programmes. In: Manual on Harmful Marine Microalgae. H.M. Hallegraeff, D.M. Anderson & A.D. Cembella (editors). UNESCO Publishing. Second edition. pp. 649-656.
- Trefault, N., B. Krock, N. Delherbe, A. Cembella & M. Vásquez. 2011. Latitudinal transects in the southeastern Pacific Ocean reveal a diverse but patchy distribution of phycotoxins. Toxicon 58: 389-397.
- UNESCO. 1996. Design and Implementation of Some Harmful Algal Monitoring Systems. Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) 44:1-102.
- Uribe, J. 1988. Antecedentes sobre un tercer brote de Veneno Paralizante de Los Mariscos (VPM) en la Región de Magallanes. 1988. Ans. Inst. Pat. Ser. Cs. Nat. 18: 97-101.
- Uribe, J.C, L. Guzmán, y S. Jara. 1995. Monitoreo mensual de la marea roja en la XI y XII regiones. Proyecto FIP 93/16, Informe Final, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile. 93 pp.
- Uribe, J.C., L. Guzmán, G. Pizarro, C. Alarcón & J.L. Iriarte. 1997. Monitoreo de la Marea Roja en las aguas interiores de la XII región. Fondo de Investigación Pesquera. Informe Final.

- Uribe, J.C., L. Guzmán, H. Pacheco., R. Igor, G. Pizarro, E. Barticevic, M. Frangopulos, C. Alarcón, T. Hromic, C. Labbe, A. Atalah & P. Chang. 1998. Difusión Programa Marea roja en la Región de Magallanes y Antártica Chilena. Primera Etapa. Informe Final. Tomos I, II y III. Fondo Nacional de Desarrollo Regional.
- Uribe, J. C., García, C., Rivas, M. & Lagos, N. 2001. First report of diarrhetic shellfish toxins in magellanic fjords, southern Chile. J. Shellfish Res. 20: 69-74.
- Uribe, J.C., S. Oyarzún & V. Latorre. 2010. ALEXANDRIUM CATENELLA (WHEDON & KOFOID) BALECH, 1985, IN MAGELLAN WATERS, CHILE. Anales Instituto Patagonia (Chile), 38 (1): 103-110.
- Valenzuela, & S. Avaria. 2009. Distribución del microfitoplancton marino entre el seno Reloncaví y boca del Guafo en invierno y primavera de 2005. (Crucero Cimar 11 fiordos). Cienc. Tecnol. Mar, 32 (2): 43-77, 2009
- Varela, D., J. Paredes, C. Alves-de-Souza, M. Seguel, A. Sfeir & M. Frangópulos. 2012. Intraregional variation among *Alexandrium catenella* (Dinophyceae) strains from southern Chile: Morphological, toxicological and genetic diversity Harmful Algae 15: 8–18
- Vidal, G., L. Guzmán, H. Contreras, V. Arenas, S. Mercado and H. Pacheco. 2012. Quantitative Phytoplankton Assemblages Associated To Alexandrium catenella Blooms In Southern Chile. In: Pagou, P. and Hallegraeff, G. (eds). Proceedings of the 14th International Conference on Harmful Algae. International Society for the Study of Harmful Algae and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO 2012. ICHA 14 pp. 72-74.
- Vivanco, X., G. Pizarro, B. Paz, P. Álvarez-Chaver, C. Hernández & C. Zamora. 2012. Perfil de yesotoxinas en moluscos de la región de los Lagos asociado a floración de *Protoceratium reticulatum*. XXXII Congreso de Ciencias del Mar, 22-25 octubre 2012. Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile. Libro de resúmenes, p. 230.
- Wyatt, T. 1993. Una crítica de iniciativas recientes relacionadas con problemas de floraciones algales. In: Actas del Aula de Trabajo sobre Purgas de Mar y Fitoplancton Tóxico en la Península Ibérica. Fraga, S. (Ed.). Inf. Téc. Inst. Ocean. Madrid 144:32-35.
- Zhao, J., Lembeye, G., Cenci, G., Wall, B., Yasumoto, T. 1991. Detection of okadaic acid and dinophysistoxin-1 in mussels from Chile, Italy and Ireland. Fifth International Conference on Toxic Marine Phytoplankton. New Port, Rhode Island, USA.



INFORME FINAL
Capítulo 2: B

Monitoreo del micro-fitoplancton y toxinas marinas, incluyendo
variables hidrográficas y meteorológicas, VIII etapa
(Marzo de 2014 a febrero de 2015).



INFORME FINAL

Capítulo 2: B

Monitoreo del micro-fitoplancton y toxinas marinas, incluyendo variables
hidrográficas y meteorológicas, VIII etapa
(Marzo de 2014 a febrero de 2015)

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Mayo 2015

JEFE DE PROYECTO

Leonardo Guzmán Méndez

AUTORES

Leonardo Guzmán Méndez
Gastón Vidal Santana
Ximena Vivanco Tapia
Luis Iriarte Bustamante
Susana Mercado Leal
Hernán Pacheco Valle
Cesar Alarcón Zapata
Gissela Labra Holzapfel
Loreto López Rivera
María Calderón Nash
Héctor Tardón Sepúlveda
Verónica Muñoz Ojeda
Carla Mellado Zambrano
María Fernanda Cornejo Acevedo
Carolina Toro Ruiz
Mauricio Palma Alarcón
Javier Monsalve Montecinos
Elías Fernández Niño
Christian Espinoza Alvarado

COLABORADORES

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

2.1. INTRODUCCIÓN

La macro-zona sur-austral del país, que abarca las regiones administrativas 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, la acuicultura y el turismo.

Las toxinas involucradas incluyen veneno paralizante de los mariscos (VPM), veneno diarreico de los mariscos (VDM) y veneno amnésico de los mariscos (VAM), además de yesotoxinas (YTXs) y pectenotoxinas (PTXs). Recientemente se han detectado otros complejos tóxicos como azaspirácidos (AZPs) en la región de Los Lagos y espirólidos (SPXs) en la región de Magallanes (datos no publicados), lo cual obliga a fortalecer las competencias y las acciones ligadas a este tipo de fenómeno.

Debido a las frecuentes y recurrentes proliferaciones de microalgas nocivas y brotes tóxicos en mariscos, es que se ha determinado contar con un sistema de detección confiable y oportuno, tanto de las microalgas tóxicas como de las toxinas involucradas, a fin de disponer de alertas tempranas para usuarios relacionados con la extracción de mariscos filtradores y carnívoros desde bancos naturales, pero también es información válida para mariscos de cultivo no obstante que éstos cuentan con un programa especial para estos efectos; asimismo los resultados del programa permiten orientar la frecuencia y cursos de desplazamiento de las embarcaciones de transporte de peces vivos (wellboats) entre las regiones de Aysén y Los Lagos, por la eventualidad de transportar las formas vegetativas y quistes de las microalgas desde la zona de plagas hacia el sector que no ha sido declarado zona de plaga, al norte del sector de Quellón. Todo ello tiene relevancia para la salud pública, y por los impactos sobre el entorno económico y social, además de las implicancias ambientales asociadas a una especie declarada plaga: *Alexandrium catenella*, el dinoflagelado fuente primaria del veneno paralizante de los mariscos.

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

La entrada en vigencia del reglamento sobre Plagas Hidrobiológicas y sus modificaciones, entrega a la autoridad la responsabilidad de velar sobre la oportuna detección de plagas hidrobiológicas para aislar su presencia y evitar su propagación, entre otras medidas. Es en este sentido y con motivo de vigilar el área FAN declarada en el 2009 bajo R. Ext. N° 177 y modificada en el 2012 por R. Ex. N° 2826, que desde el año 2006 en el país se mantiene un programa de Monitoreo de las Mareas Rojas en las regiones de Los Lagos,

Aysén y Magallanes, el cual ejecuta el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), si bien existen coordinaciones con la Secretaría Regional Ministerial de Salud de cada una de las tres regiones administrativas que considera este estudio, en lo que se refiere al análisis de las muestras de mariscos para evaluar la presencia y cantidad de tres complejos de toxinas marinas. Este monitoreo provee la información para la toma de decisiones de la autoridad, además de alimentar una base de datos con antecedentes sobre la dinámica de la distribución y abundancia de las principales especies de microalgas nocivas que se encuentran en las citadas regiones. Por este motivo es menester contar con un registro continuo de las variables citadas a fin de analizar desde una perspectiva temporal estos fenómenos.

Un programa de monitoreo es una actividad sistemática en el espacio y tiempo, orientado a contar con información que permita conocer las tendencias naturales de determinadas variables que pueden ser utilizadas como indicadores de cambio ambiental y eventualmente indicadores de riesgo para la salud pública y las actividades productivas (Guzmán *et al.*, 2010, datos no publicados).

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

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).

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 e iniciado en mayo de 2006. El programa no sólo aborda los aspectos ligados al fitoplancton nocivo y toxinas marinas sino que además incluye la composición y abundancia del micro-fitoplancton total, además del registro de variables hidrográficas y meteorológicas en los distintos puntos de muestreo.

Desde sus inicios en 2006 hasta la fecha, si bien el programa ha mantenido la misma orientación, ha considerado modificaciones orientadas a lograr una mayor confiabilidad y cobertura de los antecedentes recolectados, de tal forma que en determinados sectores se aborda con una frecuencia de muestreo distinta a aquella adoptada en la mayor parte del área de estudio, además de compatibilizar los recursos financieros disponibles y la extensión de los vastos sectores que son cubiertos por este programa.

Durante 2014 se ejecutó la VIII etapa 2014-15 de este programa. Al igual que en la etapa previa, se contempla un muestreo diferenciado en Subprogramas en relación a las necesidades según las áreas geográficas consideradas, sus complejidades y los aspectos que allí se desea cautelar, adaptando en consecuencia, las frecuencias de muestreo y distribución de las estaciones de acuerdo a las características particulares de cada sector. Bajo este criterio el estudio se ha estructurado en 3 subprogramas: a) Monitoreo Regular; b) Monitoreo de Vigilancia y Fiscalización; y c) Monitoreo de Raúl Marín Balmaceda. El detalle y características de cada subprograma se entregan en detalle en la metodología por objetivos. Al igual que en todas las etapas, el análisis toxicológico de las muestras de mariscos es abordada por los laboratorios de las Secretarías regionales ministeriales de cada región administrativa considerada, con asiento en las ciudades de Puerto Montt, Aysén y Punta Arenas. El resto de los aspectos, desde los muestreos, recolección de información, análisis e interpretación de los resultados, es responsabilidad del Instituto de Fomento Pesquero, a través de su Departamento de Medio Ambiente de la División de investigación en Acuicultura.

Este documento constituye el informe final del programa de monitoreo correspondiente al período marzo 2014 – febrero 2015 en su fase de terreno. No se incluye un análisis e interpretación de la información generada en esta etapa, lo cual será realizado durante el transcurso de 2015, tal como se muestra en otros capítulos de este informe.

2.2. OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo general

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

2.2.2 Objetivos específicos

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

2.3. METODOLOGÍA

Durante esta VIII etapa (2014-15), el área geográfica y las actividades consideradas son las mismas que aquellas abordadas desde el inicio del programa en mayo de 2006, pero existe, al igual en las dos etapas previas, una mayor cantidad de sitios de muestreo (208) que en sus inicios (147), y además se han incorporado desde la VII etapa, cambios en la frecuencia de muestreo, a) cada 10 días, en el sur del mar interior de Chiloé y parte del área norte de Aysén (un sector de Melinka y Estero Pitipalena (Raúl Marín Balmaceda)), y b) de 10 cruceros anuales se incrementó a un total de 11 cruceros anuales, en el resto de los sectores (la mayor parte del área de estudio, en total 8 sectores), y las actividades se han organizado en tres subprogramas: Subprograma Regular, Subprograma de Fiscalización y Vigilancia y Subprograma de Raúl Marín Balmaceda. El estudio en su fase de terreno se extiende desde marzo 2014 hasta febrero 2015, lo cual representa para los sectores con muestreo de baja frecuencia (mensual) un total de 11 cruceros en ese lapso y para los sectores de alta frecuencia (cada 10 días), 31 cruceros.

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

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

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

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

2.3.1 Metodología Objetivo Específico 1

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

Estaciones y frecuencia de muestreo

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

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

a) Sub-Programa Monitoreo Regular:

Considera el monitoreo de 187 estaciones ubicadas desde la región de Los Lagos hasta la región de Magallanes. Corresponden a estaciones establecidas en sectores de extracción de recursos hidrobiológicos. La frecuencia de muestreo es mensual con un receso invernal de 45 días aproximadamente (meses de julio y agosto), no obstante que por condiciones climáticas el calendario de muestreo determina que este receso no sea de la magnitud indicada, dado los retrasos originados durante otoño, en todas las regiones administrativas consideradas. Se informan 11 cruceros regulares para todas las estaciones consideradas en este subprograma, empezando el primer muestreo en el mes de marzo de 2014, dado que la finalización de la etapa previa de este estudio ocurrió durante febrero de 2014. En cada estación se realizaron las siguientes actividades: toma de muestras de agua para análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton nocivo y total, vigilancia de variaciones espacio temporales de toxinas en transvectores selectos, toma de datos oceanográficos y meteorológicos. La metodología para el análisis de fitoplancton, detección de toxinas, toma de datos oceanográficos y meteorológicos se detalla en los objetivos específicos 2.2. y 2.3., y corresponde a la adoptada por el Programa en sus versiones anteriores. Las estaciones que fueron muestreadas en este subprograma se entregan detalladas en el Anexo 2.1., segregadas por región administrativas. Las fechas de muestreo para cada subprograma, región administrativa, y localidad de muestreo se presentan en la base de datos (CD adjunto).

b) Sub-Programa Vigilancia y Fiscalización:

Considera un conjunto de 17 estaciones de muestreo, que desde la etapa VII de este programa son muestreadas con una frecuencia aproximada a 10 días, de tal forma que en un mes es posible realizar tres muestreos. Estas estaciones están ubicadas en los sectores de Quellón, el área sur y sur-este de la Isla de Chiloé, un transecto en el Canal Moraleda y Golfo Corcovado, además de ciertos sitios del área norte de Aysén, en el sector de Melinka (ver Figuras 2.1 y 2.2). El incremento de la frecuencia de muestreo tiene por finalidad aumentar el flujo de información para disminuir la incertidumbre en la toma de decisiones por la autoridad fiscalizadora en relación al transporte de especies hidrobiológicas

mediante wellboats. Las estaciones y su ubicación se encuentran en el Anexo 2.2. La frecuencia de muestreo es cada 10 días aproximadamente, con un receso invernal de 30 días, completando un total de 31 cruceros entre marzo 2014 y febrero 2015. De la misma forma que para el Subprograma Regular, las condiciones meteorológicas y oceanográficas, determinan ajustes al calendario establecido, y haciendo que el receso invernal tenga menos días. El inicio de las campañas fue en el mes de marzo 2014 y se informa hasta febrero 2015. Se realizaron las siguientes actividades en cada estación: toma de muestras para análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton nocivo y total, vigilancia de variaciones espacio temporales de toxinas en transvectores selectos con una frecuencia mensual cuando la topografía del lugar y la disponibilidad de recursos permitieran la recolección de mariscos (ver Anexos 2.1., 2.2. y 2.3.), toma de datos oceanográficos y meteorológicos. Al igual que lo indicado para el Subprograma Regular, la metodología para el análisis de fitoplancton, detección de toxinas, toma de datos oceanográficos y meteorológicos se detalla en los objetivos específicos 2.2. y 2.3., y corresponde a la adoptada por el Programa en sus versiones anteriores.

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

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

Muestreo transvectores y detección toxinas

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

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

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

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

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

Para el veneno diarreico, se aplicó la técnica modificada de Yasumoto *et al.* (1984), y los resultados son presentados en términos cualitativos según los tiempos de muerte de los ratones en un lapso de 24 horas, entendiendo por resultado positivo la muerte, de al menos dos de tres ratones, en un lapso inferior a 24 horas. El veneno amnésico fue estimado mediante cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) según la metodología descrita por Quilliam *et al.* (1995). Los resultados se presentan en microgramos de ácido domoico por gramos de carne de marisco ($\mu\text{g g}^{-1}$).

2.3.2 Metodología Objetivos Específicos 2 y 3

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

Estaciones y frecuencia de muestreo:

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

Muestreo de fitoplancton

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

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

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

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

1. Muestreo cualitativo: el fitoplancton fue recolectado mediante arrastres verticales desde 20 m de profundidad como máximo hasta la superficie o según profundidad del lugar, usando una red de trama de malla de 23 μ m. Los arrastres fueron realizados en triplicado (3 réplicas), en dos puntos de cada estación de muestreo, separados entre sí por unos 300 - 500 m. Las muestras fueron fijadas con formalina neutralizada al 2-3% y de cada punto se conformó una sola muestra (i.e. una muestra integrada de seis arrastres).
2. Muestreo cuantitativo: para este análisis se realizaron muestreos de la columna de agua entre los 20 m de profundidad y superficie, utilizando una manguera de 2,5 cm de diámetro. La columna de agua fue fraccionada en dos estratos: superficie a 10 m y de 10 a 20 m de profundidad (se recolectó una muestra por estrato).

Análisis de fitoplancton

1. Análisis cualitativo: se utilizaron microscopios ópticos de campo luminoso, a 100x y 400x, dotados con condensador de contraste de fase y equipo de epi-fluorescencia. Se estimó la abundancia relativa de *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *D. acuminata*,

Dinophysis acuta, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia* cf. *australis* y *P.* cf. *pseudodelicatissima*, para lo cual se contabiliz3 el n3mero de c3lulas de cada tax3n en una al3cuota de 0,1 ml tomada desde una muestra sedimentada, bajo un cubre-objeto de 18 x 18 mm (3 r3plicas) (Tabla 2.1.). Sin perjuicio de lo anterior, se identificaron todas las microalgas contenidas en la muestra al menor nivel taxon3mico posible.

2. An3lisis cuantitativo: las muestras fueron contabilizadas a nivel espec3fico en c3maras de sedimentaci3n, cuyo volumen fue seleccionado de acuerdo a la concentraci3n de la muestra. La c3mara m3s utilizada fue la de 10 ml. Para el recuento celular se aplic3 la t3cnica de Uterm3hl (1958), en microscopios invertidos dotados con contraste de fase.

2.3.3 Metodolog3a Objetivo Espec3fico 4

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

Recolecci3n de datos hidrogr3ficos

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

Recolecci3n de informaci3n meteorol3gica

S3lo para la regi3n de Magallanes las variables clim3ticas se registraron mediante estaciones meteorol3gicas de registro autom3tico en tanto que para las otras regiones la informaci3n ha sido tomada de la Direcci3n de Aeron3utica Civil. En la regi3n de Los Lagos, sector Puerto Montt en 41°26' 06"S y 73°05' 51"W; regi3n de Ays3n, sector Puerto Ays3n en: 45° 23' 45,9"S y 72°39'50,0"W y en la regi3n de Magallanes, Puerto Zenteno a 15 m.s.n.m. en 52°47'S y 70°47'W. Para esta 3ltima la estaci3n se compone de un registrador de datos electr3nico ("datalogger") y sus respectivos sensores de temperatura y humedad relativa del aire, radiaci3n solar, velocidad y direcci3n del viento y precipitaci3n.

En todas las estaciones (puntos de muestreo), se registraron adem3s las condiciones atmosf3ricas al momento de efectuar el muestreo. Se incluye la medici3n de temperatura del aire y rapidez y direcci3n del viento mediante termo anem3metro digital, a resguardo de lluvia y radiaci3n solar para efectuar la toma de temperatura, y registrando 5 valores minuto a minuto para calcular un promedio de la velocidad del viento y el uso de un comp3s de navegaci3n para registrar su direcci3n; la presi3n atmosf3rica se midi3 mediante un GPS; Nubosidad, mediante la divisi3n de la b3veda celeste en octavos. La posici3n de cada estaci3n fue referenciada geogr3ficamente utilizando equipos GPS bajo el Datum WGS84.

2.4. GESTIÓN DEL PROYECTO

Aunque la toma de razón fue el 3/06/2014 por parte del Contralor General de la República del convenio de desempeño entre la Subsecretaría de Economía y Empresas de menor tamaño y el Instituto de Fomento Pesquero aprobado por medio del Decreto N° 113, de fecha 9 de abril de 2014, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, en la gestión del proyecto se abordaron desde febrero de 2014, doce tópicos de relevancia para la ejecución de las acciones comprometidas en los términos técnicos de referencia.

- a) Solicitud dirigida al Servicio Hidrográfico de la Armada en cumplimiento del Decreto Supremo N° 711 del 22 de agosto de 1974 relativo al “Reglamento de Control de las Investigaciones Científicas y Tecnológicas Marinas afectadas en la Zona Marina de Jurisdicción Nacional”. La autorización fue aprobada el 13 de mayo de 2014 mediante documento SHOA ORDINARIO N° 13270/24/299.
- b) Solicitud de Pesca de Investigación ante la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura para la recolección de muestras de mariscos para los análisis de las toxinas marinas según se compromete en la propuesta técnica de acuerdo a los requerimientos de la Ley General de Pesca y Acuicultura efectuada el 3 de julio de 2014. La autorización de Pesca de Investigación fue aprobada el 19 de noviembre de 2014 mediante R. EX. N° 3076.
- c) Procesos de licitaciones públicas, privadas o cotizaciones, según los montos comprometidos para monitorear los distintos sectores. Y luego suscripción de los contratos con armadores de embarcaciones menores que se adjudicaron los distintos sectores para el transporte de los investigadores o técnicos para la toma de muestras y registro de información en las áreas de estudio. Para efectos de monitoreo el área de estudio fue dividida en 9 sectores denominados; Estuario Reloncaví (en Chiloé norte), Chiloé central, Chiloé sur, Aysén norte, Aysén sur, Tortel, Magallanes norte, Magallanes centro y Magallanes sur. Adicionalmente, para efecto de estudios oceanográficos fue considerada la instalación de dos ADCP, uno en el sector Isla Chaúlinec y el otro en Isla Tranqui, ambos simultáneamente durante 30 días en otoño y luego durante 30 días en primavera. La selección de las embarcaciones dependiendo de los costos referenciales de cada lugar se realizó mediante licitación pública en los sectores Chiloé central, Chiloé sur, Aysén norte, Magallanes centro y Magallanes sur, licitación privada en los sectores Aysén sur y Magallanes sur, mientras en los sectores de Estuario Reloncaví, Tortel y sector Islas Chaúlinec y Tranqui se realizó mediante cotizaciones. A fines de diciembre de 2013 fueron adjudicadas las licitaciones públicas en los sectores Chiloé central, Chiloé sur, Aysén norte, Magallanes centro y Magallanes sur y licitación privada en el sector Magallanes sur, mientras que la licitación privada del sector Aysén sur fue declarada desierta debido a que los presupuestos sobrepasaron el valor predefinido para este servicio. En una segunda etapa, a fines de enero 2014 mediante cotizaciones se adjudicó el servicio de transporte marítimo en el sector Aysén sur. La definición y confección de los contratos con los Armadores se realizó entre enero y febrero de 2014. Adicionalmente, durante abril de 2014 se gestionó

el arriendo de una embarcación para realizar estudios oceanográficos (2 campañas) en los sectores Isla Chaulinec e Isla Tranqui.

d) Modificaciones del personal asociado al proyecto:

Incremento en la dotación de personal asociado al análisis de fitoplancton del proyecto y vinculado al análisis de la información histórica del programa marea roja:

- Se ha fortalecido la dotación de personal asociado al análisis de fitoplancton en Aysén (Verónica Muñoz_2 abril 2014) y Magallanes (Carolina Toro_1 Febrero 2014) con el propósito de mejorar los tiempos de respuesta en el análisis de las muestras.
- Se ha fortalecido el personal relacionado con el análisis de la información, específicamente en el tópico asociado al objetivo 7 del estudio relacionado con identificar los patrones de distribución espacio temporal dentro del área de estudio para las distintas especies fitoplanctónicas nocivas relacionadas con los registros meteorológicos e hidrográficos registrados por el programa a partir de su base de datos histórica (Dr. Oscar Espinoza, Ms. S. Rodrigo Martínez y Pamela Carbonell durante abril 2014).

Modificación del personal asociado al proyecto:

- En Aysén por renuncia voluntaria del funcionario Elías Fernández-Niño fue contratada en su reemplazo María Fernanda Cornejo (fecha ingreso 9 diciembre 2014).
- En Los Lagos por renuncia voluntaria del biólogo marino Sr. Hector Tardón fue contratada en su reemplazo la Srta. Carla Mellado (fecha de ingreso 16 de febrero de 2015).

e) Adquisición de artículos fungibles. Durante los dos primeros meses de proyecto se gestionaron las adquisiciones de material fungible relacionado con mallas, frascos, cajas y reactivos químicos relacionados con la recolección, conservación y almacenamiento de las muestras. Además de la ropa de trabajo, particularmente de terreno.

f) Adquisiciones y mantenciones de equipos.

* Se realizaron reparaciones de tres CTD:

CTD SAIV AS modelo SN 607 asignado a la región de Aysén fue enviado a Noruega para reparación durante el periodo comprendido entre 14 de marzo y 7 de abril 2014. La reparación estuvo relacionada con el reemplazo del sensor de temperatura, cambio de baterías y reparación del sensor de oxígeno, además se realizó calibración del equipo (certificado 3173). Este equipo durante el transporte de regreso se fracturó la carcasa externa del equipo y fue enviado nuevamente a Noruega para la reconstrucción de la carcasa retornando finalmente el 6 de junio de 2014.

CTD SAIV AS modelo SN 607 asignado a la región de Magallanes fue enviado a Noruega para reparación vinculado con el reemplazo del tubo de cuarzo (conductividad), reemplazo del sensor de oxígeno y cambio de baterías, además de realizó la calibración del equipo (certificado 3172) durante el periodo comprendido entre 14 de marzo y 7 de abril de 2014.

CTD Sea&Sun modelo 75M asignado a la región de Puerto Montt fue enviado durante noviembre de 2014 a Alemania para el reemplazo del sensor de oxígeno. El equipo retornó durante febrero 2015.

* Se realizaron reparaciones e instalaciones de microscopios:

Durante Abril y mayo del 2014 se realizaron reparaciones de microscopios que presentaban fallas menores en el micrómetro, también se instalaron dos microscopios que fueron adquiridos a fines del 2013 con cargo a recursos del convenio de desempeño CORFO y que actualmente forman parte del equipamiento destinado al análisis de fitoplancton. Adicionalmente, se incorporaron equipos de epi-fluorescencia a 2 equipos microscopios invertidos para mejorar la identificación de dinoflagelados, también adquiridos con recursos del convenio de desempeño CORFO.

- g) Ejecución del proyecto. Entre el 24 de febrero y 15 de marzo de 2014 se dio inicio al crucero 1 de los nueve sectores considerados en el proyecto (Estuario y seno Reloncaví, Chiloé centro, Chiloé sur, Aysén norte, Aysén sur, Tortel, Magallanes norte, Magallanes centro y Magallanes sur). Los trabajos de terreno culminaron el 28 de febrero 2015.

Se realizaron 2 estudios de correntometría Euleriana, uno durante la primavera y el otro en otoño en dos sectores ubicado entre las islas Chaulinec y Tranqui dentro del mar interior de Chiloé. Los primeros 2 ADCP fueron instalados el 10 de abril y retirados el 16 de mayo de 2014, mientras que los 2 ADCP instalados durante la primavera fueron colocados el 28 de noviembre y retirados el 27 de diciembre de 2014.

Cambio de recursos:

- En la estación de muestreo Isla Talcán (L10N02) el recurso objetivo almeja ha presentado una disminución importante, y para que la estación de muestreo tenga continuidad fue necesario cambiar el recurso objetivo almeja por cholga que en el lugar es más abundante. La solicitud de cambio de recurso fue remitida durante agosto del 2014 a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, en principio argumentaron que no hay inconvenientes pero informaron al Ministerio de Salud para generar mayor acuerdo sobre esta situación. El Ministerio de Salud se pronunció favorablemente por el cambio de recurso.
 - En Magallanes, Isla Rennell (M16N1) e Isla Olga (M40N1) fueron estaciones de muestreo incluidas durante la etapa actual del proyecto, durante la localización de las estaciones de había predefinido en el TTR la extracción de recursos hidrobiológicos, pero considerando que en el lugar no se han localizado bancos de mariscos, en ambas estaciones solo se recolectan muestras de agua para análisis de fitoplancton.
- h) Fortalecimiento de las competencias ligadas a las capacidades técnicas de los profesionales asociados al estudio.

Fecha: 28 julio – 1 agosto de 2014

Nombre curso: Curso microscopía óptica y sus variantes tecnológicas.

Encargados del curso: Profesor Jorge Sans Puroja.

Lugar: Puerto Montt, Chile

Participante: Ximena Vivanco, Gissela Labra, Loreto López, María José Calderón, Héctor Tardón, Luis Iriarte, Susana Mercado, Verónica Muñoz, Cesar Alarcón, Hernán Pacheco y Carolina Toro.

Fecha: 10 – 22 de noviembre de 2014

Nombre curso: Curso de Postgrado Latinoamericano Microalgas Marinas Nocivas.

Encargado del curso: Profesora Cecilia Castaños, Docente de la Universidad Tecnológica nacional, Chubut, Argentina.

Lugar: Puerto Madryn, Argentina

Participante: María José Calderón.

Fecha: 23 enero de 2015

Nombre curso: Seminario-Taller “Floraciones Algaes Inéditas en Chile: Causas y Medidas de Mitigación”.

Organizadores del taller: Rodrigo Infante, Empresa Editec.

Lugar: Puerto Montt, Chile

Participante: Ximena Vivanco y Pamela Carbonell.

Fecha: 12 marzo de 2015

Nombre Workshop: Bioensayo In vitro para Biotoxinas Marinas – Alternativa a bioensayo en ratones.

Organizadores del taller: Centro de excelencia internacional Wageningen UR Chile.

Lugar: Santiago, Chile

Participante: Rodrigo Martínez.

i) Reuniones técnicas con organismos del Estado.

Durante enero del 2014 se realizó una reunión de coordinación en dependencias del Instituto de Fomento Pesquero en Puerto Montt entre el Ministerio de Medio Ambiente, Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura y la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura con el fin de coordinar acciones respecto de integrar el análisis de riesgo como metodología dentro de la autorización de ingreso de especies sujetas a importación.

j) Presentación en reuniones científicas:

Entre el 27 y 31 de octubre de 2014 se realizó el 16th International Conference on Harmful Algae en Wellington, New Zealand. Fueron aceptados los siguientes trabajos:

- Microphytoplankton and harmful species distribution and abundance in fjords of Southern Chile. L. Guzmán, O. Espinoza-González and P. Carbonell (2014). (Formato presentación panel)
 - Effects of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) teleconnections on the abundance of micro-phytoplankton and *Alexandrium catenella*, in Southern Chile. Leonardo Guzmán and Gemita Pizarro (2014). (Formato presentación Oral).
 - Emergent lipophilic shellfish toxins in the Magellan region (47-55°S), Chile. Gemita Pizarro, Fabiola Arévalo, Ángeles Moroño, Pilar Riobó, José Franco, Claudia Zamora and Leonardo Guzmán (2014). (Formato presentación panel).
- Asistieron a este evento la Dra. Gemita Pizarro Nova y el Dr. Leonardo Guzmán Méndez.

- Entre el 15 y 20 de marzo de 2015 se realizó en Puerto Varas el “10th International Conference on Molluscan Shellfish Safety”. En la Sección Biotoxin & Phytoplankton vinculada a la Sesión: Management and Surveillance el Dr. Leonardo Guzmán presentó la Conferencia: “Something is happening in fjords and channels of Southern Chile (41°-55°): the case of *Alexandrium catenella* and Paralytic Shellfish Poison for the past 40 years”.

Con fecha 24 de abril de 2015 se realizará en Puerto Montt el seminario de difusión de los resultados del proyecto.

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

- l) Ejercicios de intercalibración

- Ejercicio de inter-comparación de análisis de muestras de fitoplancton. Durante marzo 2015 se inscribió 10 investigadores (analistas de fitoplancton) en el Bequalm Proficiency Testing 2015, en el Marine Science Institute de Irlanda, laboratorio de referencia de la comunidad europea para la identificación y enumeración de fitoplancton. El ejercicio tiene por objetivo evaluar la eficiencia con que los analistas realizan el trabajo de identificación y cuantificación de las muestras de fitoplancton. La aprobación del ejercicio es certificada. Los analistas participantes son:

1. César Hugo Alarcón, Punta Arenas
2. Hernán Pacheco Valle, Punta Arenas

3. María Fernanda Cornejo, Aysén
 4. Verónica Soledad Muñoz, Aysén
 5. Luis Eduardo Iriarte, Aysén
 6. Ximena del Carmen Vivanco, Puerto Montt
 7. María José Calderón, Puerto Montt
 8. Gissela Carolina Labra, Puerto Montt
 9. Loreto del Pilar López, Puerto Montt
 10. Carla Javiera Mellado, Puerto Montt
-
- Ejercicio de inter-calibración de análisis de ácido domoico. Durante marzo se inscribió en el ejercicio que coordina el Metrología del Instituto de Salud Pública al Laboratorio de Mareas Rojas del Instituto (Punta Arenas) a través de la Sra. Claudia Zamora Amstein, en un ejercicio de inter-calibración para evaluar la eficiencia con que se realizan análisis para evaluar la presencia de veneno amnésico en mariscos y muestras de fitoplancton.

2.5. RESULTADOS

Aspectos generales

Aunque no está comprometido ningún análisis de la información generada entre marzo de 2014 y febrero de 2015, ya que está contemplado realizarlo durante la IX etapa 2015-16 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.

En lo general se aprecia que la región de Magallanes, no presentó ningún registro máximo, ni en toxinas marinas, como tampoco en estimadores de abundancia relativa de todos los taxones nocivos considerados. Los valores más altos tanto de toxinas, como de fitoplancton nocivo se registraron en la región de Aysén, con algunas excepciones observadas en la región de Los Lagos.

No hubo muestras con veneno paralizante detectable mediante el bioensayo ratón en la región de Los Lagos. Al igual que en el estero Pitipalena (Subprograma de Raúl Marín Balmaceda) en que tampoco se detectaron muestras de mariscos positivas a este complejo tóxico (VPM). El registro mayor se observó en la región de Aysén el 27 de febrero de 2015, con 3.402 $\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$ carne de marisco en muestras de cholga recolectadas en la localidad de Colonia Grande (A52). En la región de Magallanes, el valor más alto registrado para este complejo tóxico fue notoriamente más bajo que el observado en la región de Aysén, rompiéndose la tendencia de incremento hacia el sur observada en años previos, registrándose un máximo de 184 $\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$ carne de marisco, valor observado en el área norte de Magallanes en isla Vancouver (M15) también en cholga, en muestras recolectadas el 4 de julio de 2014, valor concordante con las estimaciones de abundancia relativa para *A. catenella* registrados para esa región.

En cuanto a los resultados con la aplicación del bioensayo para veneno diarreico, la proporción más alta de resultados positivos fue registrada en la región de Aysén, con un 44,7%, seguido por la región de Magallanes con un 28,7% y el valor más bajo fue observado en la región de Los Lagos con un 12,3%, valores correspondientes al total de muestras analizadas por región.

Respecto del ácido domoico (veneno amnésico), sólo en la región de Los Lagos hubo un par de muestras positivas, y con valores muy por debajo de la norma de 20 $\mu\text{g g}^{-1}$, con estimaciones de 2,4 $\mu\text{g g}^{-1}$ en muestras de chorito recolectadas en canal Dalcahue (L11) el 17 de marzo de 2014 y 0,7 $\mu\text{g g}^{-1}$ en almeja recolectada en punta Chiguao (L19) el 5 de febrero de 2015, ambas durante verano.

Las estimaciones más altas de abundancia relativa fueron registradas en la región de Aysén y en algunas ocasiones también en la región de Los Lagos. Para *Alexandrium catenella*, éstas fueron observadas en marzo de 2014 en las localidades de Seno Medio (A18N3) un 2 de marzo, isla Gama Zañartu-Canal Yacaf (A16) e isla Bobadilla-Seno Soto (A17) el 8 de marzo, punta Apablaza (A16N1) el 9 de marzo, con registros de nivel 8 (ultra abundante). Valores similares fueron registrados el 20 de enero de 2015 en isla Orestes (A23), isla Julián (A30) e isla Ester (A32N1). Es importante señalar que

para el sector del estero Pitipalena (subprograma de Raúl Marín Balmaceda) el registro más alto de *A. catenella* ocurrió durante el primer crucero (9 de marzo de 2014) con una abundancia relativa de nivel 4 (abundante) observado en la localidad de Canal (A07). Algo similar ocurrió con *A. ostensfeldii*, que presentó la estimación más alta en Laja Brazo Pillán 1 (A06) con un registro de nivel 7 (hiper abundante), en cambio hubo nueve oportunidades en que *Dinophysis acuminata* presentó estimaciones de nivel 8 (ultra abundante) en cruceros realizados en marzo, abril y mayo de 2014 y enero y febrero de 2015, valores registrados preferentemente en Laja Brazo Pillán 1 (A06), además de observaciones puntuales en Playa corta (A08N2), Mallín (A08N1) y Repollal – estero Las Islas (A08). *Dinophysis acuta* presentó estimaciones muy bajas en A06, A08 y A08N1 en febrero de 2015. *Protoceratium reticulatum*, si bien presentó estimaciones de abundancia relativa un poco más altas que *D. acuta*, estas también fue baja, un nivel 4 (abundante) en islote Las Hermanas (A08N3) en enero 2015. En cambio las especies de *Pseudo-nitzschia* presentaron estimaciones más altas, si bien tampoco fueron muy frecuentes, *P. cf. australis*, en seis oportunidades con registros de nivel 6 (extremadamente abundante) en los meses de marzo y noviembre de 2014 (Canal, Playa corta, islote Las Hermanas) y enero de 2015 en Repollal – estero las Islas y Mallín. Y *P. cf. pseudodelicatissima* sólo tuvo un registro importante en Laja Brazo Pillán 1 con una estimación de nivel 8 (ultra abundante) en marzo de 2014.

En el subprograma regular los registros más altos de abundancia relativa se observaron en cuatro localidades de la región de Aysén durante marzo de 2014 con una estimación de nivel 8 (ultra abundante) en isla Gama Zañartu – Canal Yacaf (A16), punta Apablaza (A16N1), isla Bobadilla – Seno Soto (A17) y seno Medio (A18N39) y tres localidades durante enero de 2015 con la misma estimación en isla Orestes (A23), isla Julián (A30) e isla Ester (A32N1). En cambio presentaron un nivel de nivel 9 (mega abundante), *A. ostensfeldii* en seno Ventisquero 2 (A19N2) en la región de Aysén, *D. acuminata* en seis sitios en Los Lagos, todas en la boca del estero de Reloncaví y sectores adyacentes, y ocho en la región de Aysén distribuidas en Aysén norte y Aysén sur; *D. acuta* en seis localidades de Aysén norte y sur y *P. reticulatum* en tres sitios en Los Lagos (Cochamó L02N2, Marimelli L02N3 y Pocihuen L02N4) y Aysén (isla Julián A30, isla Viola A30N1 e isla Ester A32N1), respectivamente. Las especies de *Pseudo-nitzschia* sólo alcanzaron hasta nivel 7 (hiper abundante), si bien *P. cf. australis* presentó ese nivel con una notoria mayor frecuencia 19 veces en la región de Aysén y 9 en la región de Los Lagos contra 4 oportunidades de *P. cf. pseudodelicatissima*, todas registradas en la región de Aysén.

Para el subprograma de Fiscalización y Vigilancia todos los otros registros para las otras especies nocivas siempre fueron inferiores a aquellos más altos registrados para el subprograma Regular, con la excepción del registro de nivel 9 (mega abundante) observado marzo de 2014 para *D. acuminata* en la localidad de bahía Asasao (L22) en el sur de Chiloé.

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 2014-15; Sub carpeta 1: 01SP. Reg; Sub carpeta 2 : 02SP. Vig-Fisc; Sub carpeta 3: 03SP. RMB.

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

Dentro de la sub carpeta 02SP. Vig-Fisc, está la carpeta Los Lagos-Aysén y posee información de Abundancia Relativa, Fitoplancton Cualitativo, Fitoplancton Cuantitativo, Fechas de muestreo, Información Meteorológica, Información Oceanográfica, Toxinas y Disco Secchi, para los 31 cruceros de Vigilancia y Fiscalización. Cada archivo excel posee una hoja para las estaciones de la región de Los Lagos y una hoja para las estaciones de la región de Aysén.

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

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

2.5.1. Objetivo Específico 1:

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

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

a) Sub-Programa Monitoreo Regular:

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

b) Sub-Programa Vigilancia y Fiscalización:

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

c) Sub-Programa Raúl Marín Balmaceda:

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

2.5.2. Objetivos Específicos 2 y 3:

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

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 2014 y febrero 2015 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 y Chiloé Centro se entrega toda la información recolectada hasta el 11o crucero (Base de datos en CD) según compromiso suscrito. En tanto para el área de Chiloé Sur se entrega la información recolectada hasta el crucero 31ero según contrato.

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:

Para las tres regiones administrativas 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.

2.5.3. Objetivo Específico 4:

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

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

2.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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
- A.O.A.C. 1990. Paralytic Shellfish Poison. Biological method. Final action. In Hellrich, K. ed. *Official Method of Analysis*. 15th Edition, pp. 881-882, Sec 959.08. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), Arlington, Virginia, USA.
- 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.
- 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.
- Quilliam, M.A. and Wright, J.L.C. 1995. Methods for diarrhetic shellfish poisons. Ch. 6. In Manual on Harmful Marine Microalgae. G.M. Hallegraeff, D.M. Anderson, and A.D. Cembella (Eds.), p. 95-111. IOC Manuals and Guides No. 33. UNESCO, Paris.
- Utermohl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton. Methodik. Mitt int. Verein. Theor. angew. Limnol. 9, 38 p.
- Yasumoto, T., M. Murata, Y. Oshima, K. Matsumoto & J. Clardy. 1984. Diarrhetic shellfish poisoning. Pp. 207-214, in: E. P. Ragelis (ed.). SeaFood Toxins, ACS Symposium Series 262, American Chemical Society, Washington, D.C.

INFORME FINAL
Capítulo 3: C

Correntometría e hidrografía entre las islas Chaulinec y Tranqui, mar interior de Chiloé.



INFORME FINAL

Capítulo 3: C

Correntometría e hidrografía entre las
islas Chaulinec y Tranqui, mar interior de Chiloé.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Mayo 2015

JEFE DE PROYECTO

Leonardo Guzmán Méndez

AUTORES

Elías Pinilla Matamala

Gabriel Soto Soto

Laura Méndez Espiño

COLABORADORES

Marcela Arriagada Ortega

Patricio Salas Salas

3.1. INTRODUCCIÓN

La distribución de fitoplancton en el medio marino está influenciada por una amplia gama de procesos que incluyen la circulación, la luz y la disponibilidad de nutrientes, así como las interacciones biológicas (Berdalet *et al.*, 2014). La comprensión de la estructura y los procesos oceanográficos físicos es crítica para la comprensión de la abundancia de fitoplancton, su dinámica y su potencial impacto.

La circulación oceánica costera proporciona una contribución fundamental a la ecología de las floraciones de algas nocivas (FAN). En concreto, los procesos de advección con origen tanto en el océano profundo como en los estuarios, tienen un efecto sobre la disponibilidad de los nutrientes, acercando a éstos a la capa fótica donde finalmente pueden ser utilizados por el fitoplancton. sobre la plataforma continental y la posterior distribución y concentración a través de la plataforma. Así, un ingrediente necesario para el estudio de la ecología de las FAN es una descripción de la circulación marina (Weisberg *et al.*, 2009). Por lo tanto, se requiere un conjunto de observaciones y modelos para describir y entender los procesos que rigen la distribución y abundancia del fitoplancton en general y de las floraciones de algas nocivas en particular, en la zona sur austral de Chile.

Las condiciones oceanográficas de estos sistemas han sido definidas como extremas, en gran medida por un aporte de agua dulce proveniente de contribución fluvial, glaciar y pluvial, conformando una hidrodinámica de tipo estuarina positiva, con dos estratos definidos, uno superficial de agua estuarina (salobre) proveniente del interior de los canales y/o fiordos con flujo de agua hacia la zona oceánica y un estrato de mayor profundidad, con un flujo de agua de características oceánicas (salada), ingresando al interior de estos sistemas (Dyer, 1973). Sin embargo, este esquema de circulación hidrodinámica con un flujo de dos capas, puede ser modificado debido a la interacción de uno o varios forzantes, actuando de manera tal que puedan presentarse flujos residuales de 3 capas y/o flujos laterales (Valle-Levinson *et al.*, 2014). En relación a estos patrones de circulación un aspecto relevante es la topografía submarina, en particular las constricciones batimétricas, que operan como umbrales que provocan barreras en la circulación de las aguas de mayor profundidad (Pickard, 1971).

En estudios realizados en fiordos del sur de Chile, se ha observado que en áreas de abruptos cambios batimétricos, los efectos de la marea (Valle-Levinson *et al.* 2001; Valle-Levinson *et al.* 2002), y del viento (Valle-Levinson y Blanco, 2004) pueden modificar sustancialmente el intercambio de dos capas frecuentemente observado, y contribuir a la redistribución del material en suspensión. Se han reconocido regiones de umbrales, donde se evidencian condiciones de flujo subcrítico y bloqueo asociados a las distintas fases de la marea (Cáceres *et al.*, 2006), y modificaciones asociados a recirculaciones (Valle-Levinson *et al.*, 2001; Cáceres and Valle-Levinson, 2004).

El nivel del mar en la región de Los Lagos es también un rasgo con características particulares. La propagación de la onda de marea que penetra al Mar Interior de Chiloé a través de la Boca del Guafo, es reconocida por presentar notable amplificación de las componentes semidiurnas M2 y S2 entre dicha boca y el umbral Desertores-Apiao (Aiken, 2008). Dicha amplificación se manifiesta con mayor amplitud sobre las alturas en el lado izquierdo de la propagación, es decir, en la costa de la Isla de

Chiloé. Como ejemplo, los datos obtenidos de las cartas náuticas de la zona muestran que en la Isla Guafo el rango de marea en sicigias es de 2,29 m, mientras que desde este a oeste sobre el umbral es 6,2 m en Isla Lemuy (cercano a costa de Chiloé), 4 m en Isla Chaulinec (en el centro del umbral) y 4,05 en Puerto Yelcho (en la costa continental). Desde el umbral hacia el norte, los rangos de marea se mantienen entre 6 y 7 m en el Golfo de Ancud, Seno Reloncaví y cuerpos de agua adyacentes. Así, la morfología de la cuenca al sur del umbral favorece la resonancia de la onda de marea y la asimetría este-oeste de la amplificación.

Una de las herramientas recomendadas para estudios de corrientes en ambientes estuarinos es a través del uso de ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Esta constituye una técnica de resolución espacial y temporal para el estudio de los componentes mareales y residuales del campo de velocidades que permitirá extraer las componente de fase, amplitud y residual de las constituyentes armónicas semidiurna y diurna de la marea. La información proporcionada por estos instrumentos es irremplazable para los estudios de flujos y transportes, y constituye la más avanzada tecnología disponible para este propósito.

En el presente estudio, se realizarán mediciones estacionales de corrientes y perfiles de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia en el sector oriental del golfo Corcovado entre las Islas Chaulinec y Tranqui. Se estimarán los flujos residuales en los 2 puntos de anclaje seleccionados, identificándose el transporte neto y los patrones de distribución vertical. Los flujos residuales son importantes por el rol que ellos juegan en un amplio rango de fenómenos estuarinos, los que incluyen, entre otros, balances de sal, generación de zonas de máxima turbidez, dispersión de fitoplancton y contaminantes, transporte de sedimento en suspensión e identificación de zonas de retención de partículas (Kjerfve *et al.*, 1981, Jay *et al.*, 1996). Una estimación de los flujos de entrada y de salida a partir de las velocidades residuales obtenidos en secciones verticales, es fundamental para evaluar el balance de masa de cualquier propiedad biogeoquímica (clorofila, nutrientes, etc.) entre las cuencas.

Se espera que esta información además de resultar en datos de utilidad para estudios relacionados con transporte de floraciones de algas nocivas, también contribuya al desarrollo de la modelación hidrodinámica en estos sectores, estos datos serán de mucha utilidad para los procesos de calibración de dichos modelos. La información generada constituye un aporte a estudios similares que se abordarán en sectores selectos de los fiordos y canales sur australes con la finalidad de disponer de los antecedentes básicos orientados a lograr una mejor comprensión de la distribución y abundancia del fitoplancton desde una perspectiva física.

3.2. OBJETIVOS

3.2.1 Objetivo específico

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

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Correntometría euleriana

Se realizaron mediciones de correntometría euleriana en la columna de agua a través de un anclaje de ADCP RDI 300khz en isla Tranqui e Isla Chaulinec con un intervalo de registro cada 10 minutos. Los puntos geográficos y detalles técnicos se observan en la Tabla 1.

Dado que estos instrumentos refieren en forma original la dirección al norte magnético para efecto de análisis los registros son corregidos por la desviación magnética terrestre indicada para la zona de estudio quedando los datos referidos al norte geográfico.

Para determinar la dirección a lo largo de la cual la corriente oscila se calcularon los ejes de máxima varianza (EMV) por medio de un análisis de las componentes principales, que describen la información de un conjunto de variables observadas mediante un conjunto de variables más pequeña y que se obtiene de la descomposición en valores propios (autovalores) y vectores propios (autovectores) de la matriz de covarianzas.

De los datos de corrientes obtenidos a través del ADCP anclado se calcularon los flujos residuales para diferentes las capas dentro de la columna de agua. Con el propósito de separar las oscilaciones de marea con las fluctuaciones asociada a un forzamiento distinto a la marea. Para ello cada componente de la corriente (U y V) fue filtrada mediante un filtro de paso bajo Coseno Lanczos de 121 pesos con un periodo de corte de 40 horas, para tal efecto fueron empleados códigos en Matlab ya programados.

Se generaron diagramas de vector progresivo para visualizar el movimiento de una partícula o parcela de agua en un campo homogéneo, es decir, que las condiciones o forzantes no varían en el espacio y son idénticas en todo momento al punto de medición del ADCP. Este tipo de metodología debe ser usada con cuidado en un sistema interior (sistema de fiordo y canales) ya que la variabilidad espacial de la corriente puede estar dada por cambios espaciales en la batimetría, línea de costa, viento, etc. El análisis espectral de la corriente se realizó mediante el método de Welch. Este método permite cuantificar la distribución de la energía en el dominio de la frecuencia a través de la varianza total de la serie. Los espectros calculados presentan 10 grados de libertad. Para el ADCP ubicado en isla Chaulinec no se obtuvo el análisis espectral debido a que en los periodos analizados la cantidad de datos disponibles no proporciona resultados robustos.

Cabe señalar que las mediciones de otoño no completaron los 30 días de medición en cada uno de los puntos, alcanzando 10 días de medición en Chaulinec y 21 en Isla Tranqui. Un problema electrónico relacionado con las baterías de los equipos impidió completar la información completa, sin embargo, dada las características armónicas de flujo en ambas zonas con un fuerte dominio de la acción de la marea, hace posible, aun así, un análisis coherente de los datos. Durante la campaña de primavera el ADCP ubicado al sur de isla Chaulinec registró periodos de medición erróneos con un pitch y roll fuera del rango de -20 y 20, debido posiblemente a las elevadas magnitudes de la corriente, por lo que

los datos obtenidos se procesaron por separado, dividiendo la serie en tres periodos: del 26/11/2014 - 04/12/2014, del 18/12/2014 - 22/12/2014 y del 24/12/2014 - 27/12/2014.

3.3.1. Hidrografía

Para obtener muestras de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la columna de agua fue utilizado un CTD-O Seabird 19 plus V2. Las estaciones de CTD-O fueron distribuidas entre las Islas Tranqui y Chaulinec, mediante una transecta de 6 estaciones (Figura 3.1).

Se realizó una medición en la transecta señalada al inicio de la instalación de ADCP y también durante el retiro de los equipos, es decir, se realizaron dos campañas con una diferencia aproximada de un mes.

Se construyeron secciones de cada variable a lo largo de las estaciones realizadas (eje norte-sur), estos fueron montados utilizando un formato estándar adecuado al software Ocean Data View (ODV).

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

3.4. RESULTADOS

3.4.1. Correntometría euleriana

3.4.1.1. Período otoño (abril-mayo 2014)

Sector Isla Chaulec: La Figura 3.2 muestra las elipses de máxima varianza para distintas profundidades, se observa en estas, que la dirección en que fluctúa la corriente es en el eje NW-SE, disminuyendo las magnitudes hacia profundidades mayores. La Figura 3.3 muestra los perfiles de corrientes totales y residuales (filtrando la marea). De acuerdo a estas, se aprecia claramente que el comportamiento de la corriente total está influenciada por la marea, siendo este su principal forzante. Las corrientes residuales muestran un comportamiento barotrópico, es decir, la columna de agua se mueve completa en una dirección. En el dominio de la frecuencia, el flujo está dominado principalmente por el armónico M2 de un periodo de 12 horas (Figura 3.4). El diagrama de vector progresivo (Figura 3.5) muestra que el movimiento neto se produce en la capa superficial hacia este variando hacia capas más profundas su dirección hacia el noreste.

Sector Isla Tranqui: La Figura 3.6 muestra que la máxima varianza se encuentra alineada en el eje norte-sur y sus velocidades paulatinamente tienden a disminuir a medida que aumenta la profundidad. El análisis espectral muestra un pico de 12 horas que corresponde a la componente mareal semidiurna M2 (Figura 3.7). El perfil de corrientes totales indica claramente los pulsos debido a la acción de la marea, mientras que cuando filtramos esta última y nos quedamos con el flujo residual, se observa un flujo barotrópico neto hacia el norte en la componente V (norte-sur) y neto hacia el oeste en la componente U (este-oeste) (Figura 3.8). El resultado del movimiento neto del agua en aquel punto se produce hacia la dirección noroeste, en toda la columna de agua (Figura 3.9) disminuyendo levemente su velocidad hacia zonas más profundas.

3.4.1.2. Período primavera (noviembre-diciembre 2014)

Sector isla Tranqui: Las elipses de máxima varianza presentadas en la Figura 3.10, sugieren que la oscilación de la corriente principal se genera en el eje norte-sur, con una disminución de la magnitud a medida que aumenta la profundidad.

La Figura 3.11 presenta las series de tiempo de U y V residuales en la columna de agua (flujos positivos de U y V son presentados en rojo, mientras que flujos negativos son azules). En la componente U se observa una columna de agua con una estructura vertical en la que se alternan periodos bicapa y monocapa. Los periodos con estructura bicapa se caracterizan por presentar principalmente una capa superficial-media con dirección este y otra profunda con dirección oeste (del 26 al 28 de noviembre, del 3 al 9 de diciembre y del 16 al 27 de diciembre); no obstante, entre el 9 y el 14 de diciembre la capa de circulación este se reduce hasta 10 metros de profundidad. Los periodos de estructura vertical monocapa presentan dirección oeste.

La componente V, se caracteriza por presentar una estructura vertical general monocapa que alterna flujos de dirección norte que se ven interrumpidos por flujos débiles de dirección sur.

El diagrama del vector progresivo (Figura 3.12) muestra que las partículas de agua se desplazan en dirección noreste en la capa superficial-media y hacia el noroeste en la capa más profunda, disminuyendo su velocidad a medida que aumenta la profundidad.

Los espectros de la corriente (Figura 3.13) muestran que la mayor cantidad de energía está asociada a la banda semidiurna, con una mayor densidad espectral en la componente V. También se destacaron máximos relativos en la banda cercana a las 6 y 4 horas, atribuidos a la generación de armónicos de aguas someras.

Sector isla Chaulec: Las elipses de máxima varianza (Figuras 3.14, 3.15 y 3.16) muestran una dirección predominantemente noroeste-sureste para toda la columna de agua, con una disminución de la magnitud a medida que aumenta la profundidad.

La Figura 3.17 presenta las series de tiempo de U y V residuales en la columna de agua (flujos positivos de U y V son presentados en rojo, mientras que flujos negativos son azules). Ambas componentes presentan, para los tres periodos estudiados una distribución vertical monocapa y unidireccional a lo largo del perfil, que presenta dirección este para la componente U y sur para la V. Finalmente, el diagrama del vector progresivo (Figura 3.18) muestra que las partículas de agua se desplazan en dirección sureste, disminuyendo su velocidad a medida que aumenta la profundidad.

3.4.2. Hidrografía

3.4.2.1. Periodo otoño (abril-mayo 2014)

Temperatura: La sección norte-sur de temperatura al inicio de la campaña, en abril, (Figura 3.19) presentó una columna mezclada verticalmente, con un núcleo de mayor temperatura de 11.34°C hacia el lado más norte y centrado aproximadamente a los 5m, mientras que es evidente la entrada por el lado sur de una masa de agua con menores temperaturas (10.35°). Para la campaña de mayo de 2014, se aprecia una disminución general de la temperatura, respecto de la campaña de abril, con una pequeña estratificación en superficie hacia el lado norte, con máximas temperaturas justamente en ese sector (11°C). Hacia el lado sur, se aprecia la entrada de agua con menor temperatura con valores de 10.3°C (Figura 3.20).

Salinidad: Para mayo de 2014, se observa un patrón similar al encontrado en la salinidad, una columna más bien mezclada y valores menores hacia el lado norte (33.28 psu) y mayores hacia el sur (33.55 psu), por ingreso de una masa de agua con características distintas (Figura 3.19). Para la campaña de mayo se observa una leve disminución de la salinidad y la generación de una pequeña estratificación hacia el lado norte, alcanzando valores mínimos de 32.16 psu en superficie (Figura 3.20).

Oxígeno disuelto: Se observa para la campaña de abril de 2014 (Figura 3.19) una estratificación de las condiciones de oxígeno disuelto con mayores concentraciones en la capa superficial y menores a hacia el fondo, con valores que fluctúan entre 5.7 y 7.9 mg/L. Un rasgo importante se observa hacia el lado sur con entrada de menores concentraciones en toda la columna de agua (excepto en superficie) y que a medida que avanza hacia el sur se profundiza. Para la campaña de mayo de 2014 se observa, en general, un aumento en la concentración de oxígeno disuelto con mayores concentraciones sobre los 5 m y siendo mayor hacia el lado sur. Los rangos de fluctuación varían entre 5.9 a 8.7 mg/L (Figura 3.20).

Fluorescencia: Para el muestreo de abril de 2014 se muestra un núcleo de máxima fluorescencia (1 mg/m³) en la parte central de la sección y a una profundidad aproximada de 10 m. Luego los menores valores se encuentran en la parte superficial sur y fondo del lado norte con valores bajos los 0.3 mg/m³. Para el periodo de mayo se observa un descenso de los valores siendo inferior a los 0.5 en la mayor parte de la columna de agua y encontrándose los menores valores (<0.3 mg/m³) en la capa de los primeros 5 m de la columna de agua siendo menores hacia el norte (Figura 3.21).

3.4.2.2. Período primavera (noviembre-diciembre 2014)

Temperatura: en noviembre se observó una columna de agua estratificada hacia el lado norte (E1), la cual se hace evidente en la capa superficial 0-10m), con temperaturas >11,25°C, mientras que hacia el lado sur la columna de agua se presentó con una mayor tendencia hacia la homogeneidad (columna mezclada) (Figura 3.22). En diciembre la temperatura exhibió un patrón de distribución vertical opuesto al de noviembre, el lado sur presentó una columna de agua estratificada, con mayores registros térmicos. Ambos periodos presentaron diferencias respecto a sus medias: 10.7°C±0.2 en noviembre 11.1°C±0.2 diciembre, por lo que el mes de diciembre tendió a ser ligeramente más cálido (Figura 3.23).

Salinidad: en noviembre y en diciembre la salinidad exhibió un patrón similar en la distribución vertical, representado por una columna de agua mezclada (ausencia de haloclina), con estrechos rangos de variación, ambos periodos evidenciaron ingreso de agua de características oceánicas (≈33,2 psu) desde el sur hacia el norte (gradiente latitudinal). Sin embargo, es importante mencionar que en noviembre se registró una profundización de la isohalina de 33.2 psu (Figura 3.22), mientras que en diciembre, esta tiende a registrarse en los estratos más superficiales (Figura 3.23).

Oxígeno disuelto: en noviembre (registró hacia la parte norte una marcada estratificación de las condiciones de oxígeno disuelto destacando las elevadas concentraciones en la capa superficial, hacia el lado sur la concentración de oxígeno experimentó un descenso paulatino con menores concentraciones hacia el fondo (Figura 3.22), en diciembre la concentración de oxígeno evidenció hacia el lado norte una columna relativamente homogénea, con concentraciones ≈6.5 mg/L, mientras que hacia el lado sur se observó un descenso discreto de la concentración, cabe destacar que la profundización de la oxilínea de 6.75 mg/L indica que el lado sur se mostró más oxigenado aprox.

>7mg/L (Figura 3.23). La concentraci3n media fue mayor en noviembre (7.43 mg/L $\pm$ 0.43), que en diciembre 6.9 mg/L $\pm$ 0.3).

Fluorescencia: en noviembre de 2014 destacan elevados valores de fluorescencia, sobre los 40m la concentraci3n (1 mg/m³) sobresalen 2 n3cleos caracterizados por concentraciones mayores o igual a 1,5 mg/m³, en el lado norte como en lado sur. El lado norte present3 una distribuci3n vertical relativamente homog3neo con valores m3nimos $\approx$ los 0.3 mg/m³ en la mayor parte de la columna de agua, mientras que el lado sur exhibi3 una gradiente vertical con m3ximos valores 0.7 mg/m³ en la capa superficial, para descender hacia los 0.3 mg/m³ a los 150m aprox. (Figura 3.24).

3.5. DISCUSIÓN

Los anclajes de ADCPs mostraron que la corriente en ambos sectores (Chaulinec y Tranqui) tiene un fuerte predominio de la marea con valores máximos sobre 40cm/s en el caso de Chaulinec y sobre los 100 cm/s en el caso de Tranqui, en ambos casos el control es ejercido mayormente por la componente semidiurna de la marea (M2) de período de 12 horas. El flujo residual, es decir, la señal que queda luego de remover la marea, muestra flujos barotrópicos, lo que indica que la columna de agua se comporta de forma homogénea, no generando un patrón de 2 o más capas (típico de sistemas estuarinos), por lo tanto, el desplazamiento de la columna de agua, se produce en un rango acotado de direcciones. En el caso de Chaulinec se observa un desplazamiento neto hacia el cuadrante noreste, en cambio para el caso de Tranqui se produce un desplazamiento neto hacia el noroeste. En ninguno de los dos casos se observó un movimiento neto hacia el sur, ni siquiera en las capas más superficiales, como es esperable en un sistema estuarino con influencia de una capa superficial de menor densidad debido al aporte de agua dulce. Tampoco se observó un efecto del viento evidente en las capas superficiales. Sin embargo es importante mencionar que durante el período de primavera frente a isla Tranqui se genera un patrón de dos capas, con un desplazamiento principalmente en dirección noreste en la capa superficial-media y ligeramente noroeste en la capa profunda.

La hidrografía reafirma el hecho que en esta zona el patrón, tanto de temperatura y salinidad, presenta un comportamiento escasamente estratificado (ausencia de termoclina y haloclina), mezclado en su mayor parte, lo cual es justificado a través de las isopícnas tanto en otoño como primavera (Figura 3.25 y 3.26). Todo esto explicado por la fuerte energía entregada por la entrada de la onda de marea desde el océano a través de la boca del Guafo, que provoca un rompimiento de la estratificación en estos sectores. En general se observó, que para las mediciones efectuadas en abril y mayo de 2014, la temperatura y la salinidad tienden a disminuir y la concentración de oxígeno disuelto tiende a aumentar. Es notoria, la entrada desde el sur de una masa de agua que contiene menores temperaturas, mayores salinidades y menores concentraciones de oxígeno. Patrón que fue también replicado en primavera, aunque con diferencias de temperatura superficial, atribuidas al efecto de mayor radiación propio de período estival. Ambos periodos evidenciaron columnas de agua bien oxigenadas.

La biomasa fitoplanctónica, medida relativa y aproximada a través de la fluorescencia, mostró mayores concentraciones para el mes de abril, con un núcleo superficial de 1 mg/m³, para el mes de mayo las concentraciones se presentaron bajo los 0.5 mg/m³ siendo menores en superficie. Las mayores concentraciones encontradas en el mes de abril, es probable que se deban a condiciones favorables producto de un remanente del período estival. Destacan las elevadas concentraciones de clorofila registradas en el mes de noviembre, atribuidas a una columna de agua que producto de la mezcla, genera transporte en la biomasa a capas superficiales con mayor luminiscencia lo que favorece y/o estimula la producción primaria.

3.6. CONCLUSIONES

- En otoño la corriente en los sectores de isla Chaulinec e isla Tranqui mostraron velocidades máximas de orden de 40 cm/s y 100 cm/s respectivamente con un flujo barotrópico dominado por la marea. En primavera en isla Chaulinec, la corriente presentó magnitudes promedio entre 55 y 40 cm/s, mientras que en isla Tranqui la magnitud promedio fue de 60 cm/s.
- En otoño la dirección neta del desplazamiento indicó que para Chaulinec el movimiento se dirige hacia el noreste y para Tranqui hacia el noroeste. En primavera Chaulinec se evidencia la presencia débil de una columna de dos capas, con un desplazamiento principalmente en dirección noreste en las capa superficial-media y ligeramente noroeste en la capa profunda, en isla Tranqui la dirección neta del desplazamiento muestran una estructura vertical homogénea con dirección sureste.
- La temperatura y salinidad a través de la sección norte-sur mostró que ambas variables se encuentran escasamente estratificadas. Estando mayormente mezcladas por la fuerte acción de la marea. En otoño se presentó una columna de agua de mayor homogeneidad que en primavera, diferencias de temperatura, mayores registro térmicos superficiales en primavera que en otoño son atribuidas a diferencias en la radiación estacional.
- El oxígeno disuelto presentó valores mínimos 5.7 mg/L (abril) siendo estos mayores en superficie 8.7 mg/L (mayo). Mientras que en primavera el mínimo se registró en diciembre con 6.2 mg/L, y el máximo fue registrado en la capa superficial en noviembre (8.68 mg/L), ambos periodos se caracterizaron por presentar una columna de agua bien oxigenada.
- En otoño la fluorescencia presentó mayores concentraciones en el mes de abril respecto de las realizadas en mayo. Con un núcleo superficial de 1 mg/m³ probablemente asociado a condiciones favorables producto de un remanente de condiciones estivales. En primavera se observó una mayor concentración en noviembre en toda la columna de agua se registró valores >1 mg/m³. Con núcleos superficiales de 2 mg/m³.

3.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berdalet E., M.A. McManus, O.N. Ross, H. Burchard, F.P. Chavez, J.S. Jaffe, I.R. Jenkinson, R. Kudela, I. Lips, U. Lips, A. Lucas, D. Rivas, M.C. Ruiz-de la Torre, J. Ryan, J.M. Sullivan, H. Yamazaki, Understanding harmful algae in stratified systems: Review of progress and future directions, Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, Volume 101, March 2014, Pages 4-20.
- Cáceres M., A. Valle-Levinson, C. Molinet, M. Castillo, M. Bello, C. Moreno. 2006. Lateral variability of flow over a sill in a channel of southern Chile. Journal of Ocean Dynamics, vol. 3-4: 352-359.
- Cáceres, M. and A. Valle-Levinson. 2004. Transverse variability of flow on both sides of a sill/contraction combination in a fjord-like inlet of southern Chile. Estuarine, coastal and shelf sciences, vol. 60 (2), 325-338.
- Dyer, K.R., 1973. Estuaries: A physical introduction. London: Wiley, 140 p.
- Jay, D.J., D.A. Jay and J. Musiak. 1996. Salt transport from Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) and Conductivity-Temperature-Depth (CTD) data: A methodological study. In: Buoyancy Effects on Coastal and Estuarine Dynamics, Coastal and Estuarine Studies volume 53, AGU Ed. , pp. 195-212.
- Kjerfve, B., L.H. Stevenson, J. Proehl, T.H. Chrzanowski and W. Kitchens. 1981. Estimation of material fluxes in an estuarine cross section: A critical analysis of spatial measurement density and errors. Limnology and Oceanography, 26(2): 325-335
- Pickard, G. 1971. Some physical oceanographic features of inlets of Chile. J. Fish. Bd. Canada, 28: 1077-1106.
- Valle-Levinson A., M. Cáceres and O. Pizarro. 2014. Variations of tidally driven three-layer residual circulation in fjords. Journal of Ocean Dynamics, 64:459–469, DOI 10.1007/s10236-014-0694-9
- Valle Levinson, A., F. Jara, C. Molinet and D. Soto. 2001. Observations of intratidal variability of flows over a sill/contraction combination in a Chilean fjord. Journal of Geophysical Research, vol . 106 (c4): 7051-7064
- Valle Levinson A., M. Cáceres, H.H. Sepúlveda and K. Holderied . 2002. Patrones de flujo en los canales asociados a la boca del seno Aysén. Ciencia y Tecnología del Mar 25(2): 5-16.
- Valle-Levinson A. and J. L. Blanco. 2004. Observations of wind influence on exchange flows in a strait of the Chilean Inland Sea. Journal of Marine Research, 62(5), 720 – 740

Weisberg, R.H., A. Barth, A. Alvera-Azcárate, and L. Zheng (2009). A coordinated coastal ocean observing and modeling system for the West Florida Shelf, Harmful Algae., 8, 585-598.



INFORME FINAL
Capítulo 4: D

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



INFORME FINAL

Capítulo 4: D

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

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Mayo 2015

JEFE DE PROYECTO

Leonardo Guzmán Méndez

AUTORES

Oscar Espinoza González
Elías Pinilla Matamala
Leonardo Guzmán Méndez

4.1. INTRODUCCIÓN

La zona de fiordos y canales del sur de Chile es considerada como una de las más extensas del planeta, conformando una de las mayores zonas estuarinas del mundo (Cameron & Pritchard, 1963), en este sistema la influencia de forzantes meteorológicos y oceanográficos generan complicados patrones de circulación, que sumado a las distintas estructuras geográficas presentes en la región (ej. constricciones batimétricas) determinan singularidades importantes en el intercambio de agua entre las diferentes cuencas.

En general, estas zonas estuarinas son altamente productivas (Wolff, 1980) debido, entre otras causas, al enriquecimiento de nutrientes de las aguas superficiales, proceso que ocurre a través de la advección de aguas desde capas profundas del océano, así como por el transporte de aguas superficiales debido a la circulación estuarina. Estas condiciones permiten el rápido crecimiento del micro-fitoplancton, determinando altas tasas de productividad primaria principalmente durante los meses de primavera-verano cuando las condiciones de luz son óptimas. Sin embargo, la alta variabilidad ambiental de la región podría modificar las características de la columna de agua por medio de procesos oceanográficos que limitan la disponibilidad de nutrientes y el acceso del fitoplancton a la capa fótica (ej. circulación estuarina inversa, estratificación de la columna de agua, hundimiento), generando un nuevo escenario que favorecería la presencia de ensamblajes fitoplanctónicos y especies distintas (Kudela *et al.*, 2005), entre las que se encuentran las especies de microalgas tóxicas o potencialmente tóxicas, las que al encontrar un medio ambiente óptimo pueden proliferar aumentando su densidad, dando origen a lo que se conoce como Floración de Algas Nocivas (FANs).

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. A escala mundial, durante las últimas cuatro décadas, se ha apreciado un aparente incremento en la cobertura geográfica e intensidad de las FANs, lo que al parecer es congruente con lo observado en la región sur austral de Chile.

Entre los procesos que causan las FANs podemos señalar, entre otros, la acumulación pasiva de las microalgas debido a procesos hidrodinámicos como la convergencia causada por el flujo sobre un fondo inclinado (Chew, 1955), el afloramiento costero u otros eventos mediados por el viento (Lindahl, 1993), o la convergencia superficial causada por la salida de agua desde la costa (Le Fevre y Grall, 1970); además, esta acumulación puede ser activa, mediada por la capacidad natatoria que poseen principalmente los dinoflagelados y que les permiten desplazarse en la columna de agua hacia zonas ricas en nutrientes y bien iluminadas (Sellner *et al.*, 2003). A pesar de esta información, son pocos los

estudios que describan los mecanismos físicos-biológicos que inducen la acumulación de las microalgas formadoras de FANs.

Debido a ello, es que el presente estudio se centrará en conocer algunos de los aspectos físicos-biológicos que permitan comprender cómo el patrón de corrientes puede inducir el transporte horizontal y la dispersión de las microalgas nocivas en la zona de estudio. La metodología aplicada para ello pasa primero por conocer e identificar las zonas de distribución de la microalga nociva *Alexandrium catenella*, su abundancia y ocurrencia, así como su posible relación con el patrón de corrientes estimado a partir de la modelación hidrodinámica en sectores seleccionados dentro de la macrozona de estudio. En este primer acercamiento al problema, se intentará identificar zonas geográficas relevantes donde llevar a cabo futuros estudios conducentes a determinar posibles lugares de retención de *Alexandrium catenella*.

La proyección futura de este tipo de estudios debería tender a generar información tendiente a identificar zonas con mayor y menor posibilidad de encontrar a estas microalgas nocivas y como varía la abundancia y ocurrencia durante un evento FANs. Finalmente, ésta información puede generar conocimiento relevante que permita evaluar la distribución de las estaciones de muestreo, de forma de optimizar el actual programa de manejo y monitoreo de las mareas rojas en Chile.

4.2. OBJETIVOS

4.2 Objetivo específico

Identificar patrones de corrientes asociados a movimiento de partículas (microalgas) en sectores de interés dentro la macro zona de estudio

4.3. METODOLOGÍA

En una primera etapa este trabajo ha estado centrado exclusivamente en *A. catenella*, pero más adelante se aplicará el mismo criterio a otros taxones nocivos y complejos tóxicos asociados. Durante el desarrollo de este objetivo se trabajaron tres aspectos metodológicos tendientes a generar un conocimiento previo sobre la ubicación espacial de *A. catenella* y su potencial distribución mediante un modelo hidrodinámico/dispersión aplicada a tres focos de dispersión dentro de la macro zona de estudio:

4.3.1. Identificación zonas de interés dentro del área de estudio

Con la finalidad de identificar las zonas de interés dentro del área de estudio, se realizó una revisión bibliográfica de los distintos estudios ejecutados hasta el momento. Para ello, se consultaron los distintos artículos científicos e informes realizados en el área de estudio (ej. Silva *et al.*, 1995, 1998; Guzmán y Silva, 2002; Avaria *et al.*, 2004; Lembeye, G., 2004; Salinas y Hormazábal, 2004; Pizarro *et al.*, 2005; Ramírez y Pizarro, 2005; Silva y Valdenegro, 2008; Soto-Mardones *et al.*, 2009; Cáceres *et al.*, 2010; Pinilla, E. 2011; Pizarro *et al.*, 2012; Salgado *et al.*, 2012; Guzmán *et al.*, 2013; Pinilla *et al.*, 2014; Scheneider *et al.*, 2014). Esta revisión bibliográfica permitió una primera aproximación con el área de estudio, conocer la variabilidad de distintos parámetros involucrados, identificar la complejidad de la macro zona y aventurar posibles hipótesis de trabajo que permitieran alcanzar este objetivo. Asimismo, esta revisión permitió identificar las distintas bases de datos oceanográficas que podrían estar disponibles al momento de analizar los sectores donde se desarrollará el objetivo.

Posteriormente se desarrolló una estrategia destinada a identificar los sectores de interés, la cual se basó principalmente en una caracterización de los siguientes aspectos:

- a) Conocer la carga de datos oceanográficos existentes en la zona de estudio (registros de CTDO, ADCPs, Correntómetros, Mareógrafos y Meteorológicos) y que podrían estar disponibles para realizar los distintos análisis, eligiendo aquellas zonas donde el aporte de datos sea suficiente para el desarrollo del objetivo.
- b) Identificar las estaciones que presentaron las mayores densidades (células L⁻¹) y abundancias relativas históricas de *A. catenella* (2006 – 2014) en cada estación de muestreo. Este criterio permitió seleccionar las estaciones donde se han observado floraciones o incrementos importantes de la abundancia de *A. catenella* a lo largo del periodo de estudio.
- c) Conocer el porcentaje de ocurrencia (presencia/ausencia) histórica (2006 – 2014) de *A. catenella* en cada una de las estaciones de muestreo. El criterio utilizado fue seleccionar aquellas estaciones con valores promedios altos de ocurrencia porcentual.
- d) Finalmente, conocer para la macro zona de estudio la distribución espacial y los niveles de Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM, $\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$)

Para el desarrollo del punto **a)**, se utilizaron bases de datos oceanográficos provenientes de proyectos ejecutados o en plena ejecución por IFOP. Con los datos oceanográficos disponibles para cada una de las regiones: correntometría euleriana en base a ADCPs, registros de CTD-O (temperatura, salinidad, densidad y presión), datos de mareas y datos meteorológicos (temperatura ambiental, nubosidad, presión atmosférica, dirección y velocidad del viento), se construyeron mapas con la distribución espacial de cada una de estas variables.

En el desarrollo de los puntos **b)**, **c)** y **d)** se analizó la base de datos histórica (2006 – 2014) disponible en este programa de manejo y monitoreo de las mareas rojas. A partir de ésta se seleccionaron las siguientes variables de la capa de agua superficial (0 – 10 m): densidad de *A. catenella* (células L^{-1}), ocurrencia (%) definida como la presencia/ausencia de la microalga en las estaciones de estudio, abundancia relativa y concentración del Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM, μg eq. STX 100 g^{-1}). Para cada una de estas variables se calcularon promedios anuales ($\pm$ desviación estándar) y se mapearon para cada una de las tres regiones administrativas. Además, para conocer la variabilidad temporal de la densidad *A. catenella* (células L^{-1}) se realizaron gráficas para cada uno de los periodos de estudio, donde cada etapa se ordenó cronológicamente desde el inicio del monitoreo en mayo de 2006 (Etapa I) hasta febrero de 2014 (Etapa VII).

Como resultado del ejercicio desarrollado en los cuatro puntos señalados anteriormente, se identificó la región administrativa donde realizar la modelación hidrodinámica y la posterior modelación de dispersión de partículas (microalgas).

Al respecto, se debe mencionar que modelos de dispersión de partículas son modelos desacoplados de un modelo hidrodinámico previo. Por lo tanto, en primer término se debe resolver la hidrodinámica del dominio sobre la cual se va a simular la dispersión de partículas.

Teniendo en cuenta la ubicación de los puntos o focos iniciales de dispersión, resultantes del análisis de los puntos **(a–d)**, la separación entre ellos y el tiempo de simulación, se decidió que lo más conveniente es utilizar un modelo de escala regional que entregue una mayor cobertura, pensando en que el ejercicio de dispersión resultara más extenso de lo esperado.

4.3.2. Modelo hidrodinámico regional Aysén

- a)** Dominio: El dominio de este modelo, como indica su nombre, tiene una cobertura regional que se extiende desde el límite costero entre las provincias de Osorno y Llanquihue por el Norte hasta la península de Taitao por el Sur y desde el meridiano 77° por el Oeste hasta el continente por el Este (Figura 4.2).
- b)** Batimetría: se ha utilizado una compilación de batimetrías efectuadas por el SHOA y GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans). Estos puntos discretos de profundidad fueron interpolados sobre la malla de elementos triangulares mediante el método de vecino natural a

través del polígono de Thiessen. Se dispone de cobertura batimétrica en todo el dominio, a diferente resolución horizontal, desde un promedio de 2500 metros entre 2 puntos en zonas exteriores a menos de 75 metros en determinadas zonas interiores.

c) Resolución vertical: 15 capas verticales sigma. El aumento del número de capas en un régimen baroclínico responde a la necesidad de representar la estructura vertical derivada del campo de densidades vertical. Las capas sigma ordenan las coordenadas verticales en función de la topografía del fondo y son una buena herramienta para representar los efectos dinámicos sobre la topografía (DHI, 2011), extendiéndose desde la superficie libre hasta el fondo (Figura 4.3). Otorgan una mayor resolución en aguas someras donde se sitúa la zona de interés del estudio.

d) Condiciones iniciales: La condición inicial de flujo es denominada “arranque en frío” por ser un campo de flujo nulo con el que se da comienzo a la simulación, el cual se estabilizará luego de ciertos pasos de tiempo hasta alcanzar un equilibrio dinámico asociado a los forzantes. Generalmente esto tarda menos de 24 horas, por lo cual estos resultados son eliminados de los análisis estadísticos.

En los casos en que se aplicó un modelo baroclínico la temperatura y salinidad iniciales del dominio se obtuvieron del modelo global MERCATOR desarrollado por Mercator Ocean. Ésta es una compañía sin fines de lucro que cuenta con diversos servicios de oceanografía operacional, entre los que se encuentra la entrega de bases de datos en tiempo pasado del modelo MERCATOR. Estas bases de datos son entregadas como medias diarias a una resolución espacial de $1/12^\circ$ en la horizontal y una resolución variable en la vertical, por lo que deben ser tratadas para convertirlas en ingreso (input) y formato legible por el modelo MIKE 3 FM. De esta manera el input final es un archivo tridimensional (.dfs3) espaciado regularmente en cada una de las direcciones X, Y, Z y cuyos valores de atributo (temperatura y salinidad) serán interpolados linealmente a cada uno de los nodos que forman la malla flexible del dominio (Figuras 4.4 y 4.5).

e) Condiciones de borde: Infieren sobre 3 bordes: Norte, Oeste y Sur cómo se puede ver en la Figura 4.6.

El forzante de la marea fue obtenido del modelo global basado en datos altimétricos del sensor TOPEX/POSEIDON con una resolución de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ y cuya onda está formada por los constituyentes armónicos astronómicos, excluyendo las derivadas de aguas someras, pues en nuestro caso los bordes se sitúan en aguas profundas oceánicas. El archivo de entrada o del forzante mareal es un archivo unidimensional (.dfs1) en el que su atributo (nivel del mar en este caso) varía tanto a lo largo del borde respectivo como en el tiempo; es por esto que no es posible la representación visual del conjunto en una imagen, sino sólo en puntos discretos (Figura 4.6.).

Los bordes de temperatura y salinidad (Figuras 4.7 y 4.8) son contruidos a partir de los archivos tridimensionales utilizados para las condiciones iniciales, de los cuales se extraen los archivos bidimensionales (.dfs2) que corresponden con la posición y dimensión de cada uno de los bordes y en los que los atributos de temperatura y salinidad varían en la latitud/longitud (según los bordes sigan meridianos o paralelos respectivamente) y en el tiempo. Cuando la resolución espacial y

temporal de nuestro modelo no coincide con la resolución del archivo de entrada (en este caso condición de borde de temperatura y salinidad) el modelo interpola los valores del forzante (temperatura y salinidad) a cada uno de los nodos de la malla flexible, interpolación lineal en caso de discontinuidad en la resolución temporal e interpolación normal en caso de discontinuidad de la resolución espacial (DHI, 2011). La resolución espacial en la horizontal original entregada por Mercator Ocean es de $1/12^\circ$, la máxima resolución en la vertical es de 1 m y la resolución temporal es de 24 horas (valores promedios diarios).

- f) **Forzantes atmosféricas:** Se utilizaron datos procedentes de modelos globales en otras simulaciones. Los datos de forzantes atmosféricas provenientes de modelos atmosféricos varían tanto espacial como temporalmente. En este caso los datos provienen del modelo global NCEP/NCAR, perteneciente a la NOAA. Este modelo genera análisis atmosféricos usando bases de datos históricos (desde 1948) junto a análisis de las actuales condiciones mediante el sistema de asimilación de datos CDAS (NOAA/ESRL, 2014). Los datos empleados provienen de un modelo de re-análisis que entrega salidas cada 6 horas con una resolución cercana a 1.9° (210 Km. aproximadamente) y en él son utilizados datos de componentes del viento a 10 m sobre la superficie (Figuras 4.9 y 4.10) y presión atmosférica a nivel del mar (Figura 4.11). Señalar que una vez que los datos son ingresados al modelo, y debido a las diferentes grillas de cada modelo, MIKE3 interpola linealmente los datos de forzantes atmosféricos a cada elemento triangular definido en la malla del dominio.
- g) **Fuentes de agua dulce:** Se utilizaron fuentes puntuales de los principales ríos que cubre el dominio.

4.3.3. Modelo desacoplado de partículas – regional Aysén

- a) **Clases de partícula:** las partículas se definen por 2 variables: su masa y la edad o tiempo que vamos a querer que dicha partícula sea sujeta al transporte por la hidrodinámica, transcurrido tal tiempo la partícula deja de considerarse tal y desaparece. *Alexandrium catenella* posee una masa en promedio cercana a los 100 microgramos y su edad es considerada superior al tiempo total de dispersión (~11 horas) para garantizar que ninguna partícula desaparece y siempre se mantienen en deriva.
- b) **Fuentes:** los focos de dispersión se definen por su posición geográfica y en la vertical, bien refiriéndose a una profundidad concreta o dentro de una capa (sigma i.e.). En nuestro caso se contemplan 3 focos de dispersión inicial: Puerto Barrientos, A03 ($73.9815^\circ\text{W} / 43.9443^\circ\text{S}$), Isla San Andrés, A22 ($73.3237^\circ\text{W} / 44.9140^\circ\text{S}$) y Playas Largas A43 ($73.6921^\circ\text{W} / 45.2372^\circ\text{S}$). Todos ellos situados a una profundidad de 10 metros bajo la superficie libre del mar.
- c) **Variables de la dispersión en las fuentes:** son el flujo (kg/s) y el número de partículas que son liberadas desde cada fuente en cada paso de tiempo. En nuestro caso se contempla que desde cada foco se liberen 10 partículas por paso de tiempo a una tasa de flujo de 1 kg/s.

- d) Decaimiento, sedimentaci3n y dispersi3n: estos par3metros no se incluyen pues nuestro objetivo es mantener a las part3culas durante todo el tiempo posible en deriva libre y con las caracter3sticas iniciales a fin de reproducir el escenario de m3xima dispersi3n posible.
- e) Resoluci3n de la dispersi3n: aqu3 se define de qu3 manera queremos que el modelo resuelva la dispersi3n horizontal y vertical asociada a difusi3n molecular, flujos turbulentos no resueltos o remolinos. Estos par3metros sirven a su vez como uno de los principales factores de calibraci3n. Debido a la dificultad para estimar la dispersi3n en funci3n de la viscosidad de remolino o el coeficiente de dispersi3n para cada clase de part3cula en cada fuente, se inicia con el modelo m3s sencillo en el cual no se consideran estos t3rminos, dejando que la dispersi3n sea resuelta exclusivamente por la hidrodin3mica por flujos advectivos.

4.4. RESULTADOS

4.4.1. Identificación de zonas de interés dentro del área de estudio

a) Conjunto datos oceanográficos existentes para la zona de estudio

Las Figuras 4.12, 4.13 y 4.14 muestran que para las tres regiones de la zona de estudio se cuenta con una importante cobertura de datos de CTD-O, sin embargo, esta cobertura es mayor en las regiones de Aysén y Magallanes que en Los Lagos. Tanto en Aysén como en Magallanes se contó con registros en periodos de invierno y verano, además para Aysén existe una mejor densidad de registros asociados al fiordo Aysén y alrededores. Para Magallanes se observó que la densidad de registros de CTD-O fueron más importantes en las zonas centro y una parte de la zona norte. Una situación similar se observó para los registros de ADCPs - correntómetros (Figuras 4.15, 4.16 y 4.17) y mareógrafos (Figuras 4.18, 4.19 y 4.20). Si bien en las Figuras 4.21, 4.22 y 4.23 no muestran un número importante de estaciones meteorológicas para cada una de las regiones, se debe recordar que se cuenta con los registros puntuales tomados en las estaciones que forman parte de la red de puntos de muestreo de este programa.

b) Identificar las estaciones que presentaron máximos de densidad y de abundancia relativa para *Alexandrium catenella*.

En las Figuras 4.24 a 4.26 se muestra la densidad promedio de *A. catenella* (cel L⁻¹) para cada una de las estaciones de muestreo en las tres regiones de estudio. En general, se registraron densidades promedio entre 1 y 20.000 (cel L⁻¹) distribuidas en 6 rangos de valores.

Para la región de los Lagos, el 30% de las estaciones de muestreo presentó promedios dentro del rango inferior de densidad (1 – 1.000 cél L⁻¹), mientras que, para el restante 70% de las estaciones no se registraron valores promedio de densidad (Figura 4.24). Para la región de Aysén el porcentaje de estaciones con valores promedio en rango inferior fue de un 67%, mientras que, un 11% de las estaciones presentaron un rango intermedio (4.000 y 6.000 cél L⁻¹), un 7.5% en un rango promedio de densidad alta (6.001 – 8.000 cél L⁻¹), sólo un 1,1% presentaron valores promedios en el rango superior (8.001 – 20.000 cél L⁻¹) (Figura 4.25). Finalmente, en la región de Magallanes la mayoría de las estaciones (93%) presentó valores en el rango inferior de densidad (1 – 1.000 cél L⁻¹) (Figura 4.26)

En las Figuras 4.27 a 4.29 se muestra la abundancia relativa promedio de *A. catenella* para cada una de las estaciones de muestreo en las tres regiones de estudio. En general, se registraron abundancias relativas promedio entre 0.1 y 2.5, distribuidas en 5 rangos de valores.

Los niveles promedios de la abundancia relativa presentaron una tendencia similar a la observada para la densidad. Así, los valores bajos fueron registrados en la región de Los Lagos con un 67% de las estaciones en el rango inferior de abundancia relativa promedio (0,1 – 0,5) y un 33% de las estaciones en el rango intermedio (0,6 – 1,5) (Figura 4.27). Mientras que, los valores más altos del periodo de estudio fueron observados en la región de Aysén, donde el 68% de las estaciones registraron niveles de abundancia relativa promedio mayores a 1,1 (Figura 4.28). En detalle, un 31% de las estaciones el rango intermedio (1,1 – 1,5), un 27% de las estaciones en un rango alto

(1,6 – 2,0) y una estación (1,5%) con un promedio de abundancia relativa en el rango superior (2,1 – 2,5). Para Magallanes el número de estaciones en el rango medio de abundancia relativa (1,1 – 1,5) se abarcó un 68% del total de estaciones (Figura 4.29).

c) Conocer el porcentaje de ocurrencia (presencia/ausencia) histórica (2006 – 2014) de *Alexandrium catenella*.

En las Figuras 4.30 a 4.32 se muestra la ocurrencia promedio de *A. catenella* (%) para cada una de las estaciones de muestreo en las tres regiones de estudio. En general, se registraron ocurrencias promedio entre 0,1 y 45 (%) distribuidas en 6 rangos de valores.

La ocurrencia porcentual de la presencia de *A. catenella*, en las estaciones de muestreo durante el periodo de estudio, sigue la tendencia de las descripciones realizadas tanto para la densidad, como para la abundancia relativa. En este sentido, las menores ocurrencias porcentuales fueron registradas en la región de los Lagos, donde el 100% de las estaciones registra valores de ocurrencia promedio ubicadas en el rango inferior (0,1 – 6,7 %) (Figura 4.30). Por su parte, para la región de Aysén se observaron los registros más altos de la ocurrencia porcentual promedio con un 21 y 16% de sus estaciones en los rangos altos (29,3 – 36%) y superiores (36 – 45%), respectivamente (Figura 4.31). Finalmente, para la región de Magallanes el 28% de las estaciones presentaron una ocurrencia baja (6,7 – 13,3%), donde un 37% de las estaciones tuvo una ocurrencia promedio en el rango intermedio de ocurrencia (13,3 – 22,6%) (Figura 4.32).

d) Conocer la distribución espacial y niveles de Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM)

En las Figuras 4.33 a 4.35 se muestra la concentración promedio del veneno paralizante de los mariscos (VPM) para cada una de las estaciones de muestreo en las tres regiones de estudio. En general, se registraron concentraciones de VPM promedio entre 1 y 1.280 ($\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$) distribuidas en 8 rangos de valores.

A partir de los registros de VPM promedio en la región de los Lagos (Figura 4.33) se observó que un número menor de estaciones (11%), principalmente asociadas al sector sur de la Isla de Chiloé, presentaron valores promedio en el rango bajo de VPM (11 – 20 $\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$). Por su parte, en la región de Aysén (Figura 4.34) se registró una proporción mayor de estaciones (26 y 24%) en los rangos intermedios (161 – 320 $\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$) y altos (321 – 640 $\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$), respectivamente, además sólo un 4% de las estaciones presentan valores asociados al rango superior de VPM (641 – 1280 $\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$). Similar a lo observado en Aysén, en la región de Magallanes (Figura 4.35) se observó que un 16% de las estaciones presentaron rangos intermedios de VPM (161 – 320 $\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$), un 14% un rango alto (321 – 640 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) y sólo un 5% de las estaciones presentó un rango superior (641 – 1280 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$).

A partir de estos antecedentes, se puede inferir que las variables descritas muestran diferencias espaciales entre cada una de las regiones de la macrozona de estudio. Estas diferencias son más marcadas para la región de Los Lagos donde *A. catenella* está presente en un número bajo de estaciones ubicadas en las cercanías de la costa sur y sureste de la isla de Chiloé, en donde los

niveles de abundancia relativa, ocurrencia porcentual y concentración de VPM son bajos comparados con los valores encontrados para las otras dos regiones. De la comparación entre las regiones de Aysén y Magallanes se obtuvo que la distribución y magnitud de la densidad, abundancia relativa, ocurrencia y concentración de VPM son más altos y persistentes en la región de Aysén. Sobre la base de estos antecedentes se estima pertinente que sea un sector de la región de Aysén el área donde se debe realizar la modelación hidrodinámica y la posterior modelación de dispersión de partículas.

4.4.2. Modelo hidrodinámico regional de Aysén

A partir de los registros de densidad promedio (cél L^{-1}) para cada una de las estaciones y etapas de muestreo (Figuras 4.36a,b) se identificó que los valores más altos de esta variable se dieron en la estación de Puerto Barrientos (A03) durante el mes marzo del año 2009 (Etapa 3). Por lo que la modelación hidrodinámica se realizó considerando este resultando, ajustando las condiciones de modelación a un periodo de verano.

Patrones de circulación superficial en Aysén

En general, para una condición de verano las corrientes residuales promedio en la región de Aysén muestran una alta variabilidad con un flujo principal hacia el sur asociado a la zona oceánica, donde además se observan giros horarios y entradas de corrientes a través de los canales oceánicos. Contrariamente, en el Canal Moraleda se observa un flujo de corrientes principalmente hacia el norte, además de un importante flujo de entrada desde la boca a la cabeza de los Canales Jacaf y Puyuhuapi (Figura 4.37).

Patrones de circulación superficial Zona de Melinka

Se puede apreciar que las corrientes residuales que entran por el Canal Moraleda tienden a generar un movimiento heterogéneo del agua representado por giros anti horarios grandes y giros horarios de menor tamaño asociados al sector de Puerto Barrientos A03. Además se observa que una rama del flujo principal tiende a salir hacia zonas más oceánicas (Figura 4.39b).

Patrones de circulación superficial zona Canal Puyuhuapi

Para esta zona se observa que las corrientes residuales promedio tienden a entrar por la superficie desde el canal Moraleda hacia el Canal Puyuhuapi. (Figura 4.40b). Probablemente la entrada de un importante flujo de agua por la capa superficial durante estas condiciones de verano esté influenciado principalmente por los vientos.

Patrones de circulación superficial zona sur del Canal Moraleda.

Durante estas condiciones se observa, en la zona de la constricción de Meninea, un giro horario principal y otro anti horario cercano a la estación de Playas Largas A43 (Figura 4.41b), esto debido a que las corrientes superficiales que bajan hacia el sur por el Canal Moraleda se encuentran con las corrientes superficiales de dirección norte provenientes del fiordo Aysén.

A partir de lo anterior, se podría inferir que los patrones de circulación en la zona de Aysén tienen una importante variabilidad que probablemente esté relacionada con la influencia del viento, entradas de agua dulce y la estructura topográfica de los canales y fiordos de esta región. Por lo que, se podría proponer que las constantes singularidades que presenta la región de Aysén induciría numerosos giros o rotaciones horarias y anti horarias, los cuáles podrían determinar potenciales zonas de acumulación de partículas.

Sobre la base de estos patrones de circulación se realizó una caracterización de la región de estudio, para definir la ubicación de los puntos geográficos que serían empleados como focos de dispersión de partículas. Con ayuda de los promedios ($\pm$ DE) de la densidad de *A. catenella* (cel L⁻¹) para todas las estaciones de la región se identificaron tres zonas de interés: la zona de Melinka (Figura 4.42a), la zona correspondiente a los canales Jacaf y Puyuhuapi (Figura 4.42b) y la zona del Canal Moraleda hasta la isla Magdalena (Figura 4.43a).

Integrando toda la información disponible se seleccionaron las tres estaciones (áreas de interés), una para cada zona, en las cuáles se aplicó un modelo de dispersión de partículas (Figura 4.44).

La estación A03 de Puerto Barrientos (-43°56'23"S; -73°58'24"O) está ubicada en la zona de Melinka y presentó uno de los mayores valores de densidades puntuales de *A. catenella* (~1,2 10⁶ cél L⁻¹) asociada a la floración ocurrida durante el verano de 2009 (Figura 4.45a). A lo largo del estudio el promedio ($\pm$ DE) de abundancia fue alto aunque muy variable 64.594 $\pm$ 266.485 (Figura 4.42a). Además en esta estación se observó un alto porcentaje de ocurrencia (28%), siendo contabilizada la microalga en 18 de las 64 veces en que esta estación fue muestreada. La zona de Melinka ya ha sido escogida para otros estudios con *A. catenella*, su importancia como zona de estudio radica en que previamente se han reportado valores altos de abundancia relativa (>3). Coincidiendo con el valor alto de abundancia (densidad) durante el verano de 2009, se registraron valores elevados de abundancia relativa (7), y VPM (~6000 μ g eq. STX eq. 100 g⁻¹) (Figuras 4.45b,c). Durante el verano de 2009 (marzo) se registraron valores altos de temperatura y salinidad del agua superficial (13 °C y 33 psu, respectivamente) (Figuras 4.45d, e).

La importancia del estudio en esta zona es que ésta podría representar un punto de enlace para las microalgas que potencialmente puedan desplazarse desde norte occidental de la región de Aysén hasta el sur de la Isla de Chiloé (e.g. Isla San Pedro).

La estación A22 de Isla de San Andrés (-44°55'57"S; -73°19'28"O) está ubicada en la boca del canal Puyuhuapi y presentó un valor de densidad puntual máximo de ~31.000 cél L⁻¹, asociado a la floración ocurrida durante el verano de 2009 (Figura 4.45a). A lo largo del estudio el promedio ($\pm$ DE) de abundancia fue de 2.033 $\pm$ 6.432 cél. $\times$ L⁻¹. En esta estación se observó un alto porcentaje de ocurrencia (38%) donde la microalga estuvo presente en 24 de las 64 ocasiones en que esta estación fue muestreada. Coincidiendo con el valor alto de densidad durante el verano de 2009, se registraron valores elevados tanto de abundancia relativa (8), como para el VPM (~4000 g STX eq. 100 g⁻¹) (Figuras 4.45b, c). Durante el verano de 2009 (marzo) se registraron valores altos de temperatura (15°C) y relativamente altos de salinidad (30 psu) si recordamos que esta estación está en la boca del canal Puyuhuapi y el aporte de agua dulce podría ser comparativamente elevado (Figuras 4.45d, e).

La estación A43 de Playas Largas ($-45^{\circ}15'00''\text{S}$; $-73^{\circ}41'44''\text{O}$) está ubicada en la zona de la constricción de Meninea. En esta estación se observaron valores altos densidad de *A. catenella* ($\sim 420.000 \text{ cél.} \times \text{L}^{-1}$) asociada a la floración ocurrida durante el verano de 2009 (Figura 4.47a), a lo largo del estudio el promedio ($\pm \text{DE}$) de abundancia fue alto y muy variable (21.320 ± 93.727). En esta estación se observó un alto porcentaje de ocurrencia (31%), donde la microalga estuvo presente en 20 de las 64 veces en que esta estación fue muestreada. Coincidiendo con el valor alto de densidad durante el verano de 2009, se registraron valores elevados tanto de abundancia relativa (9), y valores medios para el VPM ($\sim 500 \mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$) (Figuras 4.47b, c). Durante el verano de 2009 (marzo) se registraron los valores más altos de temperatura y contrariamente uno de los más bajos en salinidad del agua superficial ($12,5^{\circ}\text{C}$ y 26 psu, respectivamente) (Figuras 4.47d, e).

4.4.3. Modelo desacoplado de dispersión de partículas – regional de Aysén

En general, los datos obtenidos a través de la modelación de partículas (microalgas) permitió evaluar, en cada una de las tres zonas de estudio, la dirección predominante del transporte y la distribución de partículas potencial máxima. Anteriormente se ha definido que el objetivo de esta modelación es mantener a las partículas durante todo el tiempo posible en deriva libre y con las características iniciales a fin de reproducir el escenario de máxima dispersión posible. En consecuencia, parámetros como decaimiento, sedimentación, dispersión, duplicación, formación de quistes, no han sido considerados en esta primera fase de la modelación.

Como se ha mencionado anteriormente, la región de Aysén muestra una importante variabilidad en los patrones de corrientes influenciadas, entre otras, por las numerosas configuraciones topográficas que limitan la capacidad de transporte de un sector a otro. Las Figuras 4.48 a 4.52 muestran la evolución del desplazamiento durante 264 horas para los tres puntos de dispersión en la región de Aysén. A partir de estas figuras se puede apreciar que en la zona de Puerto Barrientos (A03), la dirección predominante sería principalmente hacia el oeste, con una energía de dispersión mayor que en las otras dos zonas y que cubre una gran parte del sector sur de la zona de Melinka, además se observó que el modelo dispersaría partículas a una importante zona de mar abierto.

Las Figuras 4.53 a 4.58 muestran en detalle el desplazamiento de las partículas durante 264 horas en la zona de Puerto Barrientos (A03), en éstas se pudo observar que el principal transporte ocurre en el eje este – oeste y que su trayectoria cambió hacia el sur cuando se encuentra con la influencia de las corrientes oceánicas. Además se observaron desplazamientos menores en dirección sur oeste hacia el canal Moraleda, así como también hacia el norte donde existe la baja posibilidad (dado el número de partículas) que algunas partículas crucen el golfo del Corcovado llegando a isla Guafo.

Las Figuras 4.59 – 4.64 muestran el desplazamiento de partículas durante 264 horas de modelación en la Zona del Canal Puyuhuapi, en este caso, el foco de dispersión es isla San Andrés (A22) ubicada en la boca del canal. El desplazamiento muestra que las partículas se mantuvieron en su gran mayoría al interior de canal y el transporte fue fundamentalmente hacia el interior del canal Puyuhuapi. Para

esta modelación en condiciones de verano el transporte hacia el interior del canal estaría mediado probablemente por el viento que actúa sobre la capa superficial del océano, revirtiendo la típica circulación estuarina positiva que tiende a transportar el agua superficial baja en salinidad en dirección hacia la boca del canal.

Las Figuras 4.65 a 4.70 muestran el desplazamiento de las partículas durante 264 horas de modelación para la zona de la constricción de Meninea, donde el punto de dispersión está ubicado en Playas Largas (A43). Se aprecia que las partículas se mueven principalmente a lo largo del eje sur – norte, a través del Canal Moraleda. Esta zona muestra una importante dispersión que permite que al cabo de 192 horas las partículas hagan contacto con la zona del Canal Puyuhuapi, alcanzando al cabo de 264 horas el sector de Puerto Cisnes. En esta zona la constricción de Meninea favorecería el transporte hacia el norte de aguas superficiales que tendrían origen en el Fiordo de Aysén. Por otra parte, la baja profundidad de esta constricción (50 metros) limitaría el transporte hacia el sur, actuando como una barrera al paso de estas partículas.

4.5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio indican que, a partir de las variables consideradas (densidad, abundancia relativa, frecuencia de ocurrencia y concentración de VPM) para *Alexandrium catenella*, fue posible caracterizar cada una de las tres regiones administrativas, discriminando a la región de Aysén y las zonas de Melinka, Canales Jacaf - Puyuhuapi y Canal Moraleda – Isla Magdalena como zonas de interés debido a la magnitud y estacionalidad de las variables anteriormente mencionadas. Dentro de estas zonas, Puerto Barrientos, Isla San Andrés y Playas Largas serían las estaciones donde realizar la modelación hidrodinámica y el ejercicio de dispersión de partículas.

En general, en la región de Aysén se observó una persistencia en el tiempo en los valores promedio mensuales de la densidad, abundancia relativa y VPM, asociados principalmente a las estaciones ubicadas a lo largo de Canal Moraleda. La mayoría de estas estaciones (76%) contó con la presencia de *A. catenella* al menos en un 23% de las ocasiones muestreadas. De manera similar a lo propuesto por Molinet *et al.* (2003), podemos esperar que las condiciones oceanográficas presentes en Canal Moraleda actúen modulando la presencia y distribución de esta microalga.

En este sentido, la zona del canal Moraleda está compuesto por canales y fiordos que confluyen y que son capaces de influenciar la distribución de los parámetros oceanográficos, restringiendo en intercambio de agua, como sucede con la constricción de Meninea (Silva *et al.*, 1995; 1997; Salinas y Hormazábal, 2004), generando zonas semi-aisladas donde se ha reconocido que el patrón de circulación de las corrientes tiende a generar giros o rotaciones horaria y anti horarias. Estos giros podrían, eventualmente, definir zonas de acumulación de partículas que expliquen los altos valores en densidad observada en gran parte de las estaciones asociadas en la zona entre el canal Moraleda e isla Magdalena y específicamente en la estación de Playas Largas. Esto se sustenta con los datos obtenidos a partir de este programa de monitoreo, en donde para el verano del año 2009 se registraron valores altos de densidad ($>200.000 \text{ cél L}^{-1}$) en las estaciones cercanas a la constricción de Meninea, con un rango de valores entre 150.000 y 400.000 cél L^{-1} para las estaciones cercanas a Playas Largas como Isla Castillo, Canal Carrera del Chivato, Canal Rodríguez e Isla Palumbo. Por lo tanto, podríamos relacionar la baja profundidad en la constricción que actuaría como barrera natural de las aguas provenientes del Canal de Moraleda, provocando zonas de acumulación de microalgas principalmente asociada a la cuenca norte, que es donde se registraron los valores altos de abundancia durante el verano de 2009.

Se podría esperar que una situación similar sea la responsable de los altos valores de densidad observados en la zona de Melinka y específicamente en la estación de Puerto Barrientos. En esta zona el patrón de corrientes resultantes tiende a generar giros asociados en su dirección principal (este – oeste), probablemente estos giros sean las resultantes de factores como el forzamiento de viento, la inestabilidad del flujo de la corriente principal en la costa o la geometría de la costa con la presencia de numerosas islas que afectan al flujo principal de la corriente. Un claro ejemplo del probable efecto del forzamiento del viento sobre la columna de agua, es lo que se observó en el canal Puyuhuapi donde el transporte de aguas superficiales mediado por este factor determina un patrón de

circulación hacia el interior del canal, causando una inversión de la circulación estuarina típica de un fiordo altamente estratificado por aporte de aguas dulces continentales (Stigebrandt, 1979).

La diseminación de partículas asociada a cada foco de dispersión indica que Puerto Barrientos es la zona donde la energía de dispersión es la más alta de los tres puntos de modelación, con la máxima dispersión al cabo de 264 horas de modelaje orientada en el eje este – oeste lo que implicó una diseminación de partículas mayoritariamente hacia el océano abierto. Aunque, al final del experimento se observó la posibilidad que algunas partículas cruzaran el Golfo del Corcovado y llegaran hasta la isla Guafo. Aunque, con los antecedentes disponibles hasta el momento no se puede afirmar que las partículas que salgan del foco de Puerto Barrientos puedan llegar hasta el sur de Chiloé. Sin embargo, se debe continuar con la modelación incorporando nuevos elementos que permitan afinar el modelo actual. Cabe recordar en este punto, que de momento los resultados están referidos a la distribución potencial máxima, ya que en la modelación no están incorporados los parámetros de decaimiento, sedimentación, movilidad, quistes (enquistamiento y desenquistamiento), y duplicación, asociados a *A. catenella*. Por su parte, la distribución de partículas a partir del foco ubicado en isla San Andrés indica que prácticamente el 100% de las partículas que se originen en este punto quedarán dentro del canal Puyuhuapi y se distribuirán por toda su extensión. Esta situación podría permitir la entrada de inóculos de la microalga hacia el interior del canal, donde podría mantenerse y crecer en superficie debido a la fuerte estratificación de la columna de agua. Finalmente, la distribución de las partículas a partir del foco ubicado en Playas Largas indica que las partículas se mueven principalmente hacia el sur a través del canal Moraleda y que pasadas 264 horas su distribución podría llegar hasta el canal Puyuhuapi, donde se sumaría la dispersión con foco en isla San Andrés. En esta zona, la dispersión de partículas hacia el sur estaría mediado, en parte, por la entrada de agua superficial de menor salinidad proveniente del fiordo Aysén.

Los resultados expuestos para este objetivo representan una primera aproximación tendiente a identificar la distribución de *A. catenella* a partir de tres focos de dispersión ubicados en zonas con condiciones geográficas y oceanográficas muy distintas. Al respecto se logró identificar la máxima dispersión en base a los parámetros físicos incluidos en la modelación. Sin embargo, se debe afinar este modelo incluyendo las tasas biológicas que presenta esta microalga y que, sin duda, podrán modificar los resultados obtenidos hasta el momento. En esta primera etapa sólo se modeló a *Alexandrium catenella* como partícula inerte, pero en etapas sucesivas se espera aplicar los mismos criterios de modelación a los restantes taxones nocivos, en el bien entendido que la aproximación es similar, pero que la respuesta a las variables ambientales es diferencial para cada taxón nocivo.

4.6. CONCLUSIONES

- A partir de la caracterizaci3n de la macrozona de estudio se observ3 que la distribuci3n y magnitud de la densidad, abundancia relativa, ocurrencia y concentraci3n de VPM son m3s altos y persistentes en la regi3n de Ays3n que en las dos otras regiones de estudio. Observ3ndose diferencias importantes con la regi3n de los Lagos donde la presencia y magnitud de estas variables principalmente estuvieron asociadas a las estaciones del sur de Chilo3.
- A partir de la modelaci3n hidrodin3mica de las corrientes promedio en la regi3n de Ays3n, se observan tres patrones distintos en la dispersi3n de part3culas que est3n asociados a la alta variabilidad de factores tales como, estructura topogr3fica, entradas de agua dulce e influencia del viento.
- La diseminaci3n de part3culas indica que Puerto Barrientos es la zona donde la energ3a de dispersi3n es la m3s alta de los tres puntos de modelaci3n, con la m3xima dispersi3n orientada en el eje este – oeste lo que implica una diseminaci3n de part3culas mayoritariamente hacia el oc3ano abierto, con bajas posibilidades de dispersi3n hacia el Golfo del Corcovado.
- La distribuci3n de part3culas en isla San Andr3s indica que en condiciones de verano, pr3cticamente el 100% de las part3culas que se originen en este punto quedan dentro del canal Puyuhuapi y se distribuir3n por toda su extensi3n.
- La distribuci3n de las part3culas en Playas Largas indica que las part3culas se mueven principalmente hacia el sur a trav3s del canal Moraleda y que pasadas 264 horas su distribuci3n podr3a llegar hasta el canal Puyuhuapi, donde se sumari3a la dispersi3n con foco en isla San Andr3s.
- Este ejercicio de dispersi3n es una primera aproximaci3n al problema de la dispersi3n de una eventual floraci3n de *A. catenella* en la Regi3n de Ays3n, por lo que, en el futuro se debe afinar este modelo incluyendo las tasas biol3gicas que presenta esta microalga, ampliar los tiempos de modelaci3n e incluir nuevas variables al modelo, factores que probablemente podr3an modificar los resultados obtenidos hasta el momento.

4.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berdalet E., M.A. McManus, O.N. Ross, H. Burchard, F.P. Chavez, J.S. Jaffe, I.R. Jenkinson, R. Kudela, I. Lips, U. Lips, A. Lucas, D. Rivas, M.C. Ruiz-de la Torre, J. Ryan, J.M. Sullivan, H. Yamazaki, Understanding harmful algae in stratified systems: Review of progress and future directions, Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, Volume 101, March 2014, Pages 4-20.
- Cáceres M, A. Valle-Levinson, Fierro J., Valenzuela C, y Castillo M. 2010. Variabilidad transversal del flujo y de la densidad en la boca del fiordo Aysén. Cienc. Tecnol. Mar, 33 (1): 5-15, 2010
- Cáceres M., A. Valle-Levinson, C. Molinet, M. Castillo, M. Bello, C. Moreno. 2006. Lateral variability of flow over a sill in a channel of southern Chile. Journal of Ocean Dynamics, vol. 3-4: 352-359.
- Cáceres, M. and A. Valle-Levinson. 2004. Transverse variability of flow on both sides of a sill/contraction combination in a fjord-like inlet of southern Chile. Estuarine, coastal and shelf sciences, vol. 60 (2), 325-338.
- Cameron, W. & D. Pritchard. 1963. Estuaries. En M.H. Hill (ed). The Sea. Vol 2. New York: 306-324.
- Chew, F., 1955. On the offshore circulation and a convergence mechanism in the red tide region of the west coast of Florida. Transactions American Geophysical Union 36: 963-971.
- Dyer, K.R., 1973. Estuaries: A physical introduction. London: Wiley, 140 p.
- 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., Vidal G., Vivanco X., Arenas V., Iriarte L., Mercado S., Alarcón C., Palma M., Espinoza C., Mejías P., Fernández-Niño E., Monsalve J., Pizarro G., & Zamora C. 2013. Monitoreo complementario de las mareas rojas, en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes 2012-2013 VI ETAPA. Informe Final MINSAL, Tomo I + Anexos + figuras+ tablas.
- Jay, D.J., D.A. Jay and J. Musiak. 1996. Salt transport from Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) and Conductivity-Temperature-Depth (CTD) data: A methodological study. In: Buoyancy Effects on Coastal and Estuarine Dynamics, Coastal and Estuarine Studies volume 53, AGU Ed. pp. 195-212.

- Kjerfve, B., L.H. Stevenson, J. Proehl, T.H. Chrzanowski and W. Kitchens. 1981. Estimation of material fluxes in an estuarine cross section: A critical analysis of spatial measurement density and errors. *Limnology and Oceanography*, 26(2): 325-335
- Kudela, R. M., G. Pitcher, T. Probyn, F. Figueiras, T. Moita, and V. Trainer. 2005. Harmful algal blooms in coastal upwelling systems, *Oceanography*, 18: 184–197.
- Le Fevre, J. y J.R. Grall. 1970. On the relationship of noctiluca swarming off the western coast of Brittany with hydrological features and plankton characteristics of the environment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 4: 287 – 306.
- Lindahl, O. 1993. Hydodinamical processes: a trigger and source for flagellate blooms along the Skagerrak coast? En: *Toxic phytoplankton blooms in the sea* (ed. T.J. Smayda y. Shimizu). Amsterdam, Elsevier Science Publishers BV, pp. 775 – 781.
- Molinet, C., A. Lafon, G. Lembeye y C. A. Moreno. 2003. Patrones de distribución espacial y temporal de floraciones de *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid) Balech 1985, en aguas interiores de la Patagonia noroccidental, *Rev. Chil. Hist. Nat.* 76 (4): 681 – 698.
- Pickard, G. 1971. Some physical oceanographic features of inlets of Chile. *J. Fish. Bd. Canada*, 28: 1077-1106.
- Pinilla, E., 2011. Determinación de las condiciones oceanográficas en las áreas Seno de Reloncaví y mar interior de Chiloé. Subsecretaría de Pesca – Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. 125 p. + figuras + tablas + anexos.
- Pinilla, E., Arriagada, M., Soto, G., Ruiz, C. y P. Reche. 2014. Determinación de los patrones de circulación en los mares interiores de la región de Magallanes. Subsecretaría de Pesca – Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. 145 p. + figuras + tablas + anexos.
- Pizarro, G., N. Pesse, P. Salgado, C. Alarcón, C. Garrido, & L. Guzmán. 2012. Determinación de capacidad de adherencia, mecanismos de propagación y métodos de destrucción de *Alexandrium catenella* (célula vegetativa y quiste). Subsecretaría de Pesca – Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. 79 p. + figuras + tablas + anexos.
- Salgado, P., L. Guzmán, C. Garrido & X. Vivanco. 2012. Monitoreo de *Alexandrium catenella* en la zona no declarada y colindante al norte de la actual área FAN de *A. catenella*. Región de Los Lagos. Convenio Asesoría integral para la toma de decisiones en pesca y acuicultura, 2011. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura – Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. 55 p.
- Salinas, S. y S. Hormazábal. 2004. Capacidad de transporte de la constricción de *Meninea* para un flujo de dos capas y el efecto de la corriente de marea. *Cienc. Tecnol. Mar*, 27(1): 5-15.

- Sellner, K.G., Doucette, G.J. y G.J. Kirkpatrick. 2003. Harmful algal blooms: causes, impacts and detection. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 30 (7): 383 – 406.
- Stigebrandt, A. 1979. Observational evidence for vertical diffusion driven by internal waves of tidal origin of the Oslo Fjord. *J. Phys. Oceanogr.*, 9: 435 – 441.
- Valle-Levinson A., M. Cáceres y O. Pizarro. 2014. Variations of tidally driven three-layer residual circulation in fjords. *Journal of Ocean Dynamics*, 64:459–469, DOI 10.1007/s10236-014-0694-9
- Valle Levinson, A., F. Jara, C. Molinet y D. Soto. 2001. Observations of intratidal variability of flows over a sill/contraction combination in a Chilean fjord. *Journal of Geophysical Research*, vol . 106 (c4): 7051-7064
- Valle Levinson A., M. Cáceres, H.H. Sepúlveda y K. Holderied . 2002. Patrones de flujo en los canales asociados a la boca del seno Aysén. *Ciencia y Tecnología del Mar* 25(2): 5-16.
- Valle-Levinson A. y J. L. Blanco. 2004. Observations of wind influence on exchange flows in a strait of the Chilean Inland Sea. *Journal of Marine Research*, 62(5), 720 – 740
- Weisberg, R.H., A. Barth, A. Alvera-Azcárate, and L. Zheng (2009). A coordinated coastal ocean observing and modeling system for the West Florida Shelf, *Harmful Algae.*, 8, 585-598.
- Wolff, W.J. 1980. Biotic aspects of the chemistry of estuaries. En: *Chemistry and Biochemistry of Estuaries*. Ed. E. Olausson and I. Cato. John Wiley & Sons Ltd. New York 252pp.

INFORME FINAL
Capítulo 5: E

Primeros resultados del Programa de Manejo y Monitoreo de las Mareas
Rojas para el período mayo 2006 - febrero 2014



INFORME FINAL

Capítulo 5: E

Primeros resultados del Programa de Manejo y Monitoreo de las
Mareas Rojas para el período mayo 2006 - febrero 2014

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Mayo 2015

JEFE DE PROYECTO

Leonardo Guzmán Méndez

AUTORES

Leonardo Guzmán Méndez

Oscar Espinoza González

Gemita Pizarro Nova

Rodrigo Martínez González

Pamela Carbonell Arias

Ximena Vivanco Tapia

5.1. INTRODUCCIÓN

Los impactos de las floraciones de algas nocivas están directamente relacionados al tamaño de la población y de la distribución espacial y temporal de las micro-algas que las causan y su crecimiento, desarrollo y acumulación en los ensambles fitoplanctónicos son el resultado de procesos complejos entre interacciones químicas físicas y biológicas. Por ejemplo, En latitudes templadas los ecosistemas oceánicos, generalmente oligotróficos, los florecimientos de fitoplancton generalmente se presentan en primavera cuando las condiciones hidrológicas promueven la formación de una capa de mezcla que permite que el fitoplancton se mantenga en la capa superficial rica en nutrientes y con disponibilidad de energía lumínica. La abundancia de células disminuye las concentraciones de nutrientes e induce el decaimiento de la biomasa fitoplanctónica. Por otro lado, en la franja costera, y en especial en zonas de fiordos, los procesos son diferentes y aún más complejos, en cuanto a que la contribución de materiales terrígenos a través del aporte de ríos y deshielos ayuda a mantener mayores concentraciones de nutrientes cambiando las configuraciones de la comunidad fitoplanctónicas.

Así, un primer paso hacia la identificación de los factores ambientales que tienen influencia en la estructura y dinámica del fitoplancton nocivo es generar información que permita describir la diversidad de sus poblaciones dentro de la comunidad, así como los cambios en la composición de estas comunidades a escalas espaciales y temporales.

Estudios previos en los fiordos Chilenos (41 – 55°S), han establecido que los cambios climáticos estacionales fuertes (ej, radiación solar, vientos y precipitaciones; Pickard 1971; Acha *et al.*, 2004) imponen una influencia externa en el fitoplancton, el cual muestra cambios estacionales y pueden tener efecto directo sobre la estructura y función de la comunidad planctónica, como la sucesión de floraciones fitoplanctónicas durante la estación productiva de primavera. Estudios anteriores realizados en las comunidades planctónicas en la zona fiordos indicaron que en primavera las aguas interiores son altamente productivas según lo reflejado por los altos índices de crecimiento del fitoplancton (Avaria *et al.*, 1999; Pizarro *et al.*, 2000). Sin embargo, los estudios sobre la distribución espacio-temporal del fitoplancton y de las especies nocivas causantes de mareas rojas y su relación con los factores ambientales que determinan su aparición son escasos en el sistema de fiordos del sur de Chile.

Estas sucesiones podrían estar determinadas por procesos que pueden afectar el crecimiento de las poblaciones naturales de dinoflagelados los cuales pueden ser: a) cambios en el ambiente físico como ondas internas, advección y condiciones meteorológicas b) cambios en el ambiente biológico como la tasa de crecimiento, pastoreo por zooplancton (Antezana & Hamamé 1999, Pizarro *et al.* 2005), y c) cambios en el ambiente químico. Así, la dinámica de las poblaciones de las distintas especies de microalgas nocivas dependería de las interacciones sinérgicas favorables de las condiciones físicas, químicas y bióticas, donde la tasa de aporte de nutrientes es particularmente importante (Paerl, 1988).

A pesar de los muchos esfuerzos de investigación para comprender los factores que regulan la composición del fitoplancton, hay muy pocos estudios que se enfoquen en la formación de las

floraciones de algas nocivas, las condiciones ambientales que contribuyen para el éxito de estas y los diferentes factores que rigen la dinámica del fitoplancton. Además, a esto se suma la falta de estudios que examinen la dinámica a largo plazo (series temporales) de las comunidades fitoplanctónicas para identificar y evaluar las diferentes hipótesis sobre los procesos y mecanismos que regulan la estructura de los ensambles y la selección de las especies potencialmente nocivas que forman estas floraciones en canales y fiordos.

Es por esto que el Programa de monitoreo de mareas rojas que desarrolla el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) representa uno de los pocos programas de observación sostenida en los canales y fiordos del sur de Chile que han generado y obtenido una serie de datos de largo término (8 años) tanto de datos ambientales (oceanográficos y meteorológicos) como además de fitoplancton y toxinas, suficientes para poder evaluar a largo plazo tendencias, patrones, y relaciones entre las distintas variables y su incidencia en la formación y aparición de floraciones de algas nocivas en el sur de Chile.

Como resultado, la ordenación y análisis de las bases de datos utilizados en este estudio ha proporcionado interpretaciones y una primera aproximación sobre las configuraciones espacio-temporales del fitoplancton y las diferentes especies nocivas y sus relaciones con variables ambientales tomando en consideración preguntas tales como: ¿La estructura de especies en los ensambles fitoplanctónicos presentan patrones o configuraciones sobre un estudio de largo plazo (2006-2014), y, de ser así, ¿cómo se asocian estos cambios biológicos con las variaciones de las especies nocivas? O, ¿qué factores ambientales explican mejor la composición de especies dominantes y la estructura fitoplanctónica en general a través del tiempo? Al plantear estas importantes preguntas, este estudio aborda una necesidad urgente para obtener una mejor comprensión de los complejos mecanismos que influyen en la respuesta de las comunidades fitoplanctónicas, su dinámica y desarrollo para poder ser utilizada como una herramienta de predicción y prevención ante las floraciones de algas nocivas.

5.2. OBJETIVOS

5.2.1 Objetivo específico

Identificar patrones de distribución espacio temporal dentro del área de estudio para las distintas especies fitoplanctónicas nocivas relacionadas con los registros meteorológicos e hidrográficos registrados por el programa a partir de su base de datos histórica.

5.3. METODOLOGÍA

Previo al desarrollo de la metodología es pertinente entregar antecedentes generales del área de estudio, a fin de facilitar la comprensión del ordenamiento de la información ligada al objetivo de este capítulo. Durante el desarrollo de este programa han ocurrido variadas modificaciones, pero se ha mantenido la orientación central del estudio tal como se plantea en su objetivo general. Entre ellas se incluyen cambios en el número de sitios de muestreo, frecuencia de muestreo, muestreos de emergencia, muestreos complementarios, muestreos de pesca y muestreos de salud, sitios ocasionales, cambio en la denominación de las actividades realizadas (e.g. subprogramas). En el siguiente cuadro se entrega una síntesis de los aspectos relevantes desde la etapa I hasta la etapa VIII (mayo 2006 – febrero 2014) que representa el lapso en el que la información recopilada es analizada en este documento. En esta oportunidad no son considerados los datos generados en sitios ocasionales.

ETAPA	PERIODO	Nº CRUCEROS	Nº ESTACIONES	OBSERVACIONES
I Etapa 2006-2007	(01/05/06 – 23/02/07)	10	147 (39+60+48)	Entre Cochamó, Los Lagos y Caleta Eugenia, Magallanes
II Etapa 2007-2008	(21/10/07- 23/09/08)	10	151 (42+61+48)	Entre Cochamó, Los Lagos y Caleta Eugenia, Magallanes
III etapa 2008-2009	(01/12/08- 13/01/10)	10	151 (42+61+48)	Muestreo emergencia en Los Lagos, 19 sitios de 42 (26/03 a 30/04/08). Muestreo de emergencia 27 sitios, 4 fueron sitios no monitoreados por programa, dos ocasiones, entre 28/12 /09 y 19/01 /10. Entre Cochamó, Los Lagos y Caleta Eugenia, Magallanes
IV Etapa 2010	(02/02/10- 29/12/10)	9	173 (47+74+52)	Entre Cochamó, Los Lagos y Caleta Eugenia, Magallanes. En noviembre 2010 muestreo complementario en Aysén (19 sitios adicionales) y Magallanes (29 sitios adicionales).
V Etapa 2011-2012	(16/01/11- 11/02/12)	12/10/10 12 (entre Cochamó y Puyuhuapi) 10 (entre Isla Jesús y Tortel) 10 (entre Canal Adalberto e Islotes Mariotti)	179 (45+70+54) 23 Pesca/22 Salud 26 Pesca/46 Salud 58 Pesca/6 Salud	Entre Cochamó, Los Lagos hasta Islotes Mariotti, Magallanes. Durante enero se realizó un muestreo complementario con criterio aplicado en etapa IV. En este caso hubo dos estudios, uno de Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y otro de Subsecretaría de Salud Pública, ambos incluidos en la base de datos. En etapa V se disminuyó el número de sitios de muestreo, manteniendo algunos e incorporando nuevos (plagas). Salud

				incorporó otros sitios (salud pública). Durante esta etapa el convenio no consideró el análisis del fitoplancton total (cualitativo y cuantitativo), restringiéndolo solo al análisis de los 7 taxones nocivo.
VI Etapa 2012-2013	(28/02/12-19/02/13)	12/10+12/10	179(45+70+54) 23 Pesca/22 Salud 26 Pesca/46 Salud 58 Pesca/6 Salud	Entre Cochamó, Los Lagos hasta Islotes Mariotti, Magallanes. Se mantiene criterio de monitoreo de etapa previa, en el norte de Aysén hubo 12 cruceros.
VII Etapa 2013-2014	(26/03/13-23/02/14)	11/30/30 11 Regulares (Los Lagos, Aysén y Magallanes 30 Fiscalización y Vigilancia (sur Chiloé y Melinka) 30 Raúl Marín Balmaceda (Estero Pitipalena)	208 (55+87+66)	Entre Cochamó, Los Lagos hasta Islotes Mariotti, Magallanes. Se mantiene la orientación general del programa, pero se subdivide en tres subprogramas: Regular, Fiscalización y Vigilancia y Raúl Marín Balmaceda. El primero con 11 cruceros anuales, y los otros dos con 30 anuales (frecuencia cada 10 días, excepto invierno). 30 Lagos: 11 cruceros regulares + 19 vigilancia (23 sitios)= 30 cruceros; Aysén: 11 cruceros regulares + 19 vigilancia (17Chiloé sur y Melinka; 6 Raúl Marín Balmaceda); 11 cruceros regulares).
VIII Etapa 2014-2015	(24/03/14-21/02/15)	11/30/30 Ídem anterior	208 (55+87+66)	Entre Cochamó, Los Lagos hasta Islotes Mariotti, Magallanes. Ídem anterior

5.3.1. Ordenación de los datos y aspectos generales de los análisis.

El análisis de la información considera una revisión y validación de los datos, y luego homologación, cuando fue necesario, de las bases de datos entre regiones, particularmente cuando las frecuencias de muestreo fueron diferentes. Además el análisis considera el comportamiento espacio-temporal de variables relevantes como niveles de toxicidad en mariscos transvectores, variaciones de la abundancia relativa de taxones específicos, además del comportamiento de las variables abióticas y bióticas disponibles.

Para la validación de la base de datos, la información fue organizada en archivos correspondiente a cada una de las etapas del Programa, ordenando de forma separada la información de las tres regiones administrativas y separando cada una de las variables consideradas en el programa.

La información para el análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton, fue organizada por estación de monitoreo, incorporando todos los cruceros ejecutados durante cada etapa.

Los datos oceanográficos, meteorológicos y de toxinas marinas fueron organizados para cada una de las regiones y etapas, las cuales fueron separadas por las distintas variables oceanográficas y meteorológicas, además de tipos de toxinas, incorporando todas las estaciones de monitoreo.

Metodología de registros históricos de abundancia relativa.

De tal forma que la información histórica de datos de abundancia relativa de cada una de las tres regiones es representada por una planilla. Cada hoja de una planilla, representa una etapa del monitoreo realizados hasta la fecha (en total siete). Se excluye la información generada durante la VII etapa (marzo 2014 - febrero 2015). De este modo, resultaron 3 planillas, que contienen la información de las abundancias relativas estimadas en cada uno de los monitoreos realizados hasta febrero de 2014.

La información fue ordenada por columna en el siguiente orden: Código estación, estación, crucero, fecha crucero, abundancia relativa de (por columna): *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuminata*, *D. acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis*, y *P. cf. pseudodelicatissima*. Fueron excluidas *Protoperdinium crassipes*, *Prorocentrum micans* y *A. cf. tamarense*, las dos primeras por cuanto las series de tiempo están interrumpidas y no representan fitoplancton nocivo y la última, dada su representatividad pues fue detectada sólo ocasionalmente.

Para confeccionar la base de datos de la forma descrita, se comenzó por ordenar las estaciones de muestreo (dos primeras columnas, código estación y estación) para cada región de modo de obtener una plantilla única de estaciones por región. En esta plantilla se incluyó aquellas que fueran añadidas o eliminadas en cada etapa anual.

Con esta plantilla, común para cada etapa de monitoreo por región y corrección de códigos y topónimos de los lugares de muestreo, se añadió la información en las columnas siguientes, en el orden arriba mencionado, con ayuda de macros confeccionadas según necesidad.

A partir de los tres archivos regionales así ordenados, se procedió a re-ordenar la base conforme al orden de las bases de datos restantes que son: Fitoplancton (cualitativo y cuantitativo), variables oceanográficas y meteorológicas, toxicidad por veneno paralizante, veneno amnésico y veneno diarreico (lipofilicas) con la finalidad de responder las preguntas incorporadas en la propuesta técnica.

Se ha puesto énfasis a responder las interrogantes incorporadas en la propuesta técnica abordando desde lo general a lo particular, de tal forma que, los análisis y resultados que se presentan no son exhaustivos y sólo representan una primera aproximación a un análisis más amplio de los antecedentes generados.

Las interrogantes incorporadas en la propuesta técnica son las siguientes:

- a) ¿existen configuraciones espacio temporales (“patterns”) del fitoplancton total en los fiordos y canales australes entre seno de Reloncaví y Canal Beagle?
- b) ¿de existir estas configuraciones espacio temporales, como se relacionan con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?
- c) ¿Cuáles son las variables biológicas, oceanográficas y meteorológicas que muestran una mayor correlación con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?
- d) ¿existen configuraciones espacio-temporales que puedan ser usadas como herramientas de prevención, en fenómenos de floraciones nocivas?
- e) ¿es factible a partir de la base de datos definir de manera objetiva el número de sitios de muestreo y la distancia entre sitios de muestreo, según las tendencias temporales de la concentración de veneno paralizante en mariscos selectos u otras variables?
- f) ¿es factible establecer una relación predictiva entre estimadores de la abundancia relativa de taxones nocivos y la densidad de estos taxones?

Considerando la información histórica recopilada por el programa desde mayo 2006 hasta febrero 2014, se realizó un análisis completo de los datos disponibles, tendiente a identificar características y patrones respecto a la distribución espacial y temporal de los ensambles fitoplanctónicos considerando en forma independiente también a las especies de microalgas nocivas monitoreadas (se excluye *Alexandrium cf. tamarense*, dado lo exiguo de la información disponible). Posteriormente, estos patrones generales, fueron contrastados con las distintas variables ambientales (meteorológicas e hidrográficas) y biológicas (abundancia relativa y fitoplancton total) registradas por el programa. Para ello, se realizaron análisis exploratorios integrados de la información disponible (análisis de componentes principales, análisis de conglomerados, análisis de concordancia, relaciones, análisis canónico de correspondencias, entre otros) tendientes a evaluar las relaciones entre las variables de la base de datos, considerando toda el área de estudio, las regiones administrativas y sectores dentro de cada región.

De las 208 localidades que conforman el conjunto de sitios de muestreo que son visitadas en este programa (Figuras 2.1 y 2.2; Anexos 2.1, 2.2. y 2.3) finalmente 158 sitios de muestreo, fueron considerados en todos los análisis realizados. Ello básicamente por cuánto estas localidades presentaron información a lo largo de todo el período de muestreo analizado. No se incluyó la información de sitios de muestreo ocasionales o que fueron monitoreados sólo en un lapso del estudio.

La base de datos fue estructurada de tal forma que se dispuso de promedio mensuales para cada variable considerada, los cuales fueron estimados con datos disponibles desde mayo 2006 hasta febrero de 2014 (i.e. corresponde a un promedio de un mismo mes a lo largo de los distintos años incluidos en el análisis de la información); esto se hizo considerando cada sitio de muestreo para cada variable analizada, de tal forma que se dispuso por variable considerada un promedio mensual, desviación estándar y el número de datos por mes. Como criterio general se incluyeron en los cálculos todas aquellas situaciones que presentaron al menos 3 valores por mes, sólo en situaciones de excepción se incluyeron sitios de muestreo que presentaron uno y dos muestreos, pero con la

condición que ello no representara más de 3 meses del período anual. Esto con la finalidad de incluir más sitios de muestreo y lograr continuidad en los datos promedio mensuales disponibles para cada sitio de muestreo.

Las variables consideradas fueron las siguientes:

- a) Concentración de Veneno Paralizante en mariscos
- b) Concentración de Veneno Amnésico en mariscos
- c) Presencia – ausencia de veneno diarreico en mariscos
- d) Fitoplancton cualitativo (composición a nivel específico)
- e) Estimación de abundancia relativa (7 taxones). Se excluye *A. cf. tamarense*.
- f) Fitoplancton cuantitativo (a nivel específico)
- g) Agua: Temperatura, Salinidad, Densidad
- h) Temperatura aire, nubosidad, presión barométrica y velocidad y dirección del viento.

Para la ordenación y clasificación de los sitios de muestreo para cada variable considerada, se aplicaron análisis de conglomerados (“cluster analysis”) usando como medida de distancia el índice de similitud de Bray y Curtis, reduciendo la matriz mediante el método del grupo promedio no ponderado y representando los resultados en un dendrograma. La información analizada corresponde a los datos de fitoplancton cuantitativo a nivel específico para los primeros 10 metros de la columna de agua, además datos de abundancia relativa para *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuminata*, *D. acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. pseudodelicatissima*, concentración de veneno paralizante en mariscos centinela y frecuencia de muestras positivas para el veneno diarreico. Se excluye de este análisis la concentración de veneno amnésico por cuanto las veces en que fue detectado fueron más bien ocasionales. Los datos de bioensayo ratón para veneno diarreico fueron analizados en función de la frecuencia de resultados positivos, en tanto que para el veneno paralizante fueron promediadas las estimaciones de las dos réplicas por punto de muestreo. En aquellos casos en que ambas réplicas presentaron resultados no detectables mediante bioensayo, para fines de análisis estos fueron equivalentes a cero (0); si una de las réplicas presentó resultado no detectable, pues en ese caso se hizo equivalente a 30 µg eq. STX 100 g de carne de marisco, valor que fue promediado con aquel obtenido en la otra réplica. Para el análisis del fitoplancton cuantitativo se consideraron como criterios discriminadores el aporte porcentual por taxón incluido y la frecuencia de aparición de cada especie, de tal forma que se incluyeron todas las especies que representaron $\geq 15\%$ de ocurrencia porcentual. Finalmente resultó una matriz de 180 especies de micro-fitoplancton por 158 sitios de muestreo.

Los análisis se realizaron con el programa PRIMER (“Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research”) (Carr, 1997). Los conglomerados representados en los dendrogramas significativamente diferentes, fueron identificados mediante el análisis SIMPROF (“SIMilarity PROFile” o perfiles de similaridad) (cf. Clarke & Gorley 2006, Clarke *et al.* 2008), el cual calcula rangos de los “perfiles de similaridad” entre muestras y determina la significancia estadística de cada conglomerado individual del dendrograma usando técnicas de permutaciones. El nivel de significancia empleado fue de 1%. En los dendrogramas la significancia en la conformación y la unión de los conglomerados se muestra

usando una coloración distinta, esto es, rojo para grupos homogéneos y negro para grupos significativamente distintos. El análisis SIMPER permitió conocer el aporte porcentual con que contribuyen los constituyentes de cada conglomerado definido.

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

El ANOSIM, es un análisis de varianza multivariado no paramétrico (MANOVA no paramétrico), basado en la matriz de similitud o distancias entre muestras. Se evalúa la significancia del estadístico R, que permite poner a prueba las diferencias entre los grupos de muestras, definidos *a priori*, variando entre -1 para mayores similitudes entre los grupos y 1, indicando mayor similitud dentro de los grupos. El valor 0 demuestra que no existen diferencias entre ni dentro de los grupos definidos. La significancia de este resultado se evalúa por permutaciones de grupos y se definen el número de permutaciones con valores mayores que el R calculado, obteniendo así un valor de probabilidad (Hammer et al., 2007). Igualmente a un ANOVA, se realizan comparaciones pareadas *a posteriori* para detectar los grupos que generan las diferencias en un análisis con más de un factor. Dentro de las similitudes entre los grupos (valores positivos), se ha establecido que valores superiores a 0,75 son altamente diferentes y bien separados entre sí; los grupos que arrojan valores de R entre 0,5 y 0,75 son diferenciables, a pesar de que se puede observar cierta superposición entre ellos; valores inferiores a 0,25 son grupos que a pesar de presentar cierta disimilitud entre ellos, son difícilmente separables (Clarke y Gorley, 2006).

En síntesis para analizar el ordenamiento y clasificación espacio – temporal de las variables consideradas, se aplicaron cuatro criterios de tratamiento de la información: análisis de los dendrogramas (CLUSTER) y obtención de conglomerados significativos en un 1% a partir del método SIMPROF. También se aplicó el análisis de escalamiento multidimensional (MDS), para representar en una gráfica distinta, los grupos obtenidos con el CLUSTER utilizando la técnica de discriminación de conglomerados. De manera sintética el MDS permite visualizar patrones de ordenación mediante un índice de distancia o similitud (en este caso el índice de similitud de Bray y Curtis), y finalmente el análisis ANOSIM fue usado para evaluar significancia en las diferencias (o disimilitudes) entre diferentes grupos, como lo son entre diferentes regiones y los conglomerados generados por SIMPROF. Los resultados del análisis SIMPER permitieron conocer la contribución porcentual de los integrantes de cada conglomerado definido, lo cual permite segregar los taxones más importantes desde este punto de vista de cada uno de los conglomerados definidos.

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

A continuación se entrega metodología de detalle según las distintas interrogantes planteadas en la propuesta técnica e indicadas en un párrafo previo. Los resultados, discusión y conclusiones se entregan siguiendo el mismo orden en que están planteadas las interrogantes.

5.3.2. Metodología para cada una de las siete interrogantes.

¿Existen configuraciones espacio-temporales (patterns) del fitoplancton total en los fiordos y canales australes entre seno de Reloncaví y Canal Beagle?

Para enfrentar la respuesta a la existencia de configuraciones espacio-temporales del fitoplancton total, se realizó un análisis de conglomerados tomando como muestras 158 estaciones de monitoreo y como variable el promedio mensual de la densidad (cel L^{-1}) para cada uno de los 12 meses del año para todo el periodo de muestreo (2006-2014). Para conocer si existen diferencias entre la dominancia de las especies del fitoplancton para cada uno grupo segregados por el análisis de conglomerados, se realizó un análisis de concordancia de Kendall (W) calculado a partir del promedio de la abundancia de las 15 especies. Los valores de $W = 0$ implican una nula concordancia, mientras que valores de $W = 1$ indican una concordancia plena. La hipótesis nula asociada a éste análisis es que la dominancia de las especies entre grupos segregados es independiente.

Para evaluar la distribución temporal, se aplicó el mismo tipo de análisis (conglomerados) pero la información fue segregada por estaciones del año (180 especies x 156 estaciones geográficas x 4 estaciones del año), correspondiendo a verano, la suma de los promedios de los meses de enero, febrero y marzo; el otoño a abril, mayo y junio; el invierno, a julio, agosto y septiembre; y primavera a octubre, noviembre y diciembre. Los resultados de SIMPER fueron utilizados para caracterizar los patrones estacionales de cada uno de los grupos conformados. Se presentan resultados de las configuraciones espacio-temporales, además de la caracterización de las estaciones que segregaron de forma independiente.

¿De existir estas configuraciones espacio temporal, como se relacionan con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?

En el Anexo 5.2 se presenta un conjunto de figuras que entregan una visión general del comportamiento estacional para los promedios mensuales en el periodo entre marzo 2006 y febrero 2014 de 30 estaciones de muestreo que fueron seleccionadas como representativas para las diferentes zonas de monitoreo definidas en relación al análisis de conglomerados (CLUSTER) del fitoplancton cuantitativo total, en la cual se presentan los datos de abundancia de fitoplancton total (cel

L⁻¹), abundancia relativa y abundancia numérica (cel L⁻¹) de las diferentes especies tóxicas además de las toxinas asociadas a estas especies.

Para el análisis de conglomerados la matriz de similitud consideró como factores las localidades, estaciones del año y los promedios mensuales de las abundancias relativas de las especies tóxicas. Luego se aplicaron los análisis indicados previamente. Para corroborar los patrones y relaciones generales entre las configuraciones espacio-temporales del micro-fitoplancton total y la abundancia relativa de los diferentes taxones nocivos, se realizó un análisis de correlación contrastando la relación entre los promedios anuales de abundancia (cel L⁻¹) del micro-fitoplancton total y los promedios anuales de abundancia relativa de cada una de las 7 especies nocivas.

Para esto se seleccionaron grupos representativos segregados con el análisis de conglomerados realizado con cada especie nociva, efectuando un primer análisis general a través de regresiones lineales de cada una de las especies nocivas, el cual consideró todos los grupos seleccionados dentro de cada análisis de conglomerados, además de un análisis por separado de cada uno de los grupos seleccionados.

¿Cuáles son las variables biológicas, oceanográficas y meteorológicas que muestran una mayor correlación con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?

Para responder esta pregunta, los datos ambientales (oceanográficos y meteorológicos) y biológicos (abundancia relativa de las microalgas nocivas) fueron analizados en cuatro fases sucesivas:

- a. Los datos oceanográficos y meteorológicos (mayo 2006 - febrero 2014), fueron seleccionados de las variables con mayor constancia a lo largo del monitoreo y de aquellas que permitieran una mejor interpretación de su relación con las variables biológicas. De esta manera, de los datos oceanográficos se escogió la temperatura (°C) y salinidad (psu) de la columna de agua a 5 metros de profundidad, coincidiendo con el promedio del estrato superficial de muestreo de las variables biológicas (0 – 10 metros), mientras que las variables meteorológicas seleccionadas fueron temperatura del aire (°C), nubosidad (8vos), presión barométrica (mba), dirección (grados) y velocidad del viento (m s⁻¹). Estos datos ambientales fueron estructurados de tal forma que se dispuso de promedios anuales para cada una de las variables consideradas, esto se realizó para las 158 estaciones de muestreo (45 en la región de Los Lagos, 63 en Aysén y 50 en Magallanes) resultantes al aplicar el criterio de selección de estaciones detallado en la metodología del presente capítulo.
- b. Estas variables ambientales fueron representadas en un gráfico de Draftsman, que consiste en realizar una matriz de gráficos en que las variables se representan enfrentadas por pares, de modo que se pueden visualizar sus relaciones aparentes dos a dos. Este gráfico se utilizó para detectar las variables altamente correlacionadas (Figura 5.54), que en conjunto con el cálculo de los coeficientes de correlación de Pearson por pares de variables, permitieron eliminar de los análisis posteriores a la temperatura ambiental por su alta correlación con la temperatura de la columna de

agua a 5 metros de profundidad ($r = 0,87$; $p < 0,05$; Tabla 5.5). Debido a las distintas escalas de las variables ambientales estas fueron normalizadas para tener escalas comparables (adimensionales). Con estas variables se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con el fin de obtener una ordenación de las estaciones de muestreo en función de sus características ambientales. Posteriormente se aplicó un análisis de conglomerados entre las estaciones de muestreo pero usando como índice la distancia euclidiana, reducción de la matriz mediante el método del par promedio ponderado y luego la representación mediante un dendrograma, además de un análisis de ordenación con escalamiento multidimensional no métrico (nMDS). La interpretación de estos gráficos depende de cuán buena es la representación de las similitudes reales; es decir el valor de stress indica la bondad de ajuste de ésta (Holland, 2008). Valores cercanos a cero son los que indican una mejor representación de los datos. Bates (2008) entrega la siguiente clasificación: 0.0= ajuste ideal; 0.1= buen ajuste; 0.2= ajuste aceptable; 0.3 y más= mal ajuste. Por su parte Clarke (1993), sugiere que valores del stress $<0,1$ corresponden a buenas ordenaciones y valores $<0,2$ dan una interpretación de los datos potencialmente útil.

- c. A partir de la abundancia relativa de 7 especies nocivas (*Pseudo-nitzschia cf. australis*, *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima*, *Alexandrium catenella*, *Alexandrium ostenfeldii*, *Dinophysis acuta*, *Dinophysis acuminata* y *Protoceratium reticulatum*), se ordenó la matriz con promedios anuales para cada una de las 158 estaciones de muestreo resultantes al aplicar el criterio de selección ya descrito. Posteriormente, los datos fueron transformados, aplicándoles raíz cuadrada para minimizar el efecto de las especies dominantes. Se aplicó un análisis de conglomerados usando como índice de similitud Bray–Curtis, representando en dendrogramas y un nMDS. Finalmente, se aplicó un análisis SIMPER (Clarke & Gorley, 2006) para identificar las especies de microalgas nocivas que explican la similitud y disimilitud dentro de los grupos de estaciones de muestreo.
- d. Por último, siguiendo la rutina BIOENV (*Biological – Environmental*) se llevó a cabo un procedimiento BEST (*Bio – Env + Stepwise*) (Clarke & Warwick, 2001). Éste permite examinar en qué medida los patrones de las variables ambientales se relacionaban con el patrón de las variables biológicas observadas. Mediante este método se pudo establecer cuál fue la combinación de variables ambientales que conformó el patrón de mayor ajuste a la ordenación biológica, lo que se determinó mediante el coeficiente de correlación de rangos de Spearman (no paramétrico) entre las dos ordenaciones.

¿Existen configuraciones espacio-temporales que puedan ser usadas como herramientas de prevención, en fenómenos de floraciones nocivas?

La búsqueda de las eventuales configuraciones espacio-temporales de las floraciones nocivas considerando conjuntamente las tres regiones administrativas (macrozona sur-austral), se realizó mediante el análisis de conglomerados (CLUSTER) tomando como muestras las estaciones de monitoreo y como variables, los 12 meses del año (el promedio mensual para el lapso mayo 2006 – febrero 2014). El número de estaciones para agrupar fue un total de 158 en el caso de las especies nocivas y 152 estaciones para el caso de las toxinas.

Para el caso de las especies nocivas, la variable analizada fue la abundancia relativa promedio mensual obtenida durante el periodo de muestreo realizado entre mayo 2006 y febrero 2014 para cada estación de muestreo. Para el VPM, los grupos fueron conformados en base al promedio mensual de toxicidad ($\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$) por bioensayo ratón, y en el caso de las toxinas lipofílicas, en el porcentaje promedio mensual de positivos por bioensayo ratón. Previo al análisis de conglomerados, las toxicidades por VPM fueron transformadas a raíz cuadrada. Para los casos en que no se detectó VPM mediante bioensayo, se aplicaron los criterios indicados previamente. En todos los casos, los valores analizados de VPM corresponden al promedio de dos réplicas. No obstante que se reconoce que existen diferencias en la dinámica y niveles máximos de VPM en los mariscos considerados (cholga, chorito y almeja), para fines de un análisis general, los antecedentes fueron considerados fueron tratados de manera conjunta.

Las especies nocivas consideradas en el análisis de conglomerados y analizadas en detalle para este objetivo específico son: *A. catenella*, *A. ostenfeldii*, *D. acuminata*, *D. acuta*, *P. reticulatum*, *P. cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, éstas dos últimas asociadas a VAM. Las toxinas consideradas para la agrupación de estaciones de muestreo fueron: VPM y lipofílicas. Bajo el término de toxinas lipofílicas se incluyen las PTXs, YTXs, SPXs además del VDM, puesto que son co-extraídas. En este caso, el bioensayo ratón es incapaz de distinguirlas y su efecto cuando están presentes, es la muerte de al menos dos de tres ratones inyectados intraperitonealmente para declarar un resultado positivo a la presencia de este tipo de toxinas en los moluscos. No obstante, las toxinas que conforman el grupo, salvo los SPXs, están individualmente normadas para el consumo interno y de exportación. El análisis de la presencia de las especies de *Pseudo-nitzschia* y del veneno amnésico de los mariscos (VAM) por la escasa información con registros detectables de ácido domoico mediante la técnica de HPLC, no incluye un análisis con la profundidad de los otros dos complejos tóxicos, pero sin embargo, se incorpora un análisis de la presencia de esta toxina conjuntamente con las especies de diatomeas asociadas.

Con los resultados del análisis de conglomerados, se establecieron a *posteriori*, rangos de valores (categorías) para facilitar el análisis de las relaciones entre las variables y variabilidad espacio-temporal en la macro-zona austral. Una vez establecidos los rangos, se realizó un análisis de correspondencia múltiple para la graficación de categorías conjuntas, tratando las variables como nominales, para finalmente, visualizar la relación entre las variables —por tipo de toxina y las respectivas microalgas asociadas a los eventos de toxicidad— y su vinculación con los sitios de muestreo. Dado el gran número de estaciones, éstas son consideradas por sectores para visualizarlas dentro de cada región. La fuerza de las asociaciones encontradas fue explorada mediante el análisis de tablas de contingencia (por par de variables), utilizando las pruebas de χ^2 y de verosimilitud con nivel de significancia del 5%, correlaciones de Pearson y Spearman (éste último contrastado con la correlación entre variables originales arrojado por el análisis de correspondencia), y finalmente se utilizó el análisis de los residuos tipificados corregidos para conocer la significancia y dirección de las asociaciones encontradas. Para la discusión, se tomaron los meses en que ocurrieron los máximos

mensuales de cada variable como variables suplementarias. Los análisis a *posteriori* (correspondencia y tablas de contingencia) se realizaron con el programa SPSS-20 versión de prueba.

¿Es factible establecer una relación predictiva entre estimadores de la abundancia relativa de taxones nocivos y la densidad de estos taxones?

Se utilizaron los datos provenientes de los análisis cualitativos y cuantitativos del fitoplancton (ver metodología Capítulo 2) para el periodo entre mayo 2006 y febrero 2015. Para establecer una relación predictiva entre los estimadores de la abundancia relativa (AR) y la densidad numérica (cél L⁻¹) se analizaron los siguientes taxones nocivos: *Alexandrium catenella*, *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis acuta* y *Protoceratium reticulatum*. No fueron incluidos en estos análisis, *Alexandrium ostenfeldii* debido a que la información de AR y densidad es baja y restringida a zonas puntuales dentro de la macrozona de estudio, además de *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima*, ya que estas diatomeas están siempre presentes en la composición fitoplanctónica, muchas veces numéricamente dominantes y con una alta distribución espacial, por lo que la densidad (cél L⁻¹) es un buen estimador, lo que no ocurre con los otros taxones nocivos donde es relevante tener un buen estimador de la densidad, ya que no son ni numéricamente dominantes ni están tan ampliamente distribuidas.

Las densidades para cada taxón nocivo fueron clasificadas por niveles utilizando un modelo de distribución logarítmico, donde los menores niveles están asociados a bajas abundancias y los niveles altos están asociados a rangos mayores de abundancia, cada uno de éstos niveles determina un valor de abundancia relativa (AR) que es particular para cada taxón nocivo (Tabla 2.2). Una interpretación de esta escala logarítmica de distribución de abundancias, es que la mayoría de las observaciones registradas para cada especie se encontrarán en niveles intermedios (moderados) que en niveles bajos (raros) o muy altos (muy abundantes) de AR. Aunque, como veremos más adelante, esta distribución es más evidente al graficar las relaciones entre la AR y la densidad (cél L⁻¹) de cada especie de alga nociva. La utilidad del uso de este índice (AR) es que entrega la posibilidad de aplicarlos de modo extensivo, permitiendo la evaluación de las especies de algas nocivas en ambientes de alta variabilidad espacio – temporal (tal como ha sido registrado a lo largo de este estudio en la macrozona de estudio).

Con el fin de analizar el tipo de relación entre la AR y la densidad de los taxones nocivos se han utilizado promedios ($\pm$ error estándar) para cada uno de los niveles de AR, usando como referencia los grupos de estaciones definidas a partir del análisis de conglomerados de la AR (Figuras 5.60, 5.61), aplicando como criterio de selección aquellas estaciones que presentaran un rango de AR lo más amplio posible.

Como una forma de explorar el tipo de relación entre ambas variables, en principio, se empleó la regresión lineal tomando como variable dependiente el promedio de densidad (cél L⁻¹) y como variable independiente al promedio de AR para cada uno de sus niveles. La correlación se evaluó mediante la magnitud tomada por el coeficiente de Pearson cuando la significancia fue $<0,05$. Para cada taxón

nocivo se elaboró un diagrama de dispersión de los datos. Adicionalmente, se buscaron relaciones no lineales de tipo potencial, logarítmico y exponencial, comparándose los ajustes con aquellos correspondientes al modelo lineal. El criterio de comparación fue siempre el coeficiente de correlación.

¿Es factible a partir de la base de datos definir de manera objetiva el número de sitios de muestreo y la distancia entre sitios de muestreo, según las tendencias temporales de la concentración de veneno paralizante en mariscos selectos u otras variables?

Se trabajaron los datos entre mayo 2006 y febrero 2014, resumiéndolos a promedios mensuales, de tal forma que para un lapso de casi ocho años se logró disponer para cada punto de muestreo una serie de doce puntos de diez variables correspondiente a un promedio mensual. Estas variables fueron Abundancia Relativa de siete taxones nocivos: *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuminata*, *D. acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia* cf. *australis* y *P.* cf. *pseudodelicatissima* (se excluyó *A.* cf. *tamarense* por presencia ocasional) y estimaciones de Toxicidad para veneno paralizante de los mariscos ($\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$), veneno diarreico de los mariscos (en porcentaje de muestras positivas) y veneno amnésico de los mariscos ($\mu\text{g g}^{-1}$). Fueron considerados 178 sitios y previo al análisis estadístico, se graficó la variación temporal para cada variable señalada, para comparar las tendencias (Anexo 5.1).

5.4. RESULTADOS

Caracterización general de la abundancia relativa, toxicidad y variables oceanográficas para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.

En el Anexo 5.1 se presenta una visión general del comportamiento estacional para los promedios mensuales en el periodo comprendido entre marzo 2006 y febrero 2014 para la abundancia relativa (AR) de las diferentes especies tóxicas, toxinas (T) asociadas a estas especies y los datos oceanográficos (DO) para cada una de las estaciones de monitoreo en las tres regiones administrativas.

El análisis de cada variable es bastante complejo debido a la gran extensión de la zona de estudio y la alta variabilidad espacial en las características físicas y geomorfológicas entre regiones; sin embargo, se pueden establecer patrones característicos para cada región como una primera aproximación a un posterior análisis más detallado de cada estación monitoreada.

Para la región de Los Lagos se observan valores promedio mensuales bajos de AR para las especies *A. catenella* y *A. ostenfeldii* los cuales no superan el nivel 2, además de no presentar algún tipo de estacionalidad durante todo el periodo de muestreo. Mismo patrón se observa al analizar los datos de veneno paralizante (VPM), los cuales presentan valores que van desde no detectado (en la mayor parte de las estaciones) a un promedio ($\pm$ error estándar) máximo mensual de $77 (\pm 55) \mu\text{g eq. STX} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. Estos valores máximos, tanto en la AR como de la toxina, se presentaron solo en algunas estaciones ubicadas en la parte sur de la Isla de Chiloé, mientras que para la parte norte del mar interior de Chiloé, la presencia de *A. catenella*, *A. ostenfeldii* y VPM es prácticamente nula.

D. acuminata, *D. acuta* y *P. reticulatum* presentan patrones distintos en sus valores de AR. Mientras que para la primera los valores promedio variaron entre los niveles 2 y 6, en las otras dos especies tienen una presencia muy baja durante todo el periodo de muestreo con valores de ausente (0) en la mayoría de las estaciones y que sólo en algunos casos puntuales llegan al nivel promedio mensual de 2. Tampoco se observa algún patrón estacional para ninguna de las tres especies, teniendo valores promedio relativamente constantes durante todo el año. Se observa la presencia de Veneno Diarreico (VDM) en la mayoría de las estaciones muestreadas, por lo que se puede inferir que para esta región y para el periodo de muestreo analizado las muestras positivas detectadas estarían ligadas únicamente a *D. acuminata*.

Las dos especies de diatomeas analizadas (*P. cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*) presentan en gran parte de las estaciones muestreadas un marcado patrón estacional, con altos valores promedio mensuales de AR con niveles entre 4 y 6 en primavera y verano con un descenso en invierno. Sin embargo, la alta presencia de estas especies no se refleja en la presencia de Veneno Amnésico (VAM) el virtualmente no detectable para todo el periodo de muestreo y para toda la región.

En cuanto a las variables oceanográficas, sólo la temperatura presenta una cierta estacionalidad con valores más bajos durante la época de otoño-invierno para incrementar durante primavera-verano. La salinidad y densidad no presentan un patrón estacional marcado observándose variaciones en sus valores dependiendo de la zona y la estación muestreada.

La región de Aysén presenta marcadas diferencias con respecto a la región de Los Lagos en la mayoría de las especies y variables analizadas.

Se observa una clara estacionalidad en la aparición de *A. catenella* para la mayoría de las estaciones muestreadas con valores promedio máximos en los meses de verano los cuales varían entre 2 y 6 de AR, para mantenerse con valores bajos durante otoño-invierno. Sin embargo *A. ostenfeldii* no presenta patrón estacional y los valores son bajos durante todo el año para toda la región no superando en promedio el nivel 2 de AR.

Se aprecia un patrón similar al de *A. catenella* para los valores de VPM en la mayor parte de la región, con un pequeño desfase con respecto a los meses en que la abundancia de la microalga es mayor, observándose una fuerte correlación entre la abundancia de esta especie y la presencia del veneno. Este desfase puede estar relacionado al grado y el tiempo que tardan las diferentes especies de moluscos en bio-acumular las toxinas en su organismo. Los valores de VPM son considerablemente más altos que en la región de Los Lagos y existe presencia a lo largo de todo el año con valores promedio máximos durante el término del verano y comienzo del otoño los cuales varían en el rango entre 200 y 4500 $\mu\text{g eq. STX} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$.

Para *D. acuminata*, *D. acuta* y *P. reticulatum* se observa una fuerte correlación en la variación de sus abundancias a lo largo de todo el año. Se esboza un pequeño patrón estacional con mayor abundancia durante el periodo de verano, para un número importante de estaciones con valores promedio máximos hasta nivel 6 (para *P. reticulatum*), sin embargo, existe una gran cantidad de estaciones que no presentan este patrón y la abundancia de las tres especies es relativamente constante durante todo el año. En cuanto a la presencia de VDM no se podría adelantar la aparición de un patrón regular para toda la zona ya que existe una alta variabilidad en la presencia y/o ausencia del veneno entre las distintas estaciones muestreadas en la zona. Cabe destacar que aunque no se observan patrones claros de distribución estacional, si se puede observar la presencia de éste en gran parte del año para una gran cantidad de estaciones.

En cuanto a las dos especies de diatomeas, se observa el mismo patrón que en la región de Los Lagos, presentando una marcada estacionalidad con un aumento en las AR de ambas durante el período primavera-verano, además de una alta correlación en las variaciones estacionales de ésta durante todo el periodo de muestreo. Mismo patrón que en Los Lagos se observa para los valores de VAM, con escasa presencia durante todo el año y sin patrones estacionales que puedan ligarlo a la presencia o al aumento de las dos especies de diatomeas.

Las variables oceanográficas densidad y salinidad se mantienen estables durante todo el año, con muy poca variación en sus valores, mientras que nuevamente la temperatura es la que presenta un patrón estacional marcado, por lo que se podría deducir que el aumento y variación de la mayoría de las especies estudiadas están fuertemente relacionadas con los cambios de temperatura en la zona.

La región de Magallanes presenta en general un patrón similar a lo descrito para la zona de Aysén solo con algunas pequeñas diferencias.

La AR promedio de *A. catenella* en esta región presenta una marcada estacionalidad con valores relativamente bajos durante la mayor parte del año pero con un fuerte aumento a partir del mes de noviembre manteniéndose con valores altos (niveles entre 2 y 5 de abundancia relativa) hasta el mes de febrero. *A. ostentfeldii* no presenta una variación marcada durante el año, y sus valores de AR se mantienen constantes y bajos durante todo el año no superando el nivel 2 y, tampoco presenta un patrón estacional. La presencia de VPM está fuertemente relacionada con la abundancia de *A. catenella* encontrándose un patrón muy similar al de las abundancias de la microalga con un aumento en sus valores a partir del mes de diciembre manteniéndose altos durante el verano con valores que varían en promedio entre 200 y 6500 $\mu\text{g eq. STX} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$.

Al igual que en la región de Aysén, las especies *D. acuminata*, *D. acuta* y *P. reticulatum* presentan valores y variaciones muy similares durante todo el año, observándose una fuerte correlación entre ellas, sin embargo, los valores de AR son bajos durante la mayor parte del año con algunos aumentos en verano, aunque esta tendencia se da sólo en algunas estaciones por lo que las variaciones son locales y no siguen un patrón definido. Si se observa presencia de VDM durante gran parte del año y en la mayoría de las estaciones muestreadas, además se podría suponer la presencia de un patrón estacional con mayor presencia en el periodo primavera-verano, aunque siempre teniendo en cuenta que existe una alta variabilidad entre las distintas estaciones muestreadas en la zona.

La variación estacional en la AR promedio de *P. australis* y *P. pseudodelicatissima* es similar a la descrita para la región de Los Lagos y Aysén, presentando el mismo patrón estacional, nivel de abundancias y correlación entre las dos especies que en las otras dos regiones. Mismo caso para el VAM, con escasa presencia y no presentando una relación al aumento o disminución de las algas.

Aunque se puede observar un leve patrón estacional en la temperatura, este no es tan marcado como en las otras regiones con variaciones menores entre los periodos, primavera-verano y otoño-invierno. La salinidad y la densidad presentan valores relativamente estables durante todo el año, sin embargo en muchas estaciones se puede observar una leve variación (descenso) de estas dos variables en el periodo de verano probablemente por los deshielos y el aporte de ríos en esta época en algunas zonas de esta región.

Otro punto a tener en consideración es la variación latitudinal que presentan los valores promedio de las toxinas, tanto para el VPM como el VDM, los cuales aumentan de norte a sur, con valores máximos en las región de Los Lagos que no superan los 80 $\mu\text{g eq. STX} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ en el caso del VPM hasta

alcanzar valores de más de 6500 $\mu\text{g eq. STX} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ en la región de Magallanes. Caso similar ocurre con la presencia de VDM, la cual presenta una baja proporción en la región de Los Lagos y algunas estaciones de la parte norte de la región de Aysén, para ir en aumento a medida que avanza latitudinalmente hacia Magallanes.

Caso similar ocurre con los valores de AR de *A. catenella*, que van desde la casi ausencia del alga en la parte norte de la región de Los Lagos, aumentando levemente hacia el sur de esta región. Estos valores incrementan con la latitud con promedios de AR entre 2 y 4 en la parte centro-sur de la región de Aysén hasta alcanzar valores promedios máximos de hasta nivel 5 en la región de Magallanes.

Otro patrón que se puede observar es la variación longitudinal que presentan los valores promedios superficiales de las variables oceanográficas de salinidad y densidad, decreciendo en dirección oeste-este explicado por la influencia oceánica en las estaciones más occidentales, y la influencia de las descargas de agua dulce por parte de los ríos y deshielos a medida que las estaciones de muestreo están más cerca de la parte continental.

En este sentido, la Figura 5.1 muestra los registros máximos en los niveles de VPM para cada una de las tres regiones administrativas. Para cada uno de los años de estudio, los menores niveles de toxinas están asociados a la región de Los Lagos y los mayores en la región de Magallanes. En Los Lagos la presencia de VPM es esporádica sin detección de ésta a partir del año 2010 y estuvo restringida a la zona de Chiloé Sur, con los niveles máximos registrados en el año 2009 en la localidad de Isla Guapikilán. En la región de Aysén la presencia de VPM es constante a lo largo del periodo de estudio, con los máximos niveles detectados el año 2009 en Puerto Lampazo (A39), además, se observó una alta variabilidad en las localidades asociadas a los máximos niveles de VPM para cada año. En la región de Magallanes la presencia de VPM es constante para todo periodo de estudio, en ella se registraron los niveles máximos para las tres regiones durante el año 2009 asociado a la localidad de Bahía Mussel. A diferencia de lo observado en la región de Aysén, en Magallanes los máximos niveles de VPM son registrados recurrentemente en la zona de Magallanes Centro (isla Piazzzi, M16) y en menor medida en Magallanes sur (bahía Cordes, M32).

La Figura 5.2 muestran los periodos del año con un mayor riesgo de incremento de densidad u ocurrencia de floración de *Alexandrium catenella*. De esta figura se desprende que la posibilidad de ocurrencia de floración en las regiones de los Lagos y Aysén son similares y están asociadas a los meses de verano (PM, barras rojas en Figura 5.2), donde la mayor probabilidad (PA, cajas negras en Figura 5.2) ocurre en enero y febrero para los Lagos, febrero y marzo para Aysén norte y enero - marzo para Aysén Sur. Para cada región se observaron diferencias entre los meses del año donde la floración de *A. catenella* tendría una baja o escasa posibilidad de ocurrir (PB, cajas rojas punteadas en Figura 5.2), septiembre y octubre para los Lagos y octubre y noviembre para Aysén. Un patrón estacional distinto fue observado para la región de Magallanes y cada una de sus zonas, donde para la zona norte la mayor posibilidad de ocurrencia está separada en dos periodos octubre- diciembre y abril junio, a diferencia de las zonas centro y sur, donde la mayor posibilidad de ocurrencia de floraciones estuvo asociada a los meses de primavera tardía (diciembre) y comienzos de veranos (enero).

Además, otro patrón estacional distinto fue observado en Tortel que en general muestra un comportamiento similar a lo que se observa en el área norte de Magallanes

No obstante los resultados generales, es muy importante señalar que se ha entregado una descripción preliminar, muy general, para zonas extensas con características muy diferentes entre ellas, además de variaciones locales dentro de cada región. Por lo tanto es más que pertinente continuar con análisis más finos para definir patrones generales, y delimitar zonas específicas que presenten patrones espacio - temporales similares, tanto dentro de cada región, como entre ellas.

5.4.1. ¿Existen configuraciones espacio temporales (“patterns”) del fitoplancton total en los fiordos y canales australes entre el estuario de Reloncaví y Canal Beagle?

Configuraciones espaciales

A partir del análisis de conglomerados se puede apreciar la conformación de 51 grupos de estaciones con un porcentaje promedio de similitud (SIMPROF) mayor a 40. El ordenamiento multidimensional (MDS) de las estaciones muestra de forma más clara la distribución de los 51 grupos resultantes, permitiendo separarlos para cada una de las tres regiones administrativas (Figura 5.4). Del total de grupos, 16 están en la región de Los Lagos, 25 en Aysén y 10 en Magallanes. De los 51 grupos el análisis segregó de forma independiente un total de 20 representados sólo por una estación (7 para Los Lagos, 11 para Aysén y 2 para Magallanes). Si restamos del análisis los grupos segregados independientemente, tenemos que los tres grupos con más estaciones agrupadas fueron para la zona de Quellón con 9 estaciones (círculo magenta oscuro, Figura 5.5) que representó un 5,7% del total de estaciones localizadas en la región de Los Lagos, la zona de Yacaf-Puyuhuapi con 8 estaciones (círculo rojo, Figura 5.5) que representó un 5,06% del total de estaciones localizadas en la región de Aysén y la zona Piazzzi-Isthmus con 8 estaciones (círculo azul, Figura 5.5) que representó un 5,06 % del total de estaciones localizadas en la región de Magallanes.

Cada uno de estos grupos se caracterizó por tener distintos taxones dominantes de la abundancia total, así, para Los Lagos el taxón dominante fue *Chaetoceros socialis* (12,8% abundancia total), para Aysén *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima* (13%) y para Magallanes *Chaetoceros debilis* (9%) (Tabla 4.7.1). Del análisis por regiones se observó que, para los 9 grupos de Los Lagos los taxones que dominaron numéricamente cada grupo (Tabla 4.7.1) fueron: 1) *Chaetoceros socialis* para la zona de Quellón (círculo magenta oscuro, Figura 5.5), Corcovado 1 (círculo azul oscuro, Figura 5.5) y Calbuco (rombo verde oscuro, Figura 5.5). 2) *Skeletonema* spp. para la zona del seno de Reloncaví (rombo agua, Figura 5.5) y fiordo de Reloncaví (rombo rosado, Figura 5.5). 3) *P. cf. pseudodelicatissima* para la zona de I. Desertoires (rombo oro, Figura 5.5) y Quemchi (estrella agua, Figura 5.5). Finalmente, 4) *Ch. debilis* para los grupos Corcovado 2 (estrella amarilla, Figura 5.5) y Dalcahue (triángulo plata, Figura 5.5). Para los 14 grupos de la región de Aysén se observó que los taxones dominantes en cada grupo (Tabla 4.7.1) fueron: 1) *Skeletonema* spp. para la zona de seno Aysén (círculo agua, Figura 5.5), Tortel (círculo verde claro, Figura 5.5), estero Pitipalena (rombo salmón, Figura 5.5), I. Meninea (estrella beige, Figura 5.5), canal Moraleda centro (estrella café, Figura

5.5), Aysén norte 2 (estrella naranja, Figura 5.5), canal Chacabuco (estrella roja, Figura 5.5) y Aysén norte 1 (triángulo negro, Figura 5.5). 2) *P. cf. pseudodelicatissima* para la zona Yacaf-Puyuhuapi (círculo rojo, Figura 5.5), y (rombo plata, Figura 5.5), I. Huichas (estrella magenta, Figura 5.5), Moraleda centro (estrella gris, Figura 5.5), Puyuhuapi interior (triángulo amarillo, Figura 5.5) y Moraleda centro (triángulo verde oscuro, Figura 5.5). Para los 8 grupos de la región de Magallanes se observó que los taxones dominantes en cada grupo (Tabla 5.1) fueron: 1) *Skeletonema* spp. para Magallanes norte (círculo verde oscuro, Figura 5.5), Magallanes norte 2 (círculo marrón, Figura 5.5) y estero de Las Montañas (triángulo azul oscuro, Figura 5.5). 2) *C. debilis* para Piazzzi-Isthmus (círculo azul, Figura 5.5), estrecho de Magallanes 1 (círculo violeta, Figura 5.5) y seno Otway (círculo amarillo, Figura 5.5). 3) *C. socialis* para canal Beagle (círculo naranja, Figura 5.5) ubicado al sur de Magallanes sur. Finalmente, el taxón 4) *Guinardia delicatula* para la zona del estrecho de Magallanes 2 (estrella gris, Figura 5.5). Del análisis de la composición fitoplanctónica de los 10 taxones que más contribuyen al total de la abundancia para cada conglomerado detallado anteriormente (Tabla 5.1), se aprecia que en todas las regiones el aporte de los 10 taxones sobrepasó el 50% de la abundancia total. Cuando se analizan los ranking de los primeros 15 taxas dominantes para cada uno de los grupos segregados se evidenciaron correlaciones no significativas de Kendall (W) para el periodo de estudio, lo que implica que se acepta la hipótesis nula que indica que existe una independencia de las especies dominantes para cada uno de los grupos segregados por el análisis de conglomerados. Un complemento de esta información se aprecia en la en la Tabla 5.2, que muestra para cada región las diferencias entre los taxones más importantes en términos de contribución (escalafón de abundancia) y composición (presencia/ausencia).

Desde el punto de vista cuantitativo, sólo una pequeña fracción de especies nocivas integra el ensamble de micro-fitoplancton. Las menores contribuciones la realizan los dinoflagelados (*A. catenella*, *A. ostenfeldii*, *D. acuta*, *D. acuminata* y *P. reticulatum*), con rangos entre los 0,0006 (Los Lagos) a los 3,55% (Aysén) del fitoplancton total. En cambio, diatomeas potencialmente nocivas, del género *Pseudo-nitzschia* (*P. cf. pseudodelicatissima* y *P. cf. australis*), constituyen hasta el 38,48% del ensamble. En la región de Aysén, el porcentaje de contribución de estas especies en conjunto alcanza rangos entre los 34,60 a 38,15% (Yacaf-Puyuhuapi, canal Moraleda norte y sur e I. Huichas) (Figura 5.7).

Descripción de los ensambles fitoplanctónicos por sector geográfico

Fiordo de Reloncaví: Tanto las estaciones de muestreo que segregaron de manera conjunta como aquellas estaciones que se separaron de manera independiente, pero que se encuentran cerca del ensamble, entre las que cuentan Cochamó (L02N2) y Pocolhuén (L02N4), exhiben un patrón común: dominancia numérica de *Skeletonema* spp., las cuáles son especies cosmopolitas. Las estaciones ubicadas en la cabeza del fiordo, (Cochamó (L02N2) y Pocolhuén (L02N4); Figura 5.9), la contribución es cercana al 90% del fitoplancton total, con una muy baja contribución de otras especies. Tanto el grupo de estaciones como los sitios que segregaron independientes (en un sector con régimen estuarino), presentan especies en común, tales como *Thalassionema nitzschiodes* y *Rhizosolenia*

setigera. Además, se observan especies de hábitat limnético, como *Pleurosigma directum* (L02N2) y *Diploneis* spp (L02N4). En el conjunto de estaciones, es posible encontrar a *P. cf. pseudodelicatissima*, especie potencialmente tóxica.

Calbuco: Entre las especies que componen el ensamble de fitoplancton en la zona de Calbuco (L04, L04N2, L04N3 y L04N4), *Eucampia zodiacus* es la especie que más contribuye en este conglomerado (Figura 5.9b) llegando a representar un 25% de la contribución al ensamble. A diferencia de las estaciones segregadas individualmente Hueihue (L06) la cual presento a *Chaetoceros sociales* como la especie que más contribuye a la similitud. Tanto el ensamble como la estación de Hueihue (L06) presentan especies en común, tales como *Ch. debilis*, *Ch. socialis*, *E. zodiacus*, *L. minimus*, *P. cf. pseudodelicatissima*, *Pseudonitzschia* spp., *R. setigera* y *Skeletonema* spp., sin embargo, estas presentan un distinto grado de importancia en el ensamble. De las especies tóxicas o potencialmente tóxicas, *P. cf. pseudodelicatissima* alcanza hasta un 12% de la contribución y *Dinophysis acuminata* aporta sólo un 0,005%. Por otra parte, creemos que la estación Quetalmahue (L05) ha segregado de forma independiente dado que es la estación más oceánica del sector de Chiloé norte, encontrando a *Skeletonema* spp. como el género que más contribuye a la similitud del ensamble (34,88 %). La contribución de especies nocivas es baja, representadas por *P. cf. pseudodelicatissima* (1,3%) y *D. acuminata* (0,01%) (Figura 5.9b).

Quemchi: El conglomerado estuvo compuesto por las estaciones L07, L08 y L09 y presento al género de *Skeletonema* spp., como contribuyente mayoritario en el ensamble de fitoplancton, con un 12,30% (Figura 5.9c). En el lado oriental de Chiloé centro, Ayacará (L10), estación segregada de forma individual cercana al conglomerado, las especies que más contribuyen al ensamble fitoplanctónico es *Pseudo-nitzschia* spp, con un 52,94%; *Skeletonema* spp., disminuye su contribución a un 2,89 %. Si bien este conglomerado como ésta estación segregada, presentan especies en común (*Ch. constrictus*, *Ch. debilis*, *Ch. socialis*, *E. zodiacus*, *R. setigera*, *Skeletonema* spp., *P. cf. australis*, *P. cf. pseudodelicatissima* y *T. anguste-lineata*), todas presentan un grado de importancia distinto en el ensamble (Figura 5.9c). En Ayacará (L10), es posible observar otras especies de régimen estuarino, tales como *Licmophora* spp., y *Thalassionema nitzschioides*. En ambos casos, la contribución de especies nocivas está representada mayoritariamente por *P. cf. pseudodelicatissima* (conglomerado: 11,42%; L10: 6,99%) y *P. cf. australis* (conglomerado: 1,33%; L10: 0,10%).

Quellón: (ver conglomerado en Figura 5.5 a,b). *Ch. socialis* contribuye mayormente a la similitud de este ensamble con un 12,76% (Figura 5.10a). Al SW del golfo de Corcovado, estaciones cercanas entre sí (Auchemó, L17 y estero Palvidad, L17N1), presentaron diferencias con respecto a la especie que más contribuye a la similitud del ensamble, siendo *Eucampia zodiacus* (26,54%) y *Chaetoceros radicans* (21,66%) respectivamente. De las especies nocivas, quienes más contribuyen son las diatomeas *P. cf. pseudodelicatissima* (2,20% (conglomerado); 5,88% (L17) y 8,60% (L17N1)), seguida de *P. cf. australis* (1,75% (conglomerado); 0,41% (L17) y 0,43% (L17N1)) (Figura 5.10a).

Aysén norte 1: (ver conglomerado en Figura 5.5 a,b). Las especies que más contribuyen son *Skeletonema* spp (12,81%), *Ch. debilis* (7,67%) y *E. zodiacus* (5,51%) (Figura 5.10b). Estaciones cercanas a este conglomerado, pero disgregadas de él, como son Repollal (A02), *E. zodiacus* contribuye en un 22,33%, seguida por *Ch. sociales* con un 17,69% y *Skeletonema* spp (14,59%). Por otra parte, en isla Julia (A04), tres especies constituyen más del 50% de la población. *Skeletonema* spp., aporta con un 34,24%, seguida de *Pseudonitzschia* spp (10,61%) y *P. cf. pseudodelicatissima* (9,96%). Tanto en el conglomerado de Aysén norte 1, como en las estaciones solitarias (A02 y A04), las especies nocivas que más contribuyen son *P. cf. pseudodelicatissima* (conglomerado: 5,26%; A02: 2,03%; A04: 9,96%) y *P. cf. australis* (conglomerado: 2,89%; A02: 1,15%; A04: 2,47%) (Figura 5.10b).

Aysén norte 2: (ver conglomerado en Figura 5.5 a,b) Las especies que más contribuyen a la similitud del ensamble son *Skeletonema* spp., (11,31%), *E. zodiacus* (7,92%) y *Ch. socialis* (5,08%) (Figura 5.10c). En Puerto Barrientos (A03), la especie que contribuye mayoritariamente, es *Skeletonema* spp (38,30%), seguida por *E. zodiacus* (16,13%) y *Ch. sociales* (14,66%) (Figura 5.10c)., observando de esta manera, una diferencia en la contribución de estas especies al ensamble. Una de las diferencias de puerto Barrientos (A03), es la importante contribución de *A. catenella* al ensamble con un 9,82%, muy superior a la presentada en el conglomerado de Aysén norte 2 con sólo un 0,82% de contribución (Figura 5.10c).

Estero Pitipalena: La estación segregada individualmente de Laja Brazo Pillán (A06) se caracterizó por tener a *Skeletonema* spp, como la especie que más contribuyó a la similitud del ensamble (51,74%). Si bien el conglomerado más cercano, el cual involucro a las estaciones isla Virginia – bahía Low (A01) y Canal (A07), presentan a *Skeletonema* spp liderando las contribuciones (Figura 5.11a), este disminuye a un 12,81%. Por otra parte, en Laja Brazo Pillán se pueden observar especies de régimen estuarino (en el marco de las especies con más importancia de contribución cuantitativa, tal como *Rhizosolenia setigera* (5,58%), *Licmophora abbreviata* (1,06%) y *Thalassionema nitzschiodes* (1,03%). De las especies potencialmente nocivas, *P. cf. pseudodelicatissima* es la que más aporta (4,79% y 4,08% respectivamente). Por otra parte, la estación segregada individualmente de Repollal-E. Las Islas (A08), localizada en el mismo sector, presenta a *Skeletonema* spp liderando la contribución con un 24,68%, pero el aporte de *P. cf. pseudodelicatissima* alcanza hasta un 23,55%, seguido por *P. cf. australis* (1,67%), *D. acuminata* (0,01%), *P. reticulatum* (0,002%) y *A. ostenfeldii* (0,0015%). *A. catenella* y *D. acuta* no presentaron registros (Figura 5.11a).

Estero Elefantes: (ver conglomerado en Figura 5.5 a,b). Las especies que más contribuyen son *Skeletonema* spp. con un 13,97%, *P. cf. pseudodelicatissima* con un 7,6% y *E. zodiacus* con un 5,84% (Figura 5.11b). La estación segregada individualmente de Pto. Bonito (A29), mantiene a *Skeletonema* spp. como la especie dominante, pero con una contribución que alcanza el 61,67%, seguida por *E. zodiacus* con un 6,60% y *P. cf. pseudodelicatissima* con un 6,51%. En cuanto a las especies nocivas, su contribución está determinada principalmente por *P. cf. pseudodelicatissima* (Conglomerado: 7,6%; A29: 6,51%) y *P. cf. australis* (Conglomerado: 4,25%; A29: 3,65%), seguidas por *A. catenella* (Conglomerado: 1,65%; A29: 0,25%), *D. acuminata* (Conglomerado: 0,37%; A29: 0,028%) (Figura 5.11b).

Canal Moraleda 1: (ver conglomerado en Figura 5.5 a,b). Como en canales interiores de Aysén norte (isla Jesús, A38N1), se observa un ensamble distinto a los descritos para zonas más septentrionales de Aysén. Si bien las especies con mayor contribución al ensamble son muy similares entre el conglomerado y la estación segregada, la importancia dentro del ensamble es distinta. De esta manera, en el conglomerado, *P. cf. pseudodelicatissima* aporta con 9,31% de contribución a la similitud, seguida por *Asterionellopsis glacialis* con un 6,7% y *Skeletonema* spp con un 7,41% (Figura 5.11c). En Isla Jesús (A38N1), *P. cf. pseudodelicatissima* aporta con un mayor porcentaje a esta contribución (22,09%), seguida por *A. glacialis* (14,4%), y *E. zodiacus* desplaza a *Skeletonema* spp con un 7,96%. De las especies nocivas, *P. cf. pseudodelicatissima* es quien más contribuye con un 9,31% (conglomerado) y un 22,09% (A38N1), seguida por *P. cf. australis* con un 5,6% (conglomerado) y un 7,40% (A38N1). Con respecto a los dinoflagelados nocivos, quienes más contribuyen son *A. catenella*, con un 2,26% (conglomerado) y un 2,23% en isla Jesús (A38N1), seguida por *D. acuminata* (0,47 y 0,059% respectivamente). (Figura 5.11c)

Isla Meninea: (ver conglomerado en Figura 5.5 a,b). este conglomerado y las estaciones segregadas más cercanas (isla Palumbo, A48 y canal Vicuña, A51), presentan al género *Skeletonema* spp. como el que más contribuye a la similitud del ensamble (9,55%, 14,71% y 19,08% respectivamente) (Figura 5.12a). Sin embargo, otras especies de fitoplancton muestran distintos grados de importancia (en términos de contribución) dentro del ensamble (Figura 5.12a). Con respecto a las especies nocivas, *P. cf. pseudodelicatissima* es quien presenta una mayor importancia (11,53%, A48; 9,44%, A51) junto a *P. cf. australis* (2,45%, A48; 2,48%, A51). De los dinoflagelados nocivos, quien más contribuye a la similitud es *A. catenella*, con un 0,97 y 0,95% respectivamente. Al sur de canal Moraleda, Isla Palumbo (A48), *Skeletonema* spp., es el género que más contribuye (14,71%), seguida por *Ch. debilis* (13,67%) y *P. cf. pseudodelicatissima* (11,53%). Las especies nocivas aportan 15%, siendo el mayor el de las especies de *Pseudo-nitzschia* (*P. cf. pseudodelicatissima* 11,53% y *P. cf. australis* 2,45%), seguido por *A. catenella* (0,97%), *D. acuminata* (0,02%), *P. reticulatum* (0,01%), *D. acuta* (0,002) y *A. ostenfeldii* (0,0015%) (Figura 5.12a).

Tortel: Se observa que el conglomerado de estaciones (Figura 5.5 a,b), presenta como especie con mayor contribución a *Skeletonema* spp., con un 17,56% de contribución, al igual que en Islote Porvenir (A62), estación ubicada al SW de caleta Tortel, pero con una contribución del 30,42% (Figura 5.12b). Sin embargo, si bien presentan especies en común, sus contribuciones varían dentro del ensamble, pudiendo citar a *Ch. radicans* (conglomerado: 8,06%; A62: 3,68%), *P. cf. pseudodelicatissima* (conglomerado: 6,54%; A62: 9,37%) y *P. cf. australis* (conglomerado: 2,87%; A62: 9,87%) (Figura 5.12b). La contribución de los dinoflagelados nocivos se mantiene bajo el 1%, siendo *A. catenella* quien más contribuye a la similitud con un 0,47% en el conglomerado. En i. Porvenir (A62), no se presentaron registros.

Magallanes norte 2: (ver conglomerado de estaciones en Figura 5.5 a,b). Éste conglomerado y en la Isla Topar (M11), presentan a *Skeletonema* spp., como el género que más contribuye a la similitud del

ensamble, con contribuciones para el conglomerado de un 9,82% y para isla Topar de un 33,55% (Figura 5.12c). Como en los casos anteriores, dentro del ensamble de fitoplancton presentan especies en común, pero sus contribuciones varían como el caso de *L. minimus*, *Ch. debilis* y *Ch. radicans* (Figura 5.12). En isla Topar (M11), la contribución de especies nocivas alcanzó sólo el 5,91%, con *P. cf. australis* (3,11%), *P. cf. pseudodelicatissima* (2,79%), *A. catenella* (0,03%) y *D. acuminata* (0,009%), no presentando registros *A. ostenfeldii*, *D. acuta* y *P. reticulatum* (Figura 5.12c).

Configuraciones Temporales

En la región de Los Lagos, y en base a la contribución de las especies con las mayores similitudes del ensamble, se observa una diferencia estacional en todos los sectores de la región de Los Lagos (Figura 5.8). Sin embargo, esta diferencia no es tan marcada en la zona del estuario y seno de Reloncaví, ya que no se observa una caída abrupta en el periodo de otoño-invierno, con valores mínimos de 17,95 y 20,15% en otoño y máximos de 20,15 y 25,01% en primavera. Las mayores contribuciones se encontraron preferentemente en época de primavera (octubre-diciembre) para las zonas de fiordo de Reloncaví (26,28%), seno de Reloncaví (25,01%), Calbuco (39,53%), Quemchi (32,67%), Desertores (35,1%), Dalcahue (49,33%) y Corcovado (42,31%). Para Quellón, este máximo se presentó en época de verano con una contribución del 42,17%. Por otra parte, las menores contribuciones fueron observadas en época de otoño para todas las zonas de esta región (Figura 5.8).

En la región de Aysén, se observa un comportamiento distinto, ya que las mayores contribuciones se centraron en época de verano (enero-marzo) en las zonas de Aysén norte (34,58%), estero Pitipalena (42,22%), isla Huichas (29,14%), Moraleda centro 2 (39,64%), seno Aysén (34,46%), isla Meninea (37,78%), estero Elefantes (37,7%) y canal Chacabuco (37,42%). Solamente en la zona de los canales Yacaf-Puyuhuapi, Moraleda centro y Tortel, las mayores contribuciones se presentaron en primavera con contribuciones de un 28,37, 32,56 y 32,54% respectivamente. Sólo en las zonas de Aysén norte 2 y Tortel, las menores concentraciones se presentaron en época de otoño (8,89 y 12,12% respectivamente). Para las otras zonas restantes de esta región, las menores contribuciones se centraron en época de invierno con rangos entre los 4,78 a 12,1%. (Figura 5.8).

Para la región de Magallanes, se observa un comportamiento muy similar a la observada en la región de Los Lagos, presentando para todas las zonas de esta región, los máximos porcentajes de contribución en época de primavera (octubre-diciembre) y los menores porcentajes de contribución en época de otoño (abril-junio). De esta manera, en la zona de Magallanes norte (desde isla Morton a isla Crossover), los rangos fluctuaron entre los 4,48 a 32,45 % ; para Magallanes norte 2 (desde estero Falcón a estero Ringdove), rangos entre los 5,37 a los 30,89%; en la zona de isla Piazzini-bahía Isthmus, rangos entre los 7,33% a 41,19%; seno Otway con rangos entre los 4,32% a 42,01%; en la zona orientada de norte a sur del estrecho de Magallanes, rangos entre los 1,94 a 46,86% ; en la orientación este-oeste del estrecho de Magallanes, rangos entre los 10,96 a 50,02% y finalmente, en canal Beagle, rangos entre los 1,36 a 44,15%.

Variación temporal del ensamble de fitoplancton en distintas zonas geográficas.

Los ensambles de micro-fitoplancton presentes en canales y fiordos (entre estuario de Reloncaví y Canal Beagle), presentan diferencias en los taxa que contribuyen mayoritariamente a la similitud del ensamble, incorporando además un patrón espacial (Tabla 5.3).

En verano (enero-marzo), los taxa que más contribuyen a la similitud del ensamble de fitoplancton corresponden a *Skeletonema* spp. *Chaetoceros debilis*, *Ch. socialis*, *Eucampia zodiacus*, *Leptocylindrus minimus* y *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima*, y que varían entre zonas geográficas. *Skeletonema* spp., se encuentra preferentemente en la zona del estuario, Aysén norte y sur y Magallanes norte con contribuciones entre 4,28 y 13,72% respectivamente. En Chiloé norte (Calbuco), se encuentra *Chaetoceros socialis* (6,97%), y en general, para las zonas de Chiloé centro (Quemchi, Desertores y Dalcahue) y Aysén centro (desde Yacaf a canal Moraleda) a *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima* con contribuciones entre 3,07 y 7,93% respectivamente (Tabla 5.3).

En otoño (abril-junio), hay diferencias tanto en los taxa que contribuyen a la similitud del ensamble de fitoplancton, como a la importancia de estas contribuciones. De esta forma, se encuentra nuevamente *Skeletonema* spp., *Ch. socialis*, *E. zodiacus* y *L. minimus* como taxa importantes de estos ensambles, añadiendo a este grupo a *Navicula* sp., *Thalassionema nitzschioides* y *Fragilaria* spp. *Navicula* spp. desplaza a *Skeletonema* spp. en zona del estuario y a *P. cf. pseudodelicatissima* en toda la zona de Chiloé centro (Quemchi a Dalcahue). En Aysén centro y sur (Yacaf a Tortel), se mantiene la importancia de *P. cf. pseudodelicatissima*, por la contribución a la similitud del ensamble en este sector. En la región de Magallanes, solamente en el área norte se mantiene a *Skeletonema* spp. como la especie que más contribuye a la similitud del ensamble. Sin embargo, desde Magallanes norte 2 (desde estero Falcón) a canal Beagle, se observa un recambio en la especie que más alta contribución presenta en el ensamble. (Tabla 5.3).

En invierno (julio-septiembre), de las especies ya citadas, se suman *Rhizosolenia setigera*, *Chaetoceros didymus* y *Thalassiosira cf. minuscula*. Uno de los recambios en cuanto a la especie con mayor contribución, es en la zona del estuario de Reloncaví, donde *R. setigera* desplaza a *Skeletonema* spp. con la mayor contribución. Se mantiene *Ch. debilis* en Calbuco, pero en Chiloé centro (Quemchi, Desertores y Dalcahue), se observa nuevamente un cambio en las especies que más contribuyen a la similitud del ensamble, siendo muy similar a verano, con *Skeletonema* spp., *P. cf. pseudodelicatissima* y *Ch. debilis* con las mayores contribuciones. Aysén norte, centro y sur, presentan de manera muy constante a *Skeletonema* spp. como la especie con mayor contribución, caso contrario a la región de Magallanes, donde la alternancia de estas especies se presenta en toda la región, con excepción de Magallanes norte (Tabla 5.3).

En primavera (octubre-diciembre), se encuentra nuevamente *Skeletonema* spp. dominando en el sector del estuario de Reloncaví. En Chiloé norte (Calbuco), se mantiene *Ch. socialis*, y en Chiloé centro se observa un recambio en el taxon de importancia en todas los sectores que lo conforman (Quemchi, Desertores y Dalcahue). En Aysén sur, se presenta *Asterionellopsis glacialis* (I. Meninea),

como taxon de mayor contribución, manteniendo en todas las otras zonas a *Skeletonema* spp como la especie que más contribuye a la similitud. En la región de Magallanes, nuevamente, se observa un recambio en las especies para todas las zonas, no siendo posible caracterizar a ningún sector con un taxa determinado. (Tabla 5.3).

En general, de las especies de fitoplancton nocivas, las diatomeas *P. cf. pseudodelicatissima* y *P. cf. australis*, se presentan con altas contribuciones a la similitud del ensamble, pero los dinoflagelados nocivos como *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuta*, *D. acuminata* y *Protoceratium reticulatum*, contribuyen en porcentajes muy bajos.

Para observar con mayor detalle el cambio que presentan las especies de fitoplancton, en su porcentaje de contribución a la similitud del ensamble de fitoplancton, se grafican las 15 especies con mayores contribuciones en la región de Los Lagos (Figuras 5.13 – 5.19), Aysén (Figuras 5.20 – 5.32) y Magallanes (Figuras 5.33 – 5.39).

5.4.2. ¿De existir estas configuraciones espacio temporales, como se relacionan con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?

En el Anexo 5.2 se presenta un conjunto de representaciones gráficas (Figuras 5.2.1 a 5.2.30c) que entregan una visión general del comportamiento estacional para los promedios mensuales en el periodo entre marzo 2006 y febrero 2014 de 30 estaciones de muestreo que fueron seleccionadas como representativas para las diferentes zonas de monitoreo definidas en relación al análisis de conglomerados (CLUSTER) del fitoplancton cuantitativo total, en la cual se presentan los datos de abundancia de fitoplancton total (cel L⁻¹), abundancia relativa y abundancia numérica (cel L⁻¹) de las diferentes especies tóxicas además de las toxinas asociadas a estas especies. En las figuras nombradas con la letra a, se muestran las especies *A. catenella* y *A. ostenfeldii*, los gráficos con letra b a las especies, *D. acuminata*, *D. acuta* y *P. reticulatum*, mientras que los con letra c a las especies *P. cf. pseudodelicatissima* y *P. cf. australis*.

Cada especie de fitoplancton nocivo, presenta una particular configuración espacio-temporal. Algunas de ellas, como *D. acuminata*, *P. cf. pseudodelicatissima* y *P. cf. australis* se encuentran desde el sector del estuario de Reloncaví hasta las estaciones más australes de Magallanes. En cambio, otras como *A. catenella*, poseen una distribución espacial a partir de estaciones situadas en el sector centro-sur de Chiloé hasta el canal Beagle. *A. ostenfeldii* y *D. acuta*, presentan en común una contribución numérica baja en las tres regiones y además, una acotada presencia temporal en la región de Los Lagos. *P. reticulatum* difiere un poco de las otras especies, ya que se concentra mayoritariamente en la región de Aysén, donde se presenta durante todo el año y con abundancias que en ocasiones han alcanzado hasta las 3000 cel L⁻¹. Pese a todo, la contribución de todas las especies tóxicas es baja, siendo *A. catenella* (dentro de los dinoflagelados tóxicos) el que posee mayor importancia cuantitativa.

Las figuras (5.2.1a al 5.2.30a) muestran el promedio mensual de la abundancia del fitoplancton total y la variación mensual de *A. catenella* en términos de abundancia relativa y abundancia numérica (cel

L⁻¹). *A. catenella* se encuentra desde Chiloé centro-sur hasta el Canal Beagle, pero difiere tanto en su abundancia como en su distribución temporal. En general, *A. catenella* no registra presencia importante en la zona norte y centro de Los Lagos (Figuras 5.2.1a, 5.2.8a), solo es posible encontrar registros durante primavera-verano en la zona sur de Chiloé, con abundancias promedio del orden de 1000 cel L⁻¹ (Figura 5.2.10a), a la vez que no se aprecia gráficamente una relación con la variación de la abundancia del fitoplancton total. En la región de Aysén como en el área norte de Magallanes, esta especie presenta continuidad en el tiempo. Las abundancias encontradas son mayores, alcanzando máximos promedio de hasta 90000 cel L⁻¹ durante primavera-verano y abundancias relativas que en algunos casos superan el nivel 5 (Figuras 5.2.12a al 5.2.22a). Sin embargo hay que tener precaución con estos datos, ya que podrían estar incrementados por el inusual florecimiento de esta especie registrado en el verano de 2009. En la zona centro-sur de Magallanes, se encuentran sectores en que existen periodos en que no se ha registrado la presencia de este dinoflagelado, pero en general, es un sector que alcanza concentraciones de hasta 3000 cel L⁻¹. Para ambos casos, las gráficas muestran una clara correspondencia entre las variaciones estacionales de las abundancias del fitoplancton y las de *A. catenella*, mostrando en algunos casos un pequeño desfase entre los máximos de abundancia del fitoplancton y los máximos de abundancia de la micro-alga.

Existen registros en todos los periodos del año para *A. ostenfeldii*, sin embargo se pudo observar una pequeña diferencia en su distribución espacial. Para la región de Los Lagos, este dinoflagelado se presenta en invierno tardío y comienzos de primavera, en cambio para las regiones de Aysén y Magallanes, este dinoflagelado es posible encontrarlo a en la gran mayoría de los meses del año, salvo en el periodo de otoño tardío (junio) y todo invierno para esta última región. Sin embargo, en ninguna de las regiones presentó abundancias relativas promedio mayores al nivel 1, un resultado similar se aprecia al observar la abundancia numérica promedio de esta especie (ver figuras 5.1a al 5.30a). Debido a su baja abundancia, no se aprecia ninguna relación con las variaciones estacionales de la abundancia promedio del fitoplancton total.

D. acuminata, es una especie que presenta diferencias tanto en su abundancia, distribución temporal y espacial. Temporalmente, está presente todo el año en la región de Los Lagos, Aysén y Magallanes norte, con abundancias más altas en la zona de norte de Los Lagos, especialmente en las zonas comprendidas del Fiordo y Seno de Reloncaví (Figuras 5.1a, 5.2a) con abundancias relativas que alcanzan el nivel 6 en verano para ir disminuyendo a medida que se avanza latitudinalmente. La zona de Magallanes centro y sur, esta especie presenta registros bajos o nulos durante los meses de otoño tardío (junio) e invierno, pero tiene una clara estacionalidad aumentando hacia primavera verano, pero con valores de abundancia relativa promedio que no superan el nivel 3 (Figuras 5.2.12b al 5.2.22b). Las mayores abundancias promedio en la región de Los Lagos y Aysén se presentan entre primavera-verano. En Aysén, disminuye su contribución numérica entre abril y septiembre pero en general presenta niveles y estacionalidad similares a las presentadas en Magallanes con bajas abundancias promedio que no superan las 600 cel L⁻¹ (Figuras 5.2.23b al 5.2.30b). En general esta especie se encuentra presente en las tres regiones siguiendo un claro patrón estacional con aumentos en su abundancia en los meses de verano. En cuanto a su relación con el fitoplancton cuantitativo, parece tener una buena correspondencia en la variación estacional en la mayoría de las zonas de estudio.

D. acuta, se encuentra distribuida mayoritariamente en la región de Aysén, con presencia durante todo el año pero de manera discontinua, no apreciándose un patrón temporal claro en su abundancia numérica, al igual que al observar su abundancia relativa, que presenta niveles bajos y poca variación durante el año (Figuras 5.2.12b al 5.2.22b). En la región de Los Lagos, tanto la distribución espacial como temporal es muy baja, concentrando rangos promedio entre los 0.6 a 30 cel L⁻¹ y en cuanto a su abundancia relativa no pasa del nivel 1 (Figuras 5.2.1b al 5.2.11b). En la zona norte de Magallanes, solo se encuentran registros en el mes de marzo, en cambio, para la zona centro, es posible encontrar registros durante los meses de verano hasta mediados de otoño (mayo), no encontrando a esta especie en la parte sur de la región (Figuras 5.2.23b al 5.2.30b). En general, este dinoflagelado, es una especie con una distribución espacial más acotada y con abundancias promedio bajas (<10 cel L⁻¹). Con respecto a su variación tanto en abundancias como estacional, no se aprecia ninguna correspondencia con la variación del fitoplancton total en ninguna de las regiones.

P. reticulatum, se encuentra en bajas abundancias en la región de Los Lagos y Magallanes, con rangos promedio entre los 0 a 30 cel L⁻¹ y abundancia relativa que no superan el nivel 1 (Figuras 5.2.1b al 5.2.11b). En cambio, para la región de Aysén se han registrado abundancias de hasta 3000 cel L⁻¹ y niveles de abundancia relativa promedio que en verano varían entre los niveles 3 y 5. En cuanto a su distribución temporal para el sector del estuario y seno de Reloncaví, es posible encontrar a esta especie durante verano (enero, febrero y marzo) y otoño temprano (abril) (Figuras 5.2.1b y 5.2.2b). Para la zona centro de Chiloé (Figuras 5.2.4b al 5.2.8b) no se encuentran registros y para la zona sur de la región, sólo hay un registro durante diciembre. En la región de Aysén (tanto norte y sur), posee una amplia distribución temporal, pero de manera discontinua, sin embargo en esta región posee las abundancias más altas con respecto a las otros sectores de estudio (Figuras 5.2.12b al 5.2.22b). En la región de Magallanes, las abundancias registradas se encuentran entre los meses de primavera hasta principios de otoño (abril), disminuyendo estos registros sólo en los meses de primavera tardía (diciembre) e inicio del verano (enero) en la parte centro y desapareciendo del área sur de la región (Figuras 5.2.23b al 5.2.30b). Debido a su escasa presencia en las regiones de Los Lagos y Magallanes, no se aprecia ninguna relación con la variación del fitoplancton total. La región de Aysén, presenta dos casos distintos en cuanto a esta relación. Mientras que la abundancia relativa varía en concordancia con los valores de abundancia y la estacionalidad del fitoplancton total, en términos de la abundancia numérica (cel L⁻¹) no se aprecia una correlación entre ellas.

Las diatomeas *P. cf. pseudodelicatissima* y *P. cf. australis*, presentan una amplia distribución espacial, con registros durante todo el año y de manera continua en las tres regiones de estudio. Sin embargo, su abundancia se encuentra condicionada por la temporalidad, siendo en primavera-verano, los mayores registros de abundancia, disminuyendo en otoño-invierno. Al observar los gráficos de las abundancias, estas dos micro-algas presentan la relación más clara con respecto al fitoplancton total, tanto en las abundancias como en el patrón estacional (ver figuras 5.2.1c al 5.2.30c).

En el caso del análisis de correlación, se optó por realizar este mediante el análisis realizado por especies y no con el conglomerado derivado del análisis del fitoplancton total debido al bajo porcentaje

de contribución que representan las algas nocivas respecto del micro-fitoplancton total (con la excepción de *P. cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*), (ver resultados pregunta 1.1, Figura 5.7). Los gráficos de los conglomerados y los resultados de los análisis de correlación se presentan en las figuras 5.40 a la 5.53.

En cuanto a los resultados, el análisis general muestra una correlación positiva entre la abundancia promedio del fitoplancton total y la abundancia relativa promedio de la mayoría de las especies nocivas, con excepción de *A. ostentfeldii*, la cual no presenta ninguna relación con los patrones de abundancia del fitoplancton total, tanto para el conjunto de los conglomerados segregados, como en el análisis por separado de cada uno de ellos (Figura 5.48). Sin embargo, y a pesar que la mayoría de las micro-alga nocivas muestra una relación positiva entre ambas variables, los resultados no siempre presentan una buena correlación, la cual varía en cada una de las especies. Al hacer el análisis por separado de cada uno de los conglomerados seleccionados para cada especie, no se observa un patrón claro, existiendo mucha variabilidad entre las diferentes zonas (que representa cada grupo derivado del análisis del conglomerados). Sobre el particular, si se puede apreciar, para los casos de cada una de las micro-algas nocivas, que todos los grupos seleccionados segregan individualmente, presentando diferentes tipos de correlaciones dependiendo del sector y la especie de micro-alga.

A pesar que el análisis general para los 5 grupos representativos de *A. catenella* (Figura 5.47a) presentó una correlación positiva relativamente baja entre las variables ($r^2=0.302$), esta fue altamente significativa ($p<0,0001$). Este resultado sugiere que al aumentar la abundancia de fitoplancton total, también aumenta la abundancia relativa de *A. catenella*, aunque con una correlación de grado medio. Sin embargo al hacer el análisis para cada uno de los conglomerados, no se aprecia este patrón característico, encontrándose correlaciones positivas sólo en dos de ellos (Figura 5.47. b, f) y correlaciones negativas (Figuras 5.47. d, e) para los grupos AC3 y AC5 que corresponden a conglomerados ubicados mayormente en las áreas de Magallanes norte y centro (Figura 5.40).

D. acuminata presenta un patrón similar al de *A. catenella*, mostrando una baja correlación entre las variables ($r^2=0.232$), pero altamente significativa ($p<0,0001$) (Figura 5.49a). Al igual que el caso anterior, no se puede establecer un patrón común para los diferentes conglomerados al hacer el análisis caso a caso. El análisis de regresión muestra 4 grupos con una correlación positiva significativa, pero que siguen explicando un bajo porcentaje de la variabilidad, siendo los grupos DA2 y DA6 (Figura 5.42) los mejores explicados ($r^2=0.36$) (Figura 5.49 c, g), sin embargo solo el primer grupo presenta valores significativos ($p<0.001$). Los dos grupos corresponden a sectores muy distantes y con características y muy distintas entre sí, encontrándose el primero en el sector sur de Chiloé y parte de Aysén Norte y el segundo en Magallanes centro (Seno Otway).

La mejor correlación se observó para *D. acuta* ($r^2=0.736$; $p<0,0001$) (Figura 5.50a), lo que indicaría que la abundancia de la micro-alga nociva podría estar ligada a la variabilidad del número de células del fitoplancton total, constituido principalmente por diatomeas. Al aplicar el análisis para cada conglomerado, se aprecia claramente que las correlaciones mejor representadas, explicando en ambos casos más del 50% de la variabilidad (Figura 5.50d, e), además los dos son los grupos que

presentan los niveles de abundancia relativa más altos correspondiente a los grupos DAC3 y DAC4 (Figura 5.43), lo que sugiere que esta especie tiene una alta concordancia con los cambios en el fitoplancton total (mayor abundancia de fitoplancton corresponden con la mayor abundancia del alga y viceversa), ambos conglomerados se ubican en la región de Aysén centro, más específicamente en los sectores de Canal Moraleda y Canal Jacaf-Puyuhuapi. Por el contrario los niveles de abundancia relativa más bajos presentaron regresiones negativas significativas o simplemente no se observó ningún tipo de relación.

Al hacer el análisis general para el alga *P. reticulatum*, se puede observar una correlación altamente significativa entre las variables ($r^2=0.605$; $p<0,0001$), (Figura 5.51a). Se pueden apreciar claramente dos conglomerados, el primero conformado por los 5 grupos que presentan abundancias relativas bajas ($< a$ nivel 1), mientras que los otros dos grupos presentan abundancias relativas entre los niveles 1 y 2. Sin embargo, al hacer el análisis por grupos solo uno presenta una correlación alta y significativa (Figura 5.51c; $p<0.005$), el cual corresponde al grupo PR2 ubicado en la zona del Canal Jacaf-Puyuhuapi (Figura 5.46), mientras que el resto, presenta una correlación negativa (no significativa) o no se aprecia correlación alguna (Fig. 5.51b, f).

En el caso de *P. cf. australis* el análisis general muestra un resultado diferente a los descritos anteriormente, ya que se observa una correlación baja entre la abundancia del fitoplancton total y la abundancia relativa del alga ($r^2=0.169$) (Figura 5.52a) por lo que aparentemente ambas tendrían una variabilidad conjunta de grado muy bajo, pero es altamente significativa ($p<0,0001$). Al tratar con más detalle y hacer el análisis por conglomerado se aprecian sólo correlaciones positivas significativas, salvo en el caso de los grupos X y x (Figura 5.52d, f). La alta correlación encontrada para los conglomerados PA1, PA2 y PA6 (Figura 5.45) explican entre un 59 y 76% de la variabilidad ($p<0,0001$) (Figura. 5.52, a, b y g). Sin embargo no existe un patrón claro, que pueda definir que exista una relación entre el aumento de la abundancia relativa y el aumento en la abundancia del total del fitoplancton numérico. Al mismo tiempo las zonas que presentan mejor correlación tienen características completamente diferentes, ubicándose cada una en una región y correspondiendo a las zonas de Chiloé centro-norte además de la zona del Seno de Reloncaví- Calbuco (PA1), Aysén norte - centro en los sectores del estero Pitipalena y canal Jacaf-Puyuhuapi (PA2) y por último, el grupo PA6 que corresponde al área de Magallanes sur, por lo que tampoco se podría establecer un patrón entre ellos.

Por el contrario, la abundancia relativa de *P. cf. pseudodelicatissima* presenta una correlación positiva alta y muy significativa ($r^2=0.63$, $p<0,0001$) cuando el análisis de regresión se aplica a todos los conglomerados (Figura 5.53a). Sin embargo al aplicar el mismo criterio de análisis pero por conglomerado solo en 2 de ellos (PP4 Aysén sur y PP6 Magallanes centro) (Figura 5.46) se observó una correlación significativa ($p<0.005$) (Fig. 5.53b y e).

5.4.3. ¿Cuáles son las variables biológicas, oceanográficas y meteorológicas que muestran una mayor correlación con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?

En el Anexo 5.2 se presentan las figuras, para las tres regiones de estudio, con el promedio anual ($\pm$ error estándar) de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y salinidad (psu) de la columna de agua a 5 metros de profundidad, obtenidos para cada una de las 158 estaciones de muestreo. Mientras que, en el Anexo 5.3 se presentan los registros de la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$), nubosidad (8vos), presión barométrica (mba), dirección (grados) y velocidad (m s^{-1}) del viento, obtenidos para cada una de las 32 estaciones representativas.

La Figura 5.54 muestra el gráfico de Draftsman elaborado a partir de los promedios anuales de las variables ambientales no transformadas. A partir de esta figura y de la matriz de correlaciones de Pearson (Tabla 1) se desprende que la variable temperatura del aire (Temp aire) presentó una correlación absoluta alta ($r = 0,87$; $p < 0,05$) con la variable temperatura de la columna de agua a 5 metros de profundidad (Temp. 5m).

Tras excluir los datos de la temperatura del aire, la matriz de datos ambientales fue normalizada, con lo que se procedió a un análisis de componentes principales (ACP; Figura 2). Este análisis se realizó con la finalidad de evaluar la variación de las seis variables ambientales seleccionadas y obtener grupos de estaciones con un comportamiento similar. Este análisis mostró que CP1 y CP2 dan cuenta del 78,9% de la varianza total (Tabla 5.6), representando CP1 un 51,2% de la varianza, la componente que explicaría la mayor diferenciación entre estaciones de muestreo, ya que casi todas las medidas covariaron mayormente con dicha componente principal, excepto las variables salinidad (5m) y velocidad del viento que lo hicieron con CP2 (Tabla 5.6). Lo anterior sugiere que CP1 se trataría de un eje principalmente meteorológico, definido positivamente por la nubosidad y la dirección del viento, mientras que, el segundo eje al estar definido de forma negativa por salinidad hace referencia a un gradiente de salinidad debido a los aportes de agua dulce de origen continental. La interpretación de estos dos ejes permite explicar las características ambientales en que se encuentran las estaciones muestreadas en cada uno de los cuadrantes de la Figura 5.55. Así en el cuadrante superior derecho se situarían las estaciones con alta nubosidad, baja temperatura y salinidad moderada, en el inferior derecho las estaciones con una alta nubosidad, baja temperatura y salinidad alta, en el inferior izquierdo las estaciones con alta temperatura, alta salinidad y baja nubosidad y en el superior izquierdo aquellas estaciones con baja salinidad, alta temperatura y baja nubosidad.

Con el fin de ayudar a definir los grupos de estaciones con rasgos ambientales similares se realizó un análisis de conglomerados utilizando la distancia euclidiana como índice de similitud sobre las variables ambientales seleccionadas para cada una de las 158 estaciones, a un nivel del 1%. El corte más ajustado permite definir 11 grupos de estaciones (Figura 5.56), los cuáles se han mapeado para facilitar su localización geográfica (Figura 5.57): el grupo k, compuesto por 30 estaciones ubicadas principalmente en la región de Los Lagos y cuatro estaciones del norte de Aysén (A02, A03, A04 y A05); el grupo f, compuesto por 2 estaciones ubicadas en la cabeza del fiordo Reloncaví en la región de los Lagos; el grupo j, compuesto por 42 estaciones ubicadas en su totalidad en la región de Aysén;

el grupo g, compuesto por 4 estaciones ubicadas en el centro del fiordo Reloncaví en la región de los Lagos; el grupo i, compuesto por 12 estaciones ubicadas principalmente en el sur de Chiloé más una estación (A01) ubicada en el norte de Aysén; el grupo h, compuesto por 3 estaciones distantes entre sí (A13 en la entrada del canal Jacaf y A31, A32 ubicadas en el sector sur del canal de Moraleda en Aysén sur); el grupo e, compuesto por 5 estaciones todas ellas en el sector del estero Pitipalena en el norte de la región de Aysén; el conglomerado a, compuesto por dos estaciones (M14 y M23) distantes entre sí y ubicadas en el sector norte región de Magallanes; el grupo b, compuesto por 2 estaciones ubicadas en el sector norte de Magallanes; el grupo c, compuesto por 7 estaciones ubicadas mayoritariamente en Tortel y finalmente el grupo d, compuesto por 43 estaciones todas ellas ubicadas en la región de Magallanes.

El análisis de ordenación por el método de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) permitió mostrar los resultados de la clasificación disponiendo las estaciones agrupadas en sus ensambles con un coeficiente de estrés de Kruskal de 0,1 (Figura 5.58). Los grupos fueron ubicados de derecha a izquierda, pudiéndose identificar a los grupos a y d de Magallanes ubicados a una mayor distancia (menor similitud) del resto de los grupos, además se aprecia la distancia de los grupos f, g y e ubicados en el fiordo de Reloncaví y estero Pitipalena con los grupos k y j ubicados en la región de Los Lagos y Aysén, respectivamente. El análisis de las similitudes, ANOSIM (Clarke & Gorley, 2006), arrojó diferencias significativas ($R_{\text{global}}=0,887$; $p=0,001$) en la composición de las variables ambientales, revelando que existen diferencias entre los pares de grupos, donde las menores distancia (mayor similitud) fueron observadas entre los grupos de estaciones i-k en los Lagos, k-j entre Los Lagos y Aysén y finalmente, entre las estaciones a-d de Magallanes (Tabla 5.7).

La ordenación de la abundancia relativa de las especies nocivas se llevó a cabo tanto por medio de un análisis de conglomerados representada en un dendrograma como por medio de un escalamiento no dimensional (nMDS). El primer análisis permitió definir 27 grupos de estaciones con un nivel de similitud superior al 70% (Figura 5.59), de estos grupos de estaciones dos segregaron en forma independiente. Los 27 grupos segregados fueron mapeados e identificados con un código de colores e iconos para facilitar su localización geográfica (Figuras 5.60, 5.61). El análisis de nMDS mostró los resultados de la clasificación disponiendo las estaciones en sus grupos con un coeficiente de estrés de Kruskal de 0,12 (Figura 5.62). Los grupos de estaciones fueron ubicados de derecha a izquierda, pudiéndose identificar a los grupos a y b de Magallanes ubicados a una mayor distancia (menor similitud) del resto de los grupos, además se aprecia la distancia del grupo c ubicado en el fiordo de Reloncaví con los otros grupos representativos de la regiones de Los Lagos y de Aysén. El análisis de las similitudes, ANOSIM, arrojó diferencias significativas ($R_{\text{global}}=0,952$; $p=0,001$) en la composición de la abundancia relativa de las especies nocivas, revelando que existen diferencias entre los pares de grupos (Tabla 5.8), donde las menores similitudes fueron observadas entre los grupos de estaciones aa-p en Los Lagos, j-i entre Los Lagos y Aysén y b-c entre Tortel y Magallanes.

Los resultados del análisis SIMPER indicaron que para todos los grupos de estaciones segregados, la similitud promedio fue mayor al 87%, donde el grupo con mayor similitud, entre sí fue el g., ubicado principalmente en los canales Jacaf y Puyuhuapi, con una similitud promedio de 97,4%. En contraste, el grupo con menor similitud fue el aa, conformado por estaciones de las tres regiones, con una similitud promedio de 87,7% (Tabla 5.9). En general, las diatomeas *Pseudo-nitzschia* cf. *pseudodelicatissima* (AB_PP) y *Pseudo-nitzschia* cf. *australis* (AB_PA) fueron las especies que más contribuyeron a la similitud de los grupos de estaciones con promedios de 24,1 y 21,5%, respectivamente. Debido a ello, las diferencias entre la mayor parte de los grupos segregados, está dada por una tercera especie con importancia a la contribución promedio a la similitud, este es el caso de los dinoflagelados *Dinophysis acuminata* (AB_DACUM) y *Alexandrium catenella* (AB_AC). Al respecto, el conjunto AB_PP, AB_PA y AB_DACUM da cuenta de una contribución promedio a la similitud del 68% para 10 de los 27 grupos segregados, que en su gran mayoría (6 grupos: x, o, y, z, n y m) se ubicaron en la región de Los Lagos, 3 grupos en Aysén (f, h y s) y un grupo (aa) con estaciones en las tres regiones (Figura 5.60). Mientras que, el conjunto AB_PP, AB_PA y AB_AC da cuenta de una contribución promedio a la similitud del 63% para 9 de los 27 grupos segregados, que en su gran mayoría (6 grupos: v, u, t, e, a y d) se ubicaron en la región de Magallanes y 3 grupos en Aysén (f, i y k) (Figura 5.60). Los otros grupos segregados tienen una configuración de especies nocivas distinta de la descrita anteriormente, así para el grupo g, con estaciones ubicados en el los canales Jacaf y fiordo Puyuhuapi (Figura 5.60), el conjunto AB_PP, AB_ACUM y *Protoceratium reticulatum* (AB_PR) dan cuenta del 55% de la contribución promedio a la similitud; para el grupo c, con estaciones ubicadas en el fiordo Reloncaví (Figura 5.60), el conjunto AB_ACUM, AB_PP y AB_PA da cuenta del 75% de la contribución promedio a la similitud, donde AB_ACUM contribuyó con un 33%; mientras que, para el grupo b ubicado en el Estrecho de Magallanes (Figura 5.60), el conjunto AB_AC, AB_PP y AB_PA da cuenta de un 63% de la contribución promedio a la similitud, donde AB_AC contribuyó con un 23%. En general, las especies *Alexandrium ostenfeldii* (AB_AO) y *Dinophysis acuta* (AB_DACUT) contribuyeron con promedios bajos (9 y 6%, respectivamente) a la similitud del total de los grupos segregados.

El procedimiento BEST mostró que la temperatura a 5 metros de profundidad, entre las variables ambientales, es la que mejor explica la ordenación de la abundancia relativa de las siete especies nocivas, presentando la mejor correlación entre las dos configuraciones. Este análisis mostró relaciones significativas ($p < 0,01$) entre las variables biológicas y las variables ambientales, sin embargo, los valores de los coeficientes de correlación de Spearman (ρ_s) fueron bajos. Si consideramos el valor de $\rho_s = 0,509$ resultante de la relación entre la abundancia relativa y la temperatura a 5 metros, tenemos que esta variable sólo explicaría un ~25% de la variabilidad de la abundancia relativa las especies nocivas.

5.4.4. ¿Existen configuraciones espacio-temporales que puedan ser usadas como herramientas de prevención, en fenómenos de floraciones nocivas?

VPM y microalgas asociadas: *Alexandrium catenella* y *A. ostenfeldii*

VPM

El análisis de conglomerados arrojó un total de 16 grupos con un porcentaje promedio de similitud SIMPROF >40 (Figuras 5.63, 5.64). Uno de ellos agrupó el mayor número de estaciones (37), constituyendo el 24% del total de estaciones, caracterizado por la no detección de toxicidad por bioensayo ratón (ND) durante el período de estudio (Figura 5.64; círculos blancos). 33 de estas estaciones se localizan en la región de Los Lagos, 3 en Aysén (sector Raúl Marín Balmaceda) y 1 en Magallanes (interior del seno Otway).

Las estaciones restantes fueron agrupadas de acuerdo a los rangos de toxicidad promedio mensual máximo por grupo (**TPMG**) y la oportunidad en que ocurrieron los incrementos de toxicidad, según los registros temporales en los sitios de monitoreo (Figuras 5.65, 5.66). El grupo que integró el mayor número de estaciones (32) con presencia de VPM fue el grupo **ar** (Tabla 5.11) representando el 21% del total de las estaciones consideradas en las tres regiones. 17 de estas estaciones se localizan en Aysén y las restantes (15) en Magallanes (Figuras 5.63, 5.64; círculos magenta). Los máximos de toxicidad promedio para este grupo fueron de 487 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ ocurrido en el mes de febrero. Con un promedio máximo por grupo similar (485 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) ocurrido en el mes de noviembre, el grupo **av** (Figura 5.65; círculos celestes), estuvo representado por 4 estaciones localizadas en el área norte de Magallanes (M04, M05, M15 y M21).

El segundo grupo que reunió un mayor número de estaciones con VPM fue **aq** (Tabla 5.11) con un total de 31 estaciones (20% del total) (Figuras 5.63, 5.64; círculos rojos), el que se caracterizó por una **TPMG** de 1.823 $\mu\text{g eq STX. } 100 \text{ g}^{-1}$ (Figura 5.66b) ocurrido en marzo. De estas estaciones, 30 se localizan en la región de Aysén y 1 en Magallanes (M35 San Isidro, área centro). El grupo **ap** (Figuras 5.63, 5.64; círculo violeta), con **TPMG** del mismo orden de magnitud al anterior (1.273 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) pero ocurrido en el mes de diciembre, reunió 4 estaciones localizadas en el área norte de Magallanes (M17 - M20, caleta Williams- isla Larga). Este grupo, aunque pequeño en número, se caracterizó por la presencia de toxicidad promedio mensual durante los 12 meses del año durante el período 2006-2014.

El siguiente grupo que reunió al mayor número de estaciones con VPM fue **am**, con 11 sitios que representó un 7% del total de estaciones consideradas para las tres regiones (Figura 5.64; círculos azules). 8 estaciones se localizan en la región de Los Lagos, 2 en Aysén y 1 en Magallanes. Este grupo se caracteriza por una **TPMG** de 13 $\mu\text{g STX. eq } 100 \text{ g}^{-1}$, ocurrida en el mes de abril, toxicidad del mismo orden de magnitud que los grupos **az**, **ax** y **an**, con 29 $\mu\text{g STX. eq } 100 \text{ g}^{-1}$ (ocurrido en febrero), 85 y 90 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ (ambos presentados en noviembre), respectivamente (Figura 5.66c).

Los grupos **at**, **ay**, **au** y **as**, reunieron a 13 estaciones en total (Figura 5.64; círculo amarillo, verde-oscuro, agua y lima, respectivamente), 11 en Magallanes y 2 en Aysén. Estos grupos se caracterizan por presentar máximos de toxicidad promedio mensual entre 239 y 390 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ (Figura 5.66d).

Por último, existen 3 estaciones identificadas como grupos **al**, **ao** y **aw**, (M23 isla Ballesteros, M16 Isla Piazzzi, y M07 isla Crossover, respectivamente) localizadas en el área norte de Magallanes (Figuras 5.64, 5.65; círculos gold, rosado y salmón). Las estaciones M23 y M07 se caracterizan por presentar un promedio máximo mensual de toxicidad por grupo de 125 y 175 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ en los meses de diciembre y noviembre, respectivamente (Figura 5.66e). Particularmente la estación M23 solo presentó toxicidad en el mes de diciembre. La estación M16 fue la que presentó un **TPMG** elevado de 4.292 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$, mayor a todos los grupos antes descritos y ocurrió durante el mes de diciembre. No obstante, la toxicidad promedio mensual fue positiva durante los 12 meses del año a diferencia de la estación M07.

A partir de los resultados del análisis de conglomerados para VPM, es posible definir 6 rangos de **TPMG** (Tabla 5.11). De menor a mayor son:

1	ND	
2	10 - 100	$\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ (Figura 5.66c)
3	101 - 200	$\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ (Figura 5.66e)
4	201 - 400	$\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ (Figura 5.66d)
5	401 - 800	$\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ (Figura 5.66a)
6	≥ 801	$\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ (Figura 5.66b)

El rango **1** está definido por 37 estaciones (24% del total) con niveles no detectables (ND) durante todo el período de estudio, la mayoría localizadas en la región de Los Lagos (Figura 5.65; círculos blancos), sectores norte y centro, y sector estero Pitipalena (Raúl Marín Balmaceda).

El rango **2** considera los grupos **an**, **ax**, **az** y **am**, con 28 estaciones que representan un 18% del total de estaciones consideradas para las tres regiones (Figura 5.65; círculos pardo, anaranjado, verde y azul). 9 estaciones se localizan en la región de Los Lagos, 8 en Aysén y 11 en Magallanes. Sus **TPMG** ocurren en noviembre, febrero, noviembre y abril, respectivamente.

El rango **3** está definido por el grupo **al** y **aw**, integrado sólo por las estaciones M07 y M23 isla Crossover e isla Ballesteros, respectivamente, región de Magallanes. Representa un porcentaje bajo (1%) del total de estaciones consideradas en este estudio (Figura 5.65; rombos salmón y amarillo). Sus **TPMG** ocurren en diciembre y noviembre, respectivamente.

El rango **4** incluye los grupos **at**, **as**, **au** y **ay**, con 13 estaciones que representan un 9% del total de estaciones consideradas para las tres regiones. La mayoría se localiza en la región de Magallanes

(11) y 2 estaciones en Aysén (Figura 5.65; círculos amarillo, lima, rombos aqua y verde oscuro). La región de Los Lagos no está representada en este rango. Sus **TPMG** ocurren en marzo, noviembre, enero y diciembre, respectivamente.

El rango **5** incluye los grupos **ar** y **av**, con 36 estaciones que representan un 24% del total considerado para las tres regiones. Del total de estaciones de este rango, 19 estaciones se localizan en la región de Magallanes y 17 en Aysén. La región de Los Lagos no está representada en este rango (Figura 5.65; círculos magenta y celeste). Sus **TPMG** ocurren en noviembre y febrero, respectivamente.

El rango **6** considera los grupos **aq**, **ap** y **ao**, con 36 estaciones que representan un 24% del total de estaciones consideradas para las tres regiones. (Figura 5.65; círculos rojo, violeta y rombo rosado). 30 estaciones se localizan en la región de Aysén y 6 estaciones en el sector norte de Magallanes. En el caso de M16 isla Piazzzi, única estación que conforma el grupo **ao**, cuyo promedio mensual máximo fue de 4.292 $\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$ (Figura 5.66e), el más alto del total de grupos descritos para el periodo de estudio, correspondería al rango **6**. Por tal razón, dicho rango se extiende por sobre los 800 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$. No obstante, cabe destacar que la alta **TPMG** de M16, está restringida al mes de diciembre, con niveles sobre el límite normativo (80 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) en los meses de noviembre y enero (Figura 5.66e). El resto de las estaciones que definen el rango **6**, presentan toxicidades por sobre el límite normativo durante al menos 9 de los 12 meses del año (Figura 5.66b). Dada las características de M16, esta estación constituye un punto de inflexión o límite norte geográfico de distribución del rango de mayor de toxicidad.

Alexandrium catenella

El análisis de conglomerados arrojó un total de 16 grupos significativos con un porcentaje promedio de similitud SIMPROF > 40 (Figuras 5.67, 5.68, 5.69), agrupados sobre la base de estimadores de abundancia relativa (abundancia promedio mensual máximo por grupo, **ARPMG**). Seis de los grupos integró un total de 77 estaciones que representan un 74% del total considerado (n=158) (Tabla 5.12). El grupo **s** reunió a 31 estaciones, todas de la región de Aysén, cuya **ARPMG** fue de 3,76 ocurrida en febrero (Figuras 5.69, 5.70b; círculos magenta); el grupo **u** reunió 25 estaciones, todas localizadas en la región de Magallanes, con una **ARPMG** de 2,75 ocurrida en noviembre (Figuras 5.69, 5.70a; círculos rojos). En la región de Los Lagos, predominaron 3 grupos: **aa** con 16 estaciones situadas entre Calbuco e Isla Acui por el sector costero occidental, continuando por el sector costero oriental de la región hasta L25 bahía Tic Toc (Figuras 5.69, 5.70c; círculos naranjos), presentando una **ARPG** de 0,3 ocurrida en octubre; el grupo **x** con 14 estaciones situadas en el sur de la isla de Chiloé (Figuras 5.69, 5.70d; círculos azules) y una **ARPMG** de 1,3 también ocurrida en octubre. En el sector norte, entre seno Reloncaví e isla Puluqui, se localizaron 12 estaciones con registro de *A. catenella* no detectable (**ND**) (Figura 5.69; círculos blancos). Este sector representó el 8% de las estaciones del total considerado para las tres regiones. La estación L07 canal Caucahué, única estación asignada como **m**, sólo presentó una abundancia relativa de 1 (raro) en febrero de 2014, resultando con un **ARPMG** de 0,14 (Figura 5.70f). Los grupos (**t**, **w**, **v**, **z**, **o**, **p**, **n**, **r**, **y**), integraron el 26 % de estaciones restantes (41 en total) en un número ≤ 7 , distribuidas en las tres regiones.

A partir de la configuración grupal descrita, es posible establecer 5 rangos de abundancia relativa promedio mensual máximo por grupo (Tabla 5.12), que de menor a mayor son:

1	ND
2	>0 - 1 (Figura 5.70 c, f)
3	1 - 2 (Figura 5.70 d, e)
4	2 - 3 (Figura 5.70 a)
5	> 3 (Figura 5.70 b)

En el rango **1** están todas aquellas estaciones individuales (12) no agrupadas que tienen en común sólo registros de **ND**, todas localizadas en Los Lagos.

El rango **2** está integrado por los grupos **m, w, z, aa**, 30 estaciones en total que representan el 19% de estaciones considerando las tres regiones, en su mayoría (18 estaciones) localizadas en la región de Los Lagos (Figuras 5.68, 5.69; círculos blanco, celeste, rosado y anaranjado); 6 estaciones en el sector de estero Pitipalena (Raúl Marín Balmaceda) hasta A11 Melimoyu en la región de Aysén; 6 estaciones en la región de Magallanes: M22 estero las Montañas, M23 isla Ballesteros, 2 estaciones en el extremo occidental del estrecho de Magallanes y 2 estaciones en el interior del seno Otway.

El rango **3** está integrado por los grupos **x, n, t, p, y, v**, con 39 estaciones en total, representa el 25% de estaciones considerando las tres regiones. 15 estaciones se localizan en el sector sur de Chiloé en la región de Los Lagos (Figuras 5.68, 5.69; círculos azules; rombo rosado); 12 estaciones distribuidas en el sector Raúl Marín Balmaceda, canal Jacaf- canal Puyuhuapi, sector de Melinka hasta isla Valverde, seno Aysén y 6 estaciones en el sector de Tortel, región de Aysén (Figuras 5.68, 5.69; círculos y rombos amarillos; círculos marrones y azules; rombo rosado); 6 estaciones en la región de Magallanes: M24 bahía Fanny y M29N1 isla Engelfield, ambas en el interior del seno Otway, M27 estero Sullivan y M33-34 isla Bell-seno Pedro en el estrecho de Magallanes, y M39C3 canal Gabriel Oriental (Figuras 5.68, 5.69; círculo amarillo, rombos verde oscuro y aqua).

El rango **4**, reúne los grupos **o, u, q**, con 44 estaciones, representando el 28% de estaciones del total considerado para las tres regiones (Figuras 5.68, 5.69; círculos verde oscuro, lima y rojos). La mayor parte de las estaciones (38) se localizan en la región de Magallanes, en el área norte, estrecho de Magallanes oriental y occidental teniendo como punto de inflexión a M36 bahía Agua Fresca. Finalmente, este rango reúne la totalidad de las estaciones del canal Beagle. En la región de Aysén solo hay 6 estaciones representadas en este rango: sector sur de Melinka, entrada del canal Puyuhuapi, entrada de seno Aysén, A48 isla Palumbo en Aysén insular y A56 en el sector de Tortel. La región de Los Lagos no está representada en este rango de abundancia relativa de *A. catenella*.

El rango **5**, está integrado por 33 estaciones, todas situadas en la región de Aysén, representadas en los grupos **s y r** (Figuras 5.68, 5.69; círculos magenta, rombo amarillo). Los dos grupos representan un 21% del total de estaciones consideradas para las tres regiones. Las estaciones están fundamentalmente localizadas desde A18 punta Cálqueman hacia el sur siguiendo el canal principal

(canal Moraleda). La costa occidental se caracteriza por presentar estaciones de este rango, en canales adyacentes como la estación A26 isla Canquenes, A41 canal Ninualac, A03 puerto Barrientos y A05 isla Ovalada. La región de Los Lagos no presenta estaciones para este rango de abundancia relativa.

En síntesis, los rangos mayores, **4 y 5** de *A. catenella*, son los predominantes en Aysén y Magallanes, mientras que en Los Lagos predominan los rangos **< 3**.

Alexandrium ostenfeldii

El análisis de conglomerados arrojó un total de 12 grupos significativos con un porcentaje promedio de similitud SIMPROF > 40 (Figuras 5.71, 5.72), agrupados en base a la abundancia relativa mensual máxima por grupo (**ARPMG**). Cuatro de los grupos integraron un total de 129 estaciones que representan un 82% del total considerado (158) (Tabla 5.13). El grupo **k** reunió a 52 estaciones (33% del total), cuya **ARPMG** fue de 0.44 ocurrida en julio (Figuras 5.72, 5.73; círculos magenta). 40 de las estaciones se localizan en la región de Aysén y las restantes en la región de Los Lagos y Magallanes. El grupo **i** reunió 45 estaciones (28% del total), con una **ARPMG** de 0,96 ocurrida en enero (Figuras 5.72, 5.73; círculos rojos), 29 de las cuales se localizan en la región de Los Lagos y las restantes en Aysén y Magallanes. El grupo **d** integró 18 estaciones 11% del total), 15 de las cuales se localizan en Magallanes y las restantes 3 en Aysén (Figuras 5.72, 5.73; círculos azules). Este grupo presentó un **ARPMG** de 0,5. El grupo **j** quedó representado por 14 estaciones (9% del total), 9 estaciones localizadas en Magallanes y 5 Los Lagos (Figuras 5.72, 5.73; círculos anaranjados). Las estaciones restantes, representan un 18 % del total (29 estaciones), distribuidas en 8 grupos (Tabla 5.13).

A partir de la configuración grupal descrita, es posible establecer 3 rangos de abundancia relativa promedio mensual máximo por grupo (Tabla 5.13), que de menor a mayor son:

1	>0 – 0.5	(Figura 5.74 a, d)
2	0.6 – 0.8	(Figura 5.74 c)
3	0.9 – 1.0	(Figura 5.74 b, d)

El rango **1** está integrado por los grupos **k, d, l, b y a**. Representan 81 estaciones, 51% del total, localizadas principalmente en Aysén (46 estaciones) y Magallanes (26 estaciones) (Figuras 5.72, 5.73; círculos magenta, azul, pardo, celeste y rombo aqua).

El rango **2** está integrado por los grupos **j, f, g y c**, 27 estaciones que representan el 17% del total de estaciones considerando las tres regiones, la mayoría situada en Magallanes (16 estaciones). De las restantes, 7 están localizadas en Los Lagos y 4 en Aysén (Figuras 5.72, 5.73; círculos anaranjados, verdes, violeta y lima).

El rango **3** está integrado por los grupos **i, h y e**, 50 estaciones que representan el 32% del total de estaciones considerando las tres regiones, la mayoría situada en Los Lagos (29 estaciones), 13 en Aysén y 9 en Magallanes (Figuras 5.72, 5.73; círculos rojos, amarillos y rombo verde oscuro).

En la región de Los Lagos predominó el rango **3**, y el rango **1** en las regiones de Aysén y Magallanes. A diferencia de *A. catenella* y VPM, los promedios mensuales *A. ostensfeldii* revelaron una presencia baja pero constante de esta microalga durante el periodo 2006 - 2013.

Análisis de correspondencia y contingencia entre las variables

Se realizó un análisis de correspondencia para visualizar la relación entre las variables toxicidad (VPM) y abundancia relativa de las microalgas asociadas. Éste mostró una asociación entre los rangos de toxicidad por VPM y los rangos de abundancia relativa (AR) de las dos especies vinculadas a la producción de VPM (Figura 5.75), relación que fue confirmada con un análisis de contingencia.

La relación entre VPM y *A. catenella* fue significativa (χ^2 , $p < 0.05$). La correlación general entre ambas variables fue positiva y significativa (R de Pearson = 0.80 y Spearman = 0.78, $p = 0.000$). El detalle de los residuos tipificados corregidos entregado por el mismo análisis (Tabla 5.14), señala que VPM rango **2** está asociada positiva y significativamente ($3.5 > 1.96$, $p < 0.05$) con *A. catenella* rango **3**; VPM rango **4** y **5** se asocia positiva y significativamente (2.1 y $4.0 > 1.96$, $p < 0.05$, respectivamente) con el rango **4** de la microalga y finalmente, el rango máximo de VPM (**6**) se asocia positiva y significativamente ($7.2 > 1.96$, $p < 0.05$) con el rango máximo (**5**) de la microalga. Los sectores caracterizados por las relaciones entre VPM y *A. catenella* son Tortel (VPM rango **2**); norte, centro y sur de Magallanes (VPM rango **4** y **5**); norte y sur de Aysén (VPM rango **6**) (Figura 5.75). VPM de rango no detectable, se encuentra asociada significativamente con el rango no detectable de *A. catenella*, como era de esperar, sin embargo este rango de VPM también está asociado fuertemente con el rango **2** de la microalga como ocurre en Los Lagos (Figura 5.75inf.).

VPM y *A. ostensfeldii* aunque son variables asociadas (χ^2 , $p < 0.05$), la correlación general es negativa y significativa (R de Pearson = -0.51 y Spearman = -0.50, $p = 0.000$). Sin embargo, existen matices en esta relación. Una exploración detallada de los residuos tipificados corregidos entregado por el mismo análisis (Tabla 5.14), señala que VPM rango **2** y **4** está asociada positiva y significativamente (2.3 y $2.1 > 1.96$, $p < 0.05$, respectivamente) con *A. catenella* rango **2**; VPM rango **4** y **6** se asocia positiva y significativamente (2.0 y $5.1 > 1.96$, $p < 0.05$, respectivamente), con el rango **1** de la microalga. La especie caracteriza a sectores de Aysén norte y Melinka con rango de **1**; Tortel con rango **2**; el rango **3**, rango máximo, se asocia con el sector sur de Los Lagos pero cuya presencia está relacionada significativamente ($4.3 > 1.96$, $p < 0.05$) con el rango de VPM no detectable (Figura 5.75). Los resultados indican una baja influencia de esta microalga al nivel de toxicidad por VPM.

Explorando la relación entre las dos especies de microalgas, el análisis de correspondencia mostró una asociación positiva entre el rango mayor de AR de *A. ostensfeldii* (**3**) y los rangos bajos de AR (**1** y **2**) de *A. catenella*, siendo negativa con los rangos mayores de *A. catenella* (Tabla 5.14). El análisis de contingencia mostró que la relación general entre ambas variables (χ^2 , $p < 0.05$), aunque baja, fue significativamente negativa (R de Pearson = -0.30 y Spearman = -0.34, $p = 0.000$). Es importante señalar, que este resultado no significa la existencia de una relación antagónica entre ambas

microalgas, sino que reflejan una asociación diferente con los sitios y meses de muestreo, *i.e.* una configuración espacio-temporal distinta.

Toxinas lipofílicas y microalgas asociadas: *Dinophysis acuminata*, *D. acuta* y *Protoceratium reticulatum*

Toxinas lipofílicas

El análisis de conglomerados arrojó un total de 13 grupos significativos con un porcentaje promedio de similitud SIMPROF > 40 (Figuras 5.76, 5.77), agrupados en base al promedio porcentual mensual máximo (**PPMG**) de positivos a VDM por bioensayo ratón. Cuatro de ellos, **m**, **k**, **j** y **e**, reunieron el 78% del total de estaciones (119) consideradas para las tres regiones con **PPMGs** entre 0.42 y 0.86 (Tabla 5.15). Los grupos **m** y **e** (Figuras 5.77, 5.78; círculos magenta y anaranjado), con 36 y 25 estaciones, **PPMG** de 0.42 ocurrido en diciembre y 0.49 ocurrido en octubre, respectivamente, representó estaciones mayormente localizadas en Los Lagos, alcanzando el sector de Melinka y Raúl Marín Balmaceda en el norte de Aysén. El grupo **k** (Figuras 5.76, 5.77; círculos rojos), con un **PPMG** de 0.69 ocurrido en febrero, representó 30 estaciones en su mayoría distribuidas en Magallanes y sur de Aysén. El grupo **j** (Figuras 5.76, 5.77; círculos azules), con un **PPMG** de 0.86 ocurrido en febrero, representó a 28 estaciones mayormente localizadas en Aysén. El 28% de estaciones restantes, se distribuyó en 9 grupos con **PPMGs** entre 0.25 y 1.00 (entre septiembre y marzo), principalmente situadas en Magallanes y Aysén.

A partir de los resultados del análisis de conglomerados para VDM, es posible definir 4 rangos de **PPMG** (Tabla 5.15). De menor a mayor son:

- | | | |
|----------|---------------|--------------------|
| 1 | 0 – 0.25 % | (Figura 5.79 d) |
| 2 | 0.26 – 0.50 % | (Figura 5.79 a) |
| 3 | 0.60 – 0.75 % | (Figura 5.79 b) |
| 4 | 0.76 – 1.00 % | (Figura 5.79 c, d) |

El rango **1** está integrado por una estación, L14 isla Talcán (Figuras 5.76, 5.77; rombo verde oscuro), situada en islas Desertores de la región de Los Lagos.

El rango **2** está integrado por los grupos **m**, **e**, **c** y **b**, 67 estaciones que representan el 44% del total de estaciones considerando las tres regiones, la mayoría situada en Los Lagos (40 estaciones). De las restantes, 16 están localizadas en Aysén y 11 en Magallanes (Figuras 5.76, 5.77; círculos magenta, anaranjado, amarillo y aqua). Sus **PPMG** ocurren en diciembre, octubre, septiembre y febrero, respectivamente.

El rango **3** está integrado por los grupos **k**, **f**, **l** y **g**, 47 estaciones que representan el 31% del total de estaciones considerando las tres regiones, la mayoría situada en Magallanes (31 estaciones), 15 en el sur de Aysén y 1 en Los Lagos (Figuras 5.76, 5.77; círculos rojo, verde oscuro, pardo y celeste).

Sus **PPMG** ocurren en febrero en el caso de los grupos **k** y **l**, y en noviembre para los dos grupos restantes.

El rango **4**, representado por los grupos **j**, **i**, **h** y **a**, integrado por 37 estaciones, 24% del total de estaciones, de las cuales 29 se localizan principalmente en el norte de Aysén y 8 en Magallanes (Figuras 5.76, 5.77; círculos azul, violeta, lima y gold). Sus **PPMG** ocurren en febrero (**j**, **h**, **a**) y en octubre (**i**).

Dinophysis acuminata

El análisis de conglomerados arrojó un total de 12 grupos significativos con un porcentaje promedio de similitud SIMPROF > 70 (Figuras 5.80, 5.81), agrupados en base a la abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (**ARPMG**). Seis de ellos, grupos **g**, **h**, **k**, **j**, **b** y **l**, reunieron el 85% del total de estaciones (134) consideradas para las tres regiones con **ARPMGs** entre 1.39 y 3.12 (Tabla 5.16). Los grupos **g** y **h** (Figuras 5.81, 5.82; círculos magenta y rojo), con 63 estaciones (40% del total) y **ARPMG** de 3.12 y 2.09, respectivamente, ambos ocurridos en diciembre, representaron estaciones mayormente localizadas en Los Lagos centro y norte de Aysén, incluidos el sector de Melinka y Raúl Marín Balmaceda y fiordo Aysén. El grupo **k** (Figuras 5.81, 5.82; círculos verdes), con un **ARPMG** de 1.77 ocurrido en marzo, representó a 24 estaciones (15%) del total, en su mayoría distribuidas en el sector norte de Los Lagos y sur de Aysén. El grupo **j** (Figuras 5.81, 5.82; círculos anaranjados), con un **ARPMG** de 1.39 ocurrido en febrero, representó a 20 estaciones (13%) mayormente localizadas en el sur de Aysén norte de Magallanes. El grupo **b** (Figuras 5.81, 5.82; círculos pardos), con un **ARPMG** de 1.76 ocurrido en enero, representó a 15 estaciones (9%) del total, todas situadas en los tres sectores de Magallanes: norte, centro y sur. El grupo **l** (Figuras 5.81, 5.82; círculos violeta), con un **ARPMG** de 2.29 ocurrido en noviembre, representó a 12 estaciones (8%) del total, en su mayoría distribuidas en el sector norte de Magallanes. El 15% de estaciones restantes, se distribuyó en 6 grupos (**c**, **d**, **i**, **e**, **f** y **a**, círculos amarillo, celeste, azul y rombos aqua y verde oscuro) con **PPMGs** entre 0.6 y 4.60 ocurridos entre diciembre y marzo, principalmente situadas en Magallanes y Los Lagos.

A partir de los resultados del análisis de conglomerados para *D. acuminata*, es posible definir 4 rangos de **ARPMG** (Tabla 5.16). De menor a mayor son:

1	0.1 – 0.9	(Figura 5.83 d)
2	1.0 – 1.9	(Figura 5.83 a)
3	2.0 – 2.9	(Figura 5.83 b, d)
4	≥ 3.0	(Figura 5.83 c)

El rango **1**, está integrado por una estación, M39 puerto Zenteno (Figuras 5.81, 5.82; rombo verde oscuro), situada en el sector occidental del estrecho de Magallanes. Su **ARPMG** ocurre en febrero.

El rango **2** está integrado por los grupos **k**, **j**, **b** y **c**, 67 estaciones que representan el 42% del total de estaciones considerando las tres regiones, la mayoría situada en Magallanes y Aysén (35 y 26

estaciones, respectivamente) y 6 estaciones en Los Lagos (Figuras 5.81, 5.82; círculos verde, anaranjados, pardo y amarillos). Sus **ARPMG** ocurren entre enero y marzo.

El rango **3** está integrado por los grupos **h, i y f**, que representan a 47 estaciones, 30% del total de estaciones, que se distribuyen en Los Lagos (18 estaciones), Aysén (16 estaciones) y Magallanes (13 estaciones) (Figuras 5.81, 5.82; círculos rojos, violeta, azules y rombo aqua). Sus **ARPMG** ocurren en diciembre, noviembre, enero y marzo, respectivamente.

El rango **4** está integrado por los grupos **g, d y e**, que representan a 43 estaciones, 27% del total de estaciones, que se distribuyen principalmente en Los Lagos y Aysén (21 estaciones en cada región) (Figuras 5.81, 5.82; círculos magenta, celeste y lima). Sus **ARPMG** ocurren en diciembre (grupos **g y d**) y marzo (grupo **e**).

En síntesis, aunque esta microalga está presente en las tres regiones, los rangos **> 3** predominan en Los Lagos y Aysén, mientras que en Magallanes predominan los rangos **< 3**.

Dinophysis acuta

El análisis de conglomerados arrojó un total de 14 grupos significativos con un porcentaje promedio de similitud SIMPROF **> 36** (Figuras 5.84, 5.85), agrupados en base a la abundancia relativa mensual máxima por grupo (**ARPMG**). Quince estaciones (9% del total) presentaron registros de *D. acuta* no detectable (ND). Nueve estaciones se localizan en el estrecho de Magallanes y canal Beagle, y 6 estaciones en el norte occidental de Los Lagos. De los grupos restantes, 6 reunieron el 71% del total de estaciones (112). Los grupos son **z, aa, r, x, ab y t**, con **ARPMGs** entre 0.18 y 2.24 (Tabla 5.17). El grupo **z** (Figuras 5.85, 5.86; círculos magenta), con 29 estaciones (18% del total) y **ARPMG** de 0.75 ocurrido en abril, representa estaciones mayormente localizadas en el sector norte de Magallanes y sectores de Aysén como Melinka y Tortel. El grupo **aa** (Figuras 5.85, 5.86; círculos rojo), con 25 estaciones (16% del total) y **ARPMG** de 0.28 ocurrido en enero, representa estaciones mayormente localizadas en el sector sur de Los Lagos y sector Raúl Marín Balmaceda en Aysén. El grupo **r** (Figuras 5.85, 5.86; círculos azules), con un **ARPMG** de 0.18 ocurrido en noviembre, representó a 19 estaciones (12%) mayormente localizadas en el seno Reloncaví, sector nororiental de Los Lagos y en el estrecho de Magallanes o sector central de Magallanes. El grupo **x** (Figuras 5.85, 5.86; círculos anaranjados), con un **ARPMG** de 1.52 ocurrido en febrero, representó a 17 estaciones (11%) del total, todas situadas en el sector norte de Aysén. El grupo **ab** (Figuras 5.85, 5.86; círculos verdes), con un **ARPMG** de 0.38 ocurrido en junio, representó a 12 estaciones (8%) del total, en su mayoría localizadas en el sector central de Los Lagos. El grupo **t** (Figuras 5.85, 5.86; círculos pardos), con un **ARPMG** de 2.24 ocurrido en diciembre, representó a 10 estaciones (6%) del total, todas localizadas en el sector de los canales Yacaf y Puyuhuapi en Aysén. De las 31 estaciones restantes (20%), 22 se localizan en Aysén, 5 en Los Lagos y 4 en Magallanes.

A partir de los resultados del análisis de conglomerados para *D. acuta*, es posible definir 4 rangos de **ARPMG** (Tabla 5.17). De menor a mayor son:

1	ND	(Figura 5.87)
2	0.1 – 0.9	(Figura 5.87 a, d)
3	1.0 – 1.9	(Figura 5.87 b)
4	≥ 2.0	(Figura 5.87 c)

El rango **1**, está integrado por las 15 estaciones ya descritas arriba, con registros de *D. acuta* no detectable, distribuidas en el centro y sur de Magallanes, y norte occidental de Los Lagos (Figuras 5.85, 5.86; círculos blancos).

El rango **2** está integrado por los grupos **z, aa, r, ab, q, p y s**, con 92 estaciones que representan el 58% del total de estaciones considerando las tres regiones, la mayoría principalmente en Magallanes (41 estaciones), Los Lagos (39 estaciones) (Figuras 5.85, 5.86; círculos magenta, rojo, azul, verde, celeste y rombos aqua y gold). Las 12 estaciones restantes se sitúan principalmente en el sector de Melinka y Raúl Marín Balmaceda. Sus **ARPMG** ocurren en abril, enero, noviembre, junio, agosto, febrero y octubre, respectivamente.

El rango **3** está integrado por los grupos **x, w, y y u** que representan a 39 estaciones, 25% del total de estaciones, todas localizadas en Aysén exceptuando los canales Yacaf y Puyuhuapi (Figuras 5.85, 5.86; círculos anaranjados, violeta, amarillos y lima). Sus **ARPMG** ocurren entre enero y marzo.

El rango **4** está integrado por los grupos **t y v**, que representan a 12 estaciones, 8% del total de estaciones, que se distribuyen principalmente en Los Lagos y Aysén (21 estaciones en cada región) (Figuras 5.85, 5.86; círculos pardo y rombo verde oscuro). Sus **ARPMG** ocurren en diciembre y enero, respectivamente.

En síntesis, *D. acuta* predomina con rango **2 y 4** en Los Lagos, con el rango **2** en Magallanes y con rango **> 3** en Aysén.

Protoceratium reticulatum

El análisis de conglomerados arrojó un total de 19 grupos significativos con un porcentaje promedio de similitud SIMPROF > 40 (Figuras 5.88, 5.8), agrupados en base a la abundancia relativa promedio mensual máximo por grupo (**ARPMG**). Solo una estación presentó un registro de *P. reticulatum* no detectable (ND), M43 bahía Yendegaia en el canal Beagle. Seis de los 19 grupos, integran a 108 estaciones (68% del total). Los grupos son **r, s, k, j y q**, con **ARPMGs** entre 0.258 y 4.03 (Tabla 5.18) ocurridos entre febrero y abril. El grupo **r** (Figuras 5.89, 5.90; círculos magenta), con 41 estaciones (26% del total) y **ARPMG** de 0.45 ocurrido en marzo, representa estaciones mayormente localizadas en Los Lagos (27) y en menor grado en Aysén (6) (sector Raúl Marín Balmaceda y Tortel) y Magallanes (8). El grupo **s** (Figuras 5.89, 5.90; círculos rojos), con un **ARPMG** de 0.25 ocurrido en abril, representó a 25 estaciones (16%) del total, en su mayoría distribuidas en Magallanes (20) y en Los Lagos (5). El grupo **k** (Figuras 5.89, 5.90; círculos azules), con un **ARPMG** de 4.03 ocurrido en febrero, representó a 20 estaciones (13%) todas localizadas en Aysén norte y sur. El grupo **J** (Figuras 5.89, 5.90; círculos anaranjados), con un **ARPMG** de 3.91 ocurrido en febrero, representó a 12 estaciones (8%) del total,

todas situadas en el sector de canal Yacaf y Puyuhuapi y constricción de Meninea en Aysén. El grupo **q** (Figuras 5.89, 5.90; círculos verdes), con un **ARPMG** de 0.27 ocurrido en marzo, representó a 10 estaciones (6%) del total, todas localizadas en el sector central de Magallanes a excepción de M18 bahía Ensenada situada en el sector norte de esta región. Las 49 estaciones restantes (31%), 25 se localizan en Aysén, 13 en Los Lagos y 11 en Magallanes.

A partir de los resultados del análisis de conglomerados para *P. reticulatum*, es posible definir 4 rangos de **ARPMG** (Tabla 5.18). De menor a mayor son:

1	ND	(Figura 5.91)
2	0.1 – 0.9	(Figura 5.91 a, e, f)
3	1.0 – 1.9	(Figura 5.91 d)
4	2.0 – 2.9	(Figura 5.91 c, f)
5	3.0 – 3.9	(Figura 5.91 b, f)
6	≥ 4.0	(Figura 5.91 b, f)

El rango **1**, está integrado por una estación, M43 bahía Yendegaia en el canal Beagle ya descrita arriba, con registros de *P. reticulatum* no detectable (Figuras 5.89, 5.90; círculo blanco).

El rango **2** está integrado por los grupos **r, s, q, c, t, p, d y b**, con 89 estaciones que representan el 56% del total de estaciones considerando las tres regiones, la mayoría principalmente en Magallanes (48 estaciones), Los Lagos (35 estaciones) y 6 en Aysén (Figuras 5.89, 5.90; círculos magenta, rojo, verde, lima, rombos aqua, rosado, gris y salmón). Sus **ARPMG** ocurren entre noviembre y mayo.

El rango **3** está integrado por los grupos **l y o** que representan a 6 estaciones, 4% del total de estaciones, 3 localizadas al norte de Los Lagos, 2 en Aysén (Melinka y norte de Aysén) y 1 en el interior de seno Otway en Magallanes (Figuras 5.89, 5.90; rombos verde oscuro y gold). Sus **ARPMG** ocurren en abril y febrero respectivamente.

El rango **4** está integrado por los grupos **g, n, f y m**, que representan a 19 estaciones, 12% del total de estaciones, que se distribuyen principalmente en Aysén, en Melinka y Tortel (13 estaciones), y en el seno Reloncaví en Los Lagos (6 estaciones) (Figuras 5.89, 5.90; círculos violeta, amarillo, celeste y rombo anaranjado oscuro). Sus **ARPMG** ocurren en febrero y marzo.

El rango **5** está integrado por los grupos **k, j, h y e**, que representan a 42 estaciones, 27% del total de estaciones, que se distribuyen principalmente en Melinka, canales Yacaf y Puyuhuapi, y sur de Aysén (41 estaciones) y 1 estación en el norte occidental de Los Lagos (Figuras 5.89, 5.90; círculos azul, anaranjado, pardo y rombo fucsia). Sus **ARPMG** ocurren durante febrero en Aysén, y durante marzo en Los Lagos.

El rango **6**, está integrado por una estación, A12 seno Gala en el sector oriental norte de Aysén (Figuras 5.89, 5.90; rombo oliva). Su **ARPMG** ocurre en febrero.

En síntesis, la especie predomina con rango **2** en Los Lagos, y particularmente con rango **4** en el seno de Reloncaví; en Magallanes predomina con rango **2**, mientras que en Aysén predominan con rangos **> 4**.

Análisis de correspondencia y contingencia entre las variables

El análisis de correspondencia permitió visualizar la relación entre las variables toxinas lipofílicas (positivo a VDM por bioensayo ratón) y las tres microalgas asociadas, (Figura 5.92). Los resultados mostraron una asociación entre los rangos de proporción de positivos a VDM por bioensayo ratón y los rangos de abundancia relativa (AR) de las microalgas de diferente grado y dirección de acuerdo a la especie.

En el caso del VDM y *D. acuminata*, si bien el análisis de contingencia confirma una asociación entre ambas variables (χ^2 $p < 0.05$), la correlación general es negativa y no significativa (R de Pearson = -0.054 y Spearman = -0.06, $p > 0.50$). Explorando los residuos tipificados corregidos (Tabla 5.19) que entrega el mismo análisis, se observan relaciones significativas positivas y negativas entre ambas variables. Por ejemplo, VDM rango **3** está asociada positiva y significativamente ($5.6 > 1.96$, $p < 0.05$) con *D. acuminata* rango **2** pero en dirección negativa y significativa (-5.0) con el rango **4** de la misma microalga. Así mismo, VDM rango **4** se asocia positivamente ($3.3 > 1.9$, $p < 0.05$) con *D. acuminata* rango **4** pero negativamente ($-12.7 > 1.96$, $p < 0.05$) con el rango **2** de la microalga. En síntesis, el VDM rango **3** y **4** se asocia positivamente a *D. acuminata* rango **2** y **4**, respectivamente, relación que caracteriza los sectores norte (AN), Melinka (M) y canal Moraleda (CM) en la región de Aysén (VDM rango **3**), y sectores de Tortel (T), norte (MN) y centro (MC) de la región de Magallanes (VDM rango **4**) (Figura 5.92).

En el caso del VDM y *D. acuta*, el análisis de contingencia muestra una asociación entre ambas variables (χ^2 , $p < 0.05$), confirmada por una correlación general positiva y significativa (R de Pearson = 0.48 y Spearman = 0.50, $p = 0.000$). El detalle de los residuos entregado por el mismo análisis, señala que VDM rango **4**, el máximo, está asociada positiva y significativamente ($3.8 > 1.96$, $p < 0.05$) con *D. acuta* rango **3** y **4**, mientras VDM rango **2** se asocia positiva y significativamente ($4.0 > 1.96$ $p < 0.05$) con el rango **2** de la microalga. Los sectores caracterizados por estas relaciones son Aysén (VDM rango **4**) y Los Lagos (VDM rango **2**) incluido el sector de Raúl Marín Balmaceda (Figura 5.92).

VDM y *P. reticulatum* son variables que también están asociadas (χ^2 , $p < 0.05$) de acuerdo al análisis de contingencia, con una correlación general positiva y significativa (R de Pearson = 0.44 y Spearman = 0.48, $p = 0.000$). El detalle de los residuos entregado por el mismo análisis, señala que VDM rango **4** está asociada positiva y significativamente ($6.6 > 1.96$, $p < 0.05$) con *P. reticulatum* rango **5**, mientras VDM rango **2** se asocia positiva y significativamente ($2.5 > 1.96$, $p < 0.05$) con los rangos **2**, **3** y **4** de la microalga. Los sectores caracterizados por estas relaciones son el sur de Aysén (VDM rango **4**), y Los Lagos (VDM rango **2**) incluido el sector de Raúl Marín Balmaceda y Melinka así como el sector norte y centro de Magallanes (Figura 5.92).

VDM rango mínimo no se encuentra asociada significativamente a una especie en particular. Sólo una estación representa este rango (L14 isla Talcán), situada en islas Desertores en la región de Los Lagos por lo que el análisis reflejó sólo la condición particular de ésta estación.

La asociación entre los rangos de las tres especies fue positiva y significativa (χ^2 $p < 0.05$). La mayor correlación encontrada fue entre *D. acuta* y *P. reticulatum* (R de Pearson = 0.84 y Spearman = 0.80, $p = 0.000$), seguido de *D. acuta* y *D. acuminata* (R de Pearson = 0.24 y Spearman = 0.32, $p = 0.000$) y finalmente *D. acuminata* y *P. reticulatum* (R de Pearson = 0.20 y Spearman = 0.21, $p = 0.012$). Los resultados indican una influencia diferencial de las microalgas en la frecuencia de positivos para VDM por región. Aysén es la que presenta el rango mayor de frecuencia por VDM fundamentalmente asociado a rangos altos de *P. reticulatum*, *D. acuta* y, en menor grado, *D. acuminata*. En Los Lagos se observa el rango 2 de frecuencia por VDM y está asociado fundamentalmente a *D. acuta* y en menor grado a *P. reticulatum*, mientras que en Magallanes predomina la frecuencia de positivos por VDM de rango 3, fundamentalmente asociada a *D. acuminata* por cuanto *D. acuta* y *P. reticulatum* aparecen como no detectables para la región durante el periodo de estudio.

VAM y microalgas asociadas: *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*

VAM

En la región de Los Lagos, las áreas en las que se registró ácido domoico, abarca desde Calbuco (L04) hasta isla San Pedro 2 (L23N2). Las concentraciones de AD son bajas, que van desde los 0,0001 (niveles trazas) a $1,05 \mu\text{g g}^{-1}$ AD (límite para consumo $20 \mu\text{g g}^{-1}$ AD), durante los meses de primavera (diciembre) y verano (enero, febrero y marzo). Para comienzos de verano (enero), se detectó AD en estaciones de Chiloé centro (L08, L09, L10N2, L10N3) y Chiloé sur (L16, L16N1 y L20), con rangos entre los niveles traza y $0,81 \mu\text{g g}^{-1}$. Durante febrero, el AD se concentró en estaciones de Chiloé norte (L04, L04N3 y L05), Chiloé centro (L11 y L12) y Chiloé sur (L19N1, L22 y L23N2), con rangos entre los niveles traza y $1,86 \mu\text{g g}^{-1}$. En el mes de marzo, sólo hubo detección de trazas en I. Mechuque (L08). Durante los meses de otoño, invierno y principios de primavera no se detectaron señales para este tipo de toxina en toda la zona, a excepción del mes de junio, registrándose una concentración promedio de $0,5 \mu\text{g g}^{-1}$ AD en el sector de Hueihue (L06).

En la región de Aysén, se registraron concentraciones de AD en estaciones localizadas en estero Pitipalena, archipiélago de las Guaitecas, canales Moraleda, Yacaf, Puyuhuapi, Cupquelán y caleta Tortel. Por el contrario, en aquellas estaciones más oceánicas (A03N1, A05N2, A26, A38N2, A38N3, A38N4, A41N1, A49N1, A62), no se registraron concentraciones de AD. En general, las concentraciones detectadas son bajas, variando entre los 0,0001 a los $2,64 \mu\text{g g}^{-1}$, con excepción de Playas Largas (A43), registrando un valor de $7,85 \mu\text{g g}^{-1}$ en el mes de mayo. Los meses en que se concentra la detección de esta toxina, es durante los meses de otoño (abril, mayo, junio), invierno (julio, agosto, septiembre) y primavera (octubre, noviembre, diciembre), apreciando diferencias en las concentraciones según los meses en los cuales se presenta. Durante abril, las concentraciones varían entre los 0,0001 a $0,86 \mu\text{g g}^{-1}$ en la zona de Pitipalena, canales Yacaf, Puyuhuapi, Cupquelán y Moraleda (Sur). En el mes de mayo, se detectaron principalmente trazas en la zona de archipiélago

de Las Guaitecas y caleta Tortel. En canal Puyuhuapi, las concentraciones variaron entre los 1,8 a 2 $\mu\text{g g}^{-1}$. En los meses de junio y julio se detectó AD sólo a nivel de trazas, además de que su distribución en la zona fue bastante limitada. En agosto, el AD se presenta de manera extensa en la región, abarcando desde estero Pitipalena a canal Cupquelán, pero con concentraciones que no superaron el límite de detección (0,0001 $\mu\text{g g}^{-1}$). En el mes de octubre, se observa una zona con detecciones entre canal Yacaf, Isla Magdalena y canal Puyuhuapi con concentraciones entre los 0,28 a 1,67 $\mu\text{g g}^{-1}$. En noviembre, sólo se tiene registro en Isla Palumbo (0,77 $\mu\text{g g}^{-1}$). Finalmente, en el mes de diciembre, encontramos al sur de canal Moraleda concentraciones entre los 0,0001 a 0,42 $\mu\text{g g}^{-1}$ de ácido domoico.

En Magallanes, los registros de ácido domoico, tienen una extensión geográfica y presencia temporal más acotada. Se han detectado bajos niveles de AD en la zona de Magallanes Norte y seno San Pedro (M34), estación ubicada al oeste del estrecho de Magallanes. Las concentraciones son bajas, presentando rangos entre los 0,0002 a 0,19 $\mu\text{g g}^{-1}$. Estas detecciones se concentran mayoritariamente en los meses de mayo y junio y de forma ocasional en los meses de julio, septiembre.

Pseudo-nitzschia cf. australis

El análisis de conglomerados arrojó un total de 18 grupos significativos con un porcentaje promedio de similitud SIMPROF > 65 (Figura 5.95), agrupados en base a la abundancia relativa mensual máxima por grupo (**ARPMG**). 6 grupos reunieron el 67% (106) del total de estaciones (158). Los grupos son **e**, **g**, **l**, **q**, **a** y **f**, con **ARPMGs** entre 2.5 y 4.56 (Tabla 5.22). El grupo **e** (Figura 5.96; círculos magenta), con 28 estaciones (18% del total) y **ARPMG** de 2.5 ocurrido en diciembre, representa estaciones mayormente localizadas en el sector norte oriental de Aysén y Melinka. El grupo **g** (Figura 5.96; círculos rojo), con 20 estaciones (13% del total) y **ARPMG** de 4.56 ocurrido en febrero, representa estaciones todas localizadas en el sector centro occidental y sur de Los Lagos. El grupo **l** (Figura 5.96; círculos azul), con un **ARPMG** de 4.09 ocurrido en diciembre, representó a 17 estaciones (11%), todas localizadas en el sector sur de Aysén. El grupo **q** (Figura 5.96; círculos anaranjado), con un **ARPMG** de 3.39 ocurrido en enero, representó a 15 estaciones (9%) del total, todas situadas en el sector norte de Magallanes. El grupo **a** (Figura 5.96; círculos verde), con un **ARPMG** de 1.39 ocurrido en junio, representó a 13 estaciones (8%) del total, todas localizadas en el sector central de Magallanes, incluida una estación, M23 isla Ballesteros, situada en el sector norte meridional de Magallanes. El grupo **f** (Figura 5.96; círculos pardo), con un **ARPMG** de 3.75 ocurrido en diciembre, representó a 13 estaciones (8%) del total, todas localizadas en el sector norte, centro y sur occidental de Los Lagos. De las 52 estaciones restantes (33%), 25 se localizan en Aysén, 20 en Magallanes y 7 en Los Lagos.

A partir de los resultados del análisis de conglomerados para *P. australis*, es posible definir 4 rangos de **ARPMG** (Tabla 5.22). De menor a mayor son:

1	ND - 1.9	(Figura 5.98 a)
2	2.0 - 2.9	(Figura 5.98 a,b)
3	3.0 - 3.9	(Figura 5.98 a,d)
4	≥ 4.0	(Figura 5.98 a,d)

El rango **1**, está integrado solo por el grupo **a**, ya descritas arriba, con 13 estaciones distribuidas en el sector centro de Magallanes, y una estación, M23 isla Ballesteros, localizada hacia el interior del Golfo Almirante Montt en el sector norte de la misma región (Figuras 5.96, 5.97; círculos verde).

El rango **2** está integrado por los grupos **e**, **r** y **b**, con 41 estaciones que representan el 26% del total de estaciones considerando las tres regiones, la mayoría principalmente en Aysén (21 estaciones), seguida por Los lagos (11 estaciones) y Magallanes (9 estaciones) (Figuras 5.96, 5.97; círculos magenta, celeste y lima). Sus **ARPMG** ocurren en diciembre, enero y abril, respectivamente.

El rango **3** está integrado por los grupos **q**, **f**, **d**, **m**, **k**, **c**, **p** e **i**, representan a 52 estaciones, 33% del total de estaciones, en su mayoría localizadas en la región de Magallanes (28 estaciones), seguido por Los Lagos (14 estaciones) y Aysén (10 estaciones) Figuras 5.96, 5.97; círculos anaranjados, pardo y violeta, rombos aqua, gold, rosado, salmón y gris). Sus **ARPMG** ocurren entre enero y marzo.

El rango **4** está integrado por los grupos **g**, **l**, **h**, **o**, **j** y **n**, que representan a 52 estaciones, 33% del total de estaciones, que se distribuyen principalmente en Aysén (32 estaciones), seguido por Los Lagos (20 estaciones) (Figuras 5.96, 5.97; círculos rojo, azul y amarillo, rombos verde oscuro, fucsia y oliva). Sus **ARPMG** ocurren entre septiembre y febrero.

En síntesis, *P. cf. australis* predomina con rango **4** en Aysén y Los Lagos, y con rango ≤ 3 en Magallanes.

Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima

El análisis de conglomerados arrojó un total de 23 grupos significativos con un porcentaje promedio de similitud SIMPROF > 65 (Figura 5.99), agrupados en base a la abundancia relativa mensual máxima por grupo (ARPMG). 6 grupos reunieron el 54% (86) del total de estaciones (158). Los grupos son **p**, **g**, **m**, **b**, **w** y **t**, con ARPMGs entre 1.3 y 4.86 (Tabla 5.23). El grupo **p** (Figura 5.100; círculos magenta), con 20 estaciones (13% del total) y **ARPMG** de 3.59 ocurrido en enero, representa estaciones mayormente localizadas en el sector norte de Magallanes. El grupo **g** (Figura 5.100; círculos rojo), con 19 estaciones (12% del total) y **ARPMG** de 4.86 ocurrido en enero, representa estaciones todas localizadas en el sector centro sur de Aysén. El grupo **m** (Figura 5.100; círculos azul), con un **ARPMG** de 3.32 ocurrido en febrero, representó a 15 estaciones (9%), en su mayoría localizadas en el sector sur de Los Lagos. El grupo **b** (Figura 5.100; círculos anaranjados), con un **ARPMG** de 4.34 ocurrido en diciembre, representó a 13 estaciones (8%) del total, todas situadas en el sector norte de Magallanes. El grupo **w** (Figura 5.100; círculos verdes), con un **ARPMG** de 1.3 ocurrido en octubre,

representó a 10 estaciones (6%) del total, todas localizadas en el sector central de Magallanes. El grupo **t** (Figura 5.100; círculos pardos), con un **ARPMG** de 2.15 ocurrido en octubre, representó a 9 estaciones (6%) del total, todas localizadas en el sector norte meridional de Magallanes. De las 72 estaciones restantes (46%), 41 se localizan en Aysén, 16 en Los Lagos y 15 en Magallanes.

A partir de los resultados del análisis de conglomerados para *P. cf. pseudodelicatissima*, es posible definir 5 rangos de **ARPMG** (Tabla 5.23). De menor a mayor son:

1	ND - 1.9	(Figura 5.102 a)
2	2.0 - 2.9	(Figura 5.102 a,b,c,e)
3	3.0 - 3.9	(Figura 5.102 a,b,d,e)
4	4.0 - 4.9	(Figura 5.102 a-e)
5	≥ 5.0	(Figura 5.102 b-d)

El rango **1**, está integrado solo por el grupo **w**, ya descrita arriba, con 10 estaciones todas localizadas en el sector centro de Magallanes (Figuras 5.100, 5.101; círculos verde).

El rango **2** está integrado por los grupos **t, n, v, q** y **l**, con 29 estaciones que representan el 18% del total de estaciones considerando las tres regiones, la mayoría principalmente en Magallanes (16 estaciones), sectores norte meridional y estrecho de Magallanes; seguida por Los Lagos (8 estaciones) localizadas principalmente en el seno Reloncaví, y Aysén (5 estaciones) principalmente ubicadas en Melinka (Figuras 5.100, 5.101; círculos pardo y amarillo, rombos aqua, salmón y gris). Sus **ARPMG** ocurren en octubre, septiembre y enero, respectivamente, para los 3 primeros grupos, y en diciembre para los dos últimos.

El rango **3** está integrado por los grupos **p, m, s, r**, y **f**, representan a 57 estaciones, 30% del total de estaciones, en su mayoría localizadas en de la región de Los Lagos (21 estaciones), principalmente en el sector sur; seguido por Magallanes (16 estaciones) localizadas en el sector norte; y Aysén (10 estaciones) principalmente sector Raúl Marín Balmaceda y Tortel (Figuras 5.100, 5.101; círculos magenta, azul y lima; rombos plata y beige). Sus **ARPMG** ocurren entre enero, febrero, septiembre, diciembre y octubre, respectivamente.

El rango **4** está integrado por los grupos **g, b, o, j, d, e, i** y **u**, que representan a 53 estaciones, 34% del total de estaciones, que se distribuyen principalmente en el sector centro-sur de Aysén (32 estaciones), seguido por Los Lagos (13 estaciones) sector centro-norte; y Magallanes (8 estaciones) todas en el sector sur (Figuras 5.100, 5.101; círculos rojo, anaranjado y celeste; rombos gold, violeta, oliva, marrón y negro). Sus **ARPMG** ocurren en noviembre (grupo **i**), diciembre (grupos **b, d** y **u**), enero (grupos **g** y **j**), febrero (grupo **e**) y marzo (grupo **o**).

El rango **5** está integrado por los grupos **h, a, k** y **c**, que representan a 19 estaciones, 12% del total de estaciones, que se distribuyen principalmente en el sector centro-norte de Aysén (16 estaciones), seguido por Los Lagos (3 estaciones) sector de Calbuco (Figuras 5.100, 5.101; círculo violeta; rombos

verde oscuro, fucsia y anaranjado oscuro). Magallanes no está representada en este rango. Sus **ARPMG** ocurren en enero (grupo **a**), febrero (grupos **h** y **k**) y abril (grupo **c**).

En síntesis, *P. cf. pseudodelicatissima* predomina con rango ≥ 3 en Aysén y Los Lagos, y con rango ≤ 3 en Magallanes.

5.4.5. ¿Es factible a partir de la base de datos definir de manera objetiva el número de sitios de muestreo y la distancia entre sitios de muestreo, según las tendencias temporales de la concentración de veneno paralizante en mariscos selectos u otras variables?

Del análisis de la información gráfica (Anexo 5.1) se desprende que si se analizan todas las variables en conjunto, en ningún sitio es posible adoptar una decisión orientada a eliminar algún sitio de muestreo cercano, dado que en todas las ocasiones siempre hubo algunas variables que mostraron tendencias diferentes y por tanto no hacían posible el discriminar respecto de cuáles podrían seguir siendo monitoreadas y cuáles eliminadas. Distinta es la situación si se analizan sólo Veneno Paralizante y *A. catenella* o Positivos a toxinas lipofílicas y variabilidad de *D. acuminata*, *D. acuta* y *P. reticulatum* o detecciones de ácido domoico y *Pseudo-nitzschia* spp., pues en esos casos es factible apreciar el sentido de las tendencias y finalmente para esos casos, es necesario además abrir la serie de tiempo, en términos de extenderla desde mayo de 2006 hasta febrero de 2014, a fin de lograr una serie del orden de 70 puntos, que corresponden a los promedios mensuales de cada año calendario. Sin embargo, dado que todos los sitios de muestreo están establecidos para evaluar de manera conjunta cualquiera de los complejos tóxicos considerados en concordancia con la abundancia relativa de las especies de microalgas señaladas, sólo de la apreciación gráfica se desprende que no existe ningún sitio de muestreo que pueda ser eliminado si se ponderan conjuntamente las 10 variables consideradas. En principio considerando sólo veneno paralizante de los mariscos y abundancia relativa de *A. catenella* es factible definir un conjunto de sitios de muestreo de las regiones de Aysén y Magallanes, que sería factible eliminar, sin embargo, en ambas regiones, dados los resultados disponibles, es necesario considerar también los resultados para las toxinas lipofílicas y las estimaciones de abundancia relativa de los tres taxones ligados a la producción de estos compuestos (*D. acuminata*, *D. acuta* y *P. reticulatum*). Se debe tener presente que actualmente existen detecciones de AO, DTX1, PTXs, YTXs, SPXs y AZPs (toxina esta última cuya fuente primaria aún no ha sido identificada para aguas nacionales), compuestos que son co-extraídos al aplicar el bioensayo ratón para veneno diarreico.

5.4.6. ¿Es factible establecer una relación predictiva entre estimadores de la abundancia relativa de taxones nocivos y la densidad de estos taxones?

En la Tabla 5.24 se muestran los coeficientes de determinación y correlación de las regresiones entre las variables abundancia relativa (AR) y densidad numérica para los cuatro taxones nocivos de estudio. En general los resultados de los coeficientes de determinación y correlación mostraron que todos los modelos, excepto el exponencial y el potencial en el caso de *Dinophysis acuminata*, alcanzan

significación al 5% (Tabla 5.24). Para *Alexandrium catenella* y *Protoceratium reticulatum* los valores más altos del coeficiente de determinación se obtuvieron para el modelo potencial (0,9589 y 0,8615, respectivamente). En el caso de *Dinophysis acuminata* el modelo logarítmico es el que alcanza un mayor coeficiente de determinación (0,4659), mientras que, para *Dinophysis acuta* es el modelo potencial el que alcanza un mayor coeficiente de determinación (0,9087), aunque en este último caso los modelos logarítmico y lineal alcanzan valores de coeficientes de determinación similares al modelo lineal. Los diagramas de dispersión correspondientes reforzaron la sugerencia que los modelos seleccionados describen de buena forma la relación entre la AR y la densidad de estos dos taxones nocivos (Figuras 5.103, 5.104, 5.105, 5.106).

En la Tablas 5.25 se entregan los promedios ($\pm$ error estándar) de la densidad (cél L⁻¹) por nivel de AR para cada una de los cuatro taxones nocivos estudiados. Se observó que para cada una de los taxones, excepto para *Protoceratium reticulatum*, los niveles superiores de la AR coinciden con los valores de la Tabla 2.2 (Capítulo 2), lo que nos indicó que los grupos de estaciones utilizados en este análisis cubren los niveles máximos de AR registrados en la macrozona de estudio.

5.5. DISCUSIÓN

A fin de facilitar la comprensión de los resultados, el análisis de la información se ha abordado de lo general a lo particular. La magnitud de la base de datos y la variedad de temas considerados, determinan que un análisis profundo de estos antecedentes, deba ser efectuado en varias etapas.

El orden de esta discusión se ha establecido sobre la base de la secuencia como han sido presentado siete interrogantes incluidas en la propuesta técnica e indicadas en la metodología de este trabajo.

5.5.1. ¿Existen configuraciones espacio temporales (“patterns”) del fitoplancton total en los fiordos y canales australes entre seno de Reloncaví y Canal Beagle?

Los resultados están mostrando que el fitoplancton cuantitativo del área de estudio, desde la región de Los Lagos hasta la región de Magallanes, presenta una clara ordenación espacial y temporal, con configuraciones espaciales propias para cada región de estudio. Este es un resultado relevante, por cuanto está mostrando que para el período estudiado de casi 8 años, existe una caracterización general tanto en el espacio como el tiempo, del micro-fitoplancton que tipifica el sistema de fiordos y canales australes.

La definición de esta ordenación, determina la posibilidad de desarrollar hipótesis de trabajo específicas e iniciar la explicación del porqué de las mismas y sus implicancias. No obstante que se segregaron estaciones como grupos individuales, en lo general se advierte que el fitoplancton cuantitativo es distinto en las tres regiones administrativas de cada región, y además en cada región se distinguen claramente sectorizaciones que tipifican sectores claramente identificables del área de estudio y propios de cada región administrativa.

En cuanto a los sitios que segregaron en forma individual, obedecen más bien a un artefacto del análisis de conglomerados debido a la sensibilidad del índice de similitud empleado, permitiendo la segregación de estaciones que mostraron promedios anuales con una clara predominancia numérica de una o unas pocas especies, determinando que estos sitios individuales no integran conglomerados definidos en sectores adyacentes.

En un estudio reciente se ha mostrado para la región de Magallanes, que existen estas configuraciones espaciales del fitoplancton y que son correspondientes con la presencia de sectores con mayores probabilidades de presentar veneno paralizante de los mariscos (i.e. núcleos de toxicidad), lo cual se hizo considerando antecedentes disponibles para al área norte de esta región entre 1997 y 2004 (Paredes et al., 2014). Por tanto este estudio está mostrando que estas configuraciones no sólo son confirmadas para la región de Magallanes, usando nuevos antecedentes, sino que además permiten mostrar estas configuraciones en otros sectores de esta región, que hasta ahora no habían sido abordados, y porque además es posible distinguir también en forma nítida estas configuraciones de macro escala en las regiones de Los Lagos y de Aysén.

Asimismo, desde el punto de vista temporal, se aprecia que existe una clara tendencia a mostrar un fitoplancton más diverso y más abundante en los meses de primavera-verano, en comparación con otoño-invierno en todas las regiones administrativas consideradas en este estudio, no obstante las evidentes diferencias que existen entre regiones, e incluso dentro de una misma región.

Y además las configuraciones son explicadas mayoritariamente por unas 40 especies, considerando todos los conglomerados en conjunto, pero son del orden de 15 especies las que explican la mayor parte de la abundancia numérica del fitoplancton estudiado. Es evidente también que en estas configuraciones los dinoflagelados tóxicos constituyeron una fracción muy menor del fitoplancton total y la excepción desde el punto de vista numérico, lo constituyen las especies de *Pseudo-nitzschia*, *P. cf australis* y *P. cf pseudodelicatissima*.

Tal como ha sido señalado por algunos autores, el fitoplancton presente en la zona de canales y fiordos del sur de Chile está dominado por diatomeas por sobre los demás grupos que lo conforman (Cassis et al. 2002; Avaria et al., 2004, Valenzuela & Avaria 2009). Sin embargo, se apreció un cambio en la composición específica determinado tanto por variables espaciales y temporales. En este nivel, los patrones de distribución observados son determinados por varios procesos que operan a gran escala que afectan a los organismos que habitan en amplias regiones y la estructura general de las comunidades (Gaston & Blackburn 2000).

De esta manera, en gradiente norte-sur de este gran sistema de fiordos y canales, es posible encontrar especies constantes en la comunidad del micro-fitoplancton. Tal es el caso de las diatomeas *Skeletonema* spp, *Chateoceros*, *Thalassiosira* y *Pseudo-nitzschia*, todas ellas, con especies representadas en todo el mundo. Para el caso de *Skeletonema* spp., esta presenta un amplio rango de tolerancia para variables como temperatura (euritérmica) y salinidad (eurihalina). Se presentó además, con altas contribuciones en zonas estuarinas (ej. estuario de Reloncaví), alcanzando hasta el 90% de la población total. En zonas más oceánicas, sus contribuciones son más bajas, pero en la mayoría de las zonas, presentó la mayor contribución al total de la población. No obstante, *Skeletonema* spp., en su morfotipo de aguas de baja salinidad (Romero 1994) sea más exitosa en alcanzar altas abundancias, en comparación con su morfotipo de aguas de mayor salinidad.

Las especies nocivas mostraron diferencias, tanto en su distribución espacial, como temporal, manteniendo sin embargo una baja contribución al ensamble de fitoplancton. Para el sector del estuario y seno de Reloncaví, no se registraron células de *A. catenella*, apareciendo sólo desde localidades de Chiloé centro- sur hasta el canal Beagle diferenciándose en la continuidad temporal entre regiones. En la zona norte de Aysén (Puerto Barrientos), esta especie alcanzó una contribución a la similitud del ensamble cercana al 9%. Es importante sin embargo considerar la anomalía que representa la floración de esta especie durante 2009, determinando un incremento en los valores promedios para el lapso estudiado. *A. ostentfeldii* está presente desde Chiloé sur hasta Magallanes, pero con diferencias en su contribución temporal. *D. acuminata* se encuentra desde Los Lagos hasta Magallanes, con bajas contribuciones entre los meses de otoño tardío (junio) e invierno en la región de Magallanes. *D. acuta*, presenta una distribución espacial más acotada y con contribuciones más

bajas. *P. reticulatum* no presentó registros en la zona sur de la región de Magallanes. Con respecto a las especies nocivas, *P. cf. pseudodelicatissima* y *P. cf. australis* se presentan como un componente común en la zona de canales y fiordos del sur del país, con importantes contribuciones en algunos sectores, siendo más importante cuantitativamente *P. cf. pseudodelicatissima* por sobre *P. cf. australis*, con excepción en algunas estaciones de Aysén y Magallanes.

5.5.2. ¿De existir estas configuraciones espacio temporal, como se relacionan con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?

Si bien, la representación gráfica de los promedios mensuales de abundancia de cada una de las especies nocivas muestra una buena correspondencia con las variaciones que presenta a través del año la abundancia del fitoplancton total, al aplicar un análisis de correlación, éstas presentan una gran variabilidad dependiendo del sector correspondiente a cada grupo seleccionado y segregado mediante un análisis de conglomerados aplicado a cada una de las especies nocivas.

Las mayores abundancias de las especies nocivas, fueron encontradas en los periodos de primavera y principios de verano, coincidiendo en muchos casos con el pico primaveral presentado por el fitoplancton total, en especial las especies *P. cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*. Esto resulta bastante lógico al tratarse de dos especies de diatomeas, grupo que contribuye con el mayor porcentaje a la abundancia total del fitoplancton. Sin embargo *P. cf. pseudodelicatissima* solo mostró una alta correlación al hacer el análisis incluyendo todos los grupos segregados por el análisis de conglomerados lo que nos indicaría que su variación estacional está condicionada por las diferentes variables ambientales según el sector, y al tratarse de una diatomea probablemente se asocie a la entrada de nutrientes. Los estudios previos sobre comunidades planctónicas para la zona, indican que en verano las aguas interiores de los fiordos chilenos son muy fértiles, como lo reflejan las altas tasas de crecimiento de fitoplancton (Avaria *et al.* 1999; Pizarro *et al.* 2000). Así, en las zonas interiores adyacentes a los fiordos la biomasa fitoplanctónica estaría dominada ampliamente por el micro-fitoplancton ($>20 \mu\text{m}$) (Avaria 2006), mientras que en las zonas con influencia oceánica las contribuciones de las fracciones de pico- ($<2 \mu\text{m}$) y nano-fitoplancton ($2-20 \mu\text{m}$), tenderían a equiparar la del micro-fitoplancton (Pizarro *et al.* 2000). Mientras que en las zona más austral (Magallanes sur), la contribución por parte de cada clase de tamaño de fitoplancton revela la dominancia del pico y nano-fitoplancton durante la estación de verano, que el micro-fitoplancton comprende gran parte de la biomasa durante la primavera (Iriarte *et al.* 2001). Por otra parte se puede observar para algunos de los taxones nocivos (principalmente dinoflagelados), un pequeño desfase con respecto a los máximos en las abundancias del fitoplancton total, coincidiendo con la teoría de sucesiones de las comunidades fitoplanctónica planteada por Margalef (1978). De acuerdo con este autor esta secuencia correspondería a una sucesión típica de zonas templadas, en donde la composición del fitoplancton responde a un gradiente mezcla-estratificación y las condiciones fisicoquímicas asociadas. Sin embargo, la baja correlación encontrada para la mayoría de las especies nocivas con respecto al fitoplancton total hace suponer que su dinámica y desarrollo no estaría ligado directamente a los cambios en el micro-fitoplancton total y su variación más bien podría relacionarse con los patrones espaciales y la variación de los factores (físicos, químicos y biológicos) asociados a cada una de las zonas. Esto coincide con lo que plantea Avaria *et al.* (1999) el cual sugiere que la variación en la

sucesión fitoplanctónica durante la época productiva de primavera, varía localmente según la zona y sus características particulares en los fiordos y estuarios chilenos. Típicamente, esta sucesión estaría determinada por factores físicos como temperatura, fotoperiodo e intensidad de la irradiación, precipitación, estratificación, dirección e intensidad del viento, patrones de circulación y advección horizontal; factores químicos como concentración de nutrientes inorgánicos disueltos; fosfatos y por último, factores biológicos como la competencia y ciclo de vida de cada especie, tamaño del inóculo en forma de quistes o células vegetativas, hábitos alimenticios (autotrofia, mixotrofia, heterotrofia). Sin embargo al intentar buscar patrones y relaciones en el desarrollo y crecimiento de las algas nocivas no se puede excluir el carácter sinérgico de todos los factores antes mencionados, muchos de los cuales podrían explicar de mejor forma la dinámica para cada una de las especies nocivas estudiadas y su variación y relación con el fitoplancton total.

Los resultados obtenidos hacen considerar las forzantes oceanográficas y meteorológicas como un factor que podría ser relevante para tratar de explicar la aparición y la distribución espacio temporal de las especies nocivas en los canales y fiordos del sur de Chile. En este contexto, se podrían considerar variaciones latitudinales que podrían estar influenciadas principalmente por el gradiente de temperatura norte-sur como también un gradiente longitudinal caracterizado por presentar una fuerte dinámica de los factores físicos y químicos y por una compleja circulación de tipo estuarina, con valores bajos de salinidad en la proximidad de la cabeza de los fiordos, la que aumenta progresivamente en las proximidades de la conexión de los canales hacia la zona más oceánica (Silva *et al.*, 1997; Guzmán & Silva, 2002; Silva & Calvete, 2002). No obstante, el efecto de los factores oceanográficos y meteorológicos y su relación con el fitoplancton nocivo no se desarrollan en detalle en esta pregunta y se analizan en mayor profundidad en el punto 5.3 de este capítulo (Ver pregunta 3). Sin embargo hay factores que no se han considerado en este capítulo, y que son de gran relevancia en el desarrollo de cada una de las especies y que podrían tener gran relevancia en el desarrollo y la dinámica de los ensambles fitoplanctónicos y en especial de los de las especies nocivas en estudio.

En diversos trabajos de ecología del fitoplancton se ha demostrado que la presencia simultánea de diferentes especies y grupos de microorganismos puede afectar el crecimiento de los dinoflagelados ya sea por competencia sobre uno o varios recursos limitantes, por pastoreo, por desplazamiento alelopático, o por alteración funcional de los procesos fisiológicos intrínsecos de cada especie (Okaichi, 2003; Córdova *et al.*, 2003). Las estrategias competitivas de adaptación y sobrevivencia que cada especie utilice son determinantes para poder desarrollarse o dominar en un espacio y tiempo determinado. Así, tasas de crecimiento, enquistamiento, mortalidad, nutrición (autotrofia vs mixotrofia) toman una importancia vital para poder conocer y comprender mejor la dinámica poblacional, distribución y abundancia de las diferentes especies toxicas. La variabilidad de los factores ambientales pueden tener un impacto directo en las especies de dinoflagelados, ya sea a través de su fisiología, incluyendo procesos metabólicos y reproductivos, así como afectando su entorno biótico (depredadores, presas, interacciones entre especies) y el abiótico (tipo de hábitat y estructura). Esta variabilidad en las condiciones ambientales tienen una fuerte influencia sobre las tasas fisiológicas de las especies nocivas, en especial sobre el crecimiento y enquistamiento. Los procesos que pueden afectar estas tasas de las poblaciones naturales de dinoflagelados son: a) cambios en el ambiente

físico como ondas internas, advección y condiciones meteorológicas, b) cambios en el ambiente biológico como la tasa de crecimiento, hundimiento y pastoreo por zooplancton, lo cual varía entre las especies que coexisten en la comunidad del fitoplancton, c) cambios en el ambiente químico como la concentración de nutrientes y las razones entre ellos (razón N:P), cambios en el pH en la columna de agua o por cambios en las concentraciones de dióxido de carbono disuelto. Este último punto es de gran importancia ya que prácticamente todas las principales funciones biológicas (fotosíntesis, la tasa de respiración, tasas de crecimiento, fijación del nitrógeno, tasas de reproducción, y el reclutamiento) puede ser afectados por estos cambios químicos. Relevancia especial toman la introducción de nutrientes al sistema el cual puede determinar el aumento y/o disminución de la producción primaria o cambios en la estructura de la comunidad fitoplanctónica. En este sentido la capacidad de asimilar y aprovechar esta entrada de nutrientes podría determinar el mayor crecimiento de diatomeas en las floraciones de primavera al competir por este recurso con las especies de dinoflagelados (Niemi 1975). Según Smayda (1997) los dinoflagelados son considerados organismos de crecimiento lento lo que supondría una clara desventaja con respecto a las diatomeas cuando hay excesos de nutrientes. Así los dinoflagelados, o deben ser favorecidos por factores ambientales o poseer adaptaciones para compensar su desventaja competitiva y prevalecer en la comunidad fitoplanctónica (Anke *et al*, 2008). Sin embargo hay que tener en consideración que los aportes de nutrientes desde los ríos al sistema de fiordos puede ser relativamente bajo en nitrógeno, donde el aporte de nitrógeno orgánico disuelto (NOD) domina por sobre en nitrato en fiordos prístinos del sur de Chile (Perakis & Hedin 2002) lo que favorecería la presencia de diatomeas.

5.5.3. ¿Cuáles son las variables biológicas, oceanográficas y meteorológicas que muestran una mayor correlación con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?

Los resultados indican que las tres zonas de estudio del sur de Chile presentaron una importante heterogeneidad ambiental debido diferentes procesos oceanográficos que ocurren simultáneamente. Lo anterior, se reflejó en el análisis de componentes principales (ACP) realizado para las variables ambientales y que mostró una clara relación con la distribución de las estaciones de muestreo, donde la mayor parte de las estaciones ubicadas en la región de Magallanes se situaron en condiciones de alta nubosidad, baja temperatura y salinidad alta, a diferencia de la mayoría de las estaciones de Aysén que se situaron en condiciones de baja salinidad, alta temperatura y baja nubosidad, mientras que, la mayor parte de las estaciones de Los Lagos se ubicaron en condiciones ambientales de alta temperatura, alta salinidad y baja nubosidad (Figura 5.55). Excepciones a estas distribuciones fueron registradas para los grupos de estaciones ubicadas en el estero Pitipalena y fiordo de Reloncaví que se ubicaron en condiciones de baja salinidad, asociadas a los aportes de aguas continentales (Figura 5.55). Este patrón de distribución de las estaciones de muestreo coincide con la variabilidad en los patrones de estructuras verticales de temperatura y salinidad descritas previamente en la zona (Silva *et al.*, 1997, 2002), en donde para los distintos canales, fiordos y golfos la variabilidad asociada a estas variables es la resultante de cambios entre condiciones más oceánicas, donde el forzante de la variabilidad en la temperatura es la radiación solar y condiciones estuarinas donde suele existir un aporte de aguas dulces más frías en invierno y más cálidas en verano (Sievers, H. 2006), mientras que, la variabilidad en la salinidad estaría explicada por la presencia de agua de mar y el aporte de

agua dulce proveniente de ríos, precipitaciones, escurrimiento costero y fusión de glaciares. Además de estas forzantes, se debe sumar la variabilidad aportada por procesos como la advección de aguas profundas y la mezcla vertical provocada por el viento.

A partir de los análisis de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) elaborados con las variables ambientales, se observa que, de los 11 grupos segregados 3 de ellos agrupan a la mayor cantidad de estaciones; el grupo c, con todas sus estaciones en la región de Magallanes; el grupo i, con todas sus estaciones ubicadas en Aysén y el grupo j, con la mayoría de sus estaciones ubicadas en Los Lagos y una menor proporción en el norte de Aysén (Figura 5.57). De estos grupos, es el ubicado en Magallanes el que presenta una menor similitud con el resto de grupos segregados, además, de forma clara se observa que el resto de los grupos segregados obedecen a características ambientales particulares, como lo sería el caso de los grupos d, f - e y b ubicados en el estero Pitipalena, fiordo de Reloncaví y Tortel, respectivamente. Probablemente la variabilidad ambiental reflejada a partir de este análisis, puede explicar en parte la distribución de los grupos de estaciones generados a partir de la abundancia del fitoplancton cuantitativo en la pregunta a) de este capítulo (MDS; Figura 5.4), ya que se conoce que esta variabilidad ambiental tendría un profundo efecto sobre la distribución espacial y la abundancia del fitoplancton provocando el desarrollo de agregaciones espaciales en diferentes escalas (Clarke *et al.*, 2008; Haury *et al.*, 1978), que es lo que uno de las principales resultados de la primera pregunta de este capítulo.

El análisis de conglomerados para la abundancia relativa de las siete especies nocivas permitió distinguir 27 grupos (2 segregados con estaciones individuales) de estaciones con un porcentaje alto de similitud entre ellas (>70%). Sin embargo, se observaron diferencias entre estos grupos segregados, especialmente entre el grupo de estaciones ubicadas en el fiordo de Reloncaví y los grupos segregados en las regiones de Los Lagos y Aysén (Figura 5.62). Estas diferencias se deben principalmente a la composición de especies nocivas que contribuyen a la similitud promedio de cada grupo, que en el caso del fiordo de Reloncaví estuvo compuesta por abundancia relativa de *Dinophysis acuminata* (AB_ACUM), abundancia relativa de *Pseudo-nitzschia* cf. *pseudodelicatissima* (AB_PP) y abundancia relativa de *Pseudo-nitzschia* cf. *australis* (AB_PA). La importancia numérica de *Dinophysis acuminata* (AB_ACUM) y su presencia en el fiordo de Reloncaví ya ha sido señalada en estudios anteriores realizados en el área (Clément *et al.*, 1994; Valenzuela & Avaria, 2009). En cuanto a los grupos segregados en la región de Magallanes, se puede observar que el grupo f, ubicado en el Seno Otway (Figuras 5.60, 5.61), presentó una similitud baja con el total de grupos segregados, donde la composición de especies nocivas que más contribuyeron a su similitud promedio fueron AB_ACUM, abundancia relativa *Alexandrium catenella* (AB_AC) y AB_PA. Posiblemente sean las condiciones estratificadas de estos sistemas las que favorezcan el crecimiento y ocurrencia de *Dinophysis acuminata* (Alves-de-Souza *et al.*, 2014). En cambio, para el grupo f, ubicado en el canal Jerónimo y Estrecho de Magallanes (Figura 5.60, 5.61), la composición de especies nocivas que más contribuyeron a su similitud promedio fueron AB_AC, AB_PP y AB_PA, la importancia de *Alexandrium catenella* en este sector ya ha sido descrita previamente por Guzmán *et al.* (2002) quienes han definido a esta zona como uno de los núcleos de toxicidad de la región de Magallanes, dada la alta ocurrencia de la fase vegetativa de esta especie. La ocurrencia de *Alexandrium catenella* en estos ambientes

podr3a estar asociada a la baja temperatura y alta salinidad de la columna de agua, condiciones en las cu3les se han reportado crecimientos m3ximos en condiciones de laboratorio (Navarro *et al.*, 2006; Uribe *et al.*, 2010; Laabir *et al.*, 2011). Para el resto de los grupos segregados, las especies que m3s contribuyeron a la similitud promedio fueron las diatomeas *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima* (AB_PP) y *Pseudo-nitzschia cf. australis* (AB_PA), marcando presencia en 22 de los 27 grupos segregados por el an3lisis de conglomerados, reflejando, que a pesar de la variabilidad ambiental de la zona de estudio, estas especies tuvieron una amplia distribuci3n geogr3fica, rasgo que ya ha sido descrito para este grupo en trabajos anteriores (ej. Hasle, 2002; MacIntyre *et al.*, 2011). Como se ha mencionado, las siguientes especies en importancia a la contribuci3n a la similitud promedio fueron los dinoflagelados *Dinophysis acuminata* (AB_DACUM) y *Alexandrium catenella* (AB_AC), por lo que, si se considera la caracter3stica cosmopolita de *P. cf. pseudodelicatissima* y *P. cf. australis*, se podr3a deducir que son estos dinoflagelados los que marcan las diferencias entre los grupos segregados.

En cuanto a la importancia de las variables ambientales en relaci3n a la abundancia relativa de las especies nocivas, las que mejor explican la ordenaci3n de las estaciones de muestreo en base a la abundancia relativa de este estudio son: entre las variables oceanogr3ficas, temperatura y salinidad y entre las variables meteorol3gicas la presi3n y nubosidad (Tabla 5.10). Sin embargo, al incluir todas las variables, es la temperatura a 5 metros de profundidad la que explica el 25% de la variabilidad de la abundancia relativa entre las estaciones de muestreo (Tabla 5.10). Esta variable podr3a explicar las diferencias encontradas para los grupos de estaciones, especialmente en la regi3n de Magallanes, ya que se conoce que el aporte de aguas fr3as de baja salinidad producto de los deshielos puede afectar la salinidad de la columna de agua incrementando la circulaci3n estuarina (D3vila *et al.*, 2002) y la estratificaci3n de la columna de agua, condiciones que favorecer3an el crecimiento y la ocurrencia de *Dinophysis acuminata* y *Alexandrium catenella*. Por otra parte en Magallanes, se debe sumar el efecto de la alta nubosidad en esta zona, que est3 inversamente correlacionado con la temperatura de la columna a 5 metros, que determinar3 una menor irradiaci3n sobre la columna de agua, condiciones en las cuales se ha registrado que *Alexandrium catenella* podr3a alcanzar tasas de crecimiento m3ximas (Laabir *et al.*, 2011). Adem3s, en este an3lisis se ha encontrado una baja correlaci3n con las variables direcci3n y velocidad del viento lo que indica, que para este estudio, el forzamiento de estas variables sobre otros procesos f3sicos como formaci3n de olas, corrientes y turbulencia de la columna de agua ser3an menos importantes que los efectos de la estratificaci3n de la columna de agua por aportes de agua dulce desde r3os y glaciares y sus efectos sobre distribuci3n de temperatura, salinidad, y transporte en la capa f3tica de las especies nocivas estudiadas.

Sin embargo, el bajo porcentaje de explicaci3n encontrado por parte de estas variables sobre la variabilidad de la abundancia relativa en las estaciones de muestreo, sugiere la necesidad de incorporar en futuros estudios a variables como la irradiaci3n, disponibilidad de nutrientes, ox3geno disuelto, estabilidad de la columna de agua, entre otros, de manera de tener un conjunto m3s amplio de variables ambientales que permitan explicar de mejor forma la variabilidad de la abundancia relativa de las especies nocivas en la macro-zona de estudio.

5.4.4. ¿Existen configuraciones espacio-temporales que puedan ser usadas como herramientas de prevención, en fenómenos de floraciones nocivas?

VPM y microalgas asociadas

Los seis rangos definidos para la toxicidad promedio mensual por VPM, tienen una buena correspondencia con las toxicidades de estaciones que conforman los 3 núcleos geográficos (Última Esperanza, estrecho de Magallanes y sur austral: canal Beagle) definidos previamente para la región de Magallanes en base a la mayor probabilidad de presentar toxicidad anualmente (Guzmán *et al.* 2002, 2006; GEOHAB, 2004; Muzio *et al.* 2012).

Así, las estaciones que conforman el núcleo de Última Esperanza (Figura 5.65; círculo y rombo violeta), estaciones M16-20 en el sector norte de Magallanes comprendido entre Isla Piazzí e isla Larga, se encuentran en el rango **6**. En dirección norte a sur de la región, se observa un claro gradiente de toxicidad en el área norte con un sector de inflexión comprendido entre M08 estero Falcon y M11 isla Topar, cuyo rango es **2** (Figura 5.65; círculos anaranjados). Al norte de este sector, los rangos de toxicidad aumentan gradualmente hasta llegar a la estación M04 canal Adalberto, pasando por los rangos de nivel de toxicidad **3**, **4** y **5** (Figura 5.65; rombo salmón, círculos amarillo y celeste, respectivamente), y continúa hacia el sector de Tortel donde el rango disminuye a **2** (Figura 5.65; círculos marrón). Hacia el sur del sector de inflexión, entre el sector M12 isla Figueroa y M14 puerto Bueno, el rango de toxicidad aumenta a nivel **4**, y continúa hasta llegar a isla Vancouver donde alcanza rango **5**. (Figura 5.65; rombo agua y círculo celeste, respectivamente). Este gradiente sigue aumentando hasta rango **6**, que es el sector que conforma el núcleo de toxicidad de Última Esperanza, antes descrito. Este gradiente continúa hacia las estaciones orientales en el sector meridional del área norte de Magallanes hasta llegar a bajar a rango **2** en M21 puerto Fontaine y M 22 estero de las Montañas, llegando a rango 3 en el interior del Golfo Almirante Montt con la estación M23 isla Ballesteros (Figura 5.65; círculos celeste, azul y rombo amarillo, respectivamente).

De la misma manera, las estaciones que conforman el núcleo de toxicidad del estrecho de Magallanes, M35 San Isidro y estaciones colindantes, se encuentra en el rango **6**, **5** y **4** (Figura 5.65; círculos rojo, magenta, verde y rombo verde). Curiosamente el sector de seno Otway interior (M29N1 isla Engelfield) no presentó toxicidad por VPM durante el periodo de estudio. Un patrón similar se observa en torno a M35 San Isidro, estación base del núcleo tóxico del estrecho de Magallanes (Figura 5.65; círculos rojo, magenta, verde-oscuro y rombo verde-oscuro). Desde M35 San Isidro rango **6**, disminuye a rango **5** hacia el occidente del estrecho hasta alcanzar el rango mínimo **2** y no detectable (rango **1**) hacia el interior del seno Otway. Este gradiente también se observa desde San Isidro hacia la boca oriental del estrecho donde disminuye a rango de 2 de toxicidad. El núcleo sur austral (Canal Beagle) se encuentra representado por el rango **5**.

Para Los Lagos, también existe un claro gradiente de toxicidad norte sur. Las estaciones dentro del rango **2** (Figura 5.65; círculos azules), el rango de menor toxicidad promedio mensual detectable por el bioensayo ratón, se encuentran al sur de Chiloé en la región de Los Lagos, mientras el resto de la región no presenta registros de toxicidad (rango **1**) (Figura 5.65; círculos blancos), condición que

continúa hacia el sector Raúl Marín Balmaceda. El rango VPM de no detectable se encuentra asociada significativamente con el rango no detectable de *A. catenella*, sin embargo también está asociado fuertemente con el rango 2 de la microalga. La presencia de la microalga en el ambiente, sin registro de toxicidad en los moluscos por bioensayo ratón, en general suele ocurrir con eventos de floración de intensidad baja y corta duración. Pero para el caso de Los Lagos, un análisis más resolutorio, indica que el sector centro es el que está mayormente asociado con el nivel 2 de abundancia relativa y ocurre en octubre (Figuras 5.75, 5.93). No obstante, es importante señalar que la presencia de *A. catenella* en el sector centro ha sido observada en condición esporádica y consecuentemente, los resultados obtenidos muestran la relación esperada entre estas variables. En el sector sur, el rango de toxicidad 2 por VPM está fuertemente asociado al rango 3 de *A. catenella* (Figuras 5.65, 5.69). Sin embargo, un análisis más detallado de los meses en que ocurren ambos eventos (Figura 5.93), indica que tales eventos se encuentran separados por al menos 5 meses. El rango de toxicidad 2 se asocia al mes de abril mientras el rango 3 de la microalga se asocia a los meses de septiembre y octubre. Con todo, no es posible descartar el aporte de *A. catenella* a la toxicidad en este sector particular de la región de Los Lagos, pues diversos mecanismos pudieron incidir en los resultados: Enquistamiento y desenquistamiento de quistes de resistencia; acumulación física de la fase vegetativa y/o quistes de la microalga; eventos intensos de floraciones de rápido desarrollo como el ocurrido durante marzo y abril de 2009 en Los Lagos y Aysén, región esta última donde se registraron hasta niveles de abundancia relativa de 9, niveles no registrados en años anteriores ni posteriores a 2009.

La región de Aysén en general presenta altas toxicidades en toda su cobertura geográfica en los periodos de enero-junio y septiembre-diciembre, presentando un patrón homogéneo de altos niveles que dificultan establecer sectores o núcleos de toxicidad en el canal central tal como ocurre con Magallanes. Así, desde el sector de Melinka hacia el sur, los rangos predominantes son 6, 5 y 4 (Figura 5.91; círculos rojo, magenta y lima). Solo la estación A48N1 canal del Cuchi, alcanza un rango 2 (Figura 5.91; círculo verde). Un análisis temporal de mayor resolución es probable que entregue mayores indicios para establecer un patrón característico para esta región, hipótesis que se someterán a análisis durante la siguiente etapa del estudio.

La abundancia relativa promedio mensual máxima por grupo (ARPMG) predominante en la región de Los Lagos es el rango 1 (ND) de *A. catenella*, mientras el rango 2 se localiza en el sector centro y el rango 3 está fuertemente localizado en el extremo sur de la isla de Chiloé, sector adyacente a la boca del Guafo. Estos rangos son los menores en abundancia relativa y representan lo esperado para esta zona, coincidente con el límite norte del área declarada plaga, actualmente vigente. El gradiente de VPM está en correspondencia con las abundancias relativas registradas para esta región (Figura 5.75) como se comentara más arriba.

En la región de Aysén el rango predominante es el 5, rango mayor de abundancias relativas promedios mensuales. Este rango predomina en el sur de la región a partir de la estación A18 punta Cálqueman y también se presenta localmente en el sector sur occidental de Melinka, canales expuestos a mar abierto al igual que los canales de Aysén insular sur. En esta región, es posible observar un gradiente hacia rangos menores a 5, en los canales interiores de Aysén continental como los canales Jacaf y

Puyuhuapi donde el rango disminuye a **3**. Hacia la entrada del seno Aysén el rango disminuye solo hasta **4**, lo mismo que en el interior del canal insular frente al seno, cerrado al mar abierto, y que está representado por la estación A48 isla Palumbo. Si bien se observa un gradiente en las abundancias relativas de *A. catenella*, ésta no se refleja en los niveles de toxicidad (Figura 5.75). Tortel es el único sector de Aysén que registra un rango de **3** como predominante, a excepción de la estación A56 isla Alert-Boca de Lobo que presenta rango **4**, sin embargo ambos rangos se corresponden con un nivel de toxicidad de **2**, nivel bajo comparado con lo que acontece en los canales Puyuhuapi y Yacaf, donde *A. catenella* rango **3** se corresponde con rangos de toxicidad **4** y **5**.

En la región de Magallanes, el rango **4** de *A. catenella* es el predominante. En el sector septentrional de Magallanes, el rango disminuye a **3** hacia el interior oriental representado por M22 estero Las Montañas y M23 isla Ballesteros, ambas estaciones resguardadas en el interior del fiordo Las Montañas y golfo Almirante Montt, respectivamente y por tanto un resultado esperable para esta dos estaciones que se corresponde con los bajos rangos de toxicidad por VPM observados anteriormente. Sin embargo, cabe resaltar que la homogeneidad del rango de abundancia relativa en el área norte de esta región, de **2** a **4** se refleja en un amplio espectro de rangos de VPM, de **2** a **6**, comparado con Aysén donde los rangos de *A. catenella*, de **3** a **6** se ven reflejados solo en los dos rangos mayores de VPM, **5** y **6** (Figuras 5.65, 5.69). De tal forma que el mayor gradiente de toxicidad observado por nivel de abundancia relativa, ha permitido definir "núcleos geográficos de toxicidad" en Magallanes, pero que se tornan difusos para la microalga.

De igual manera, en el estrecho de Magallanes es posible establecer un gradiente de abundancia relativa de mayor a menor, desde las estaciones M36 bahía Buena y estaciones adyacentes M35 San Isidro y M37 bahía Agua Fresca de rango **4** que disminuye hasta **3** hacia el sector oriental y occidental del estrecho. Por el occidente, el rango hasta la estación M34 bahía Bell, aumentando a rango **4**, entre M33 bahía Cordes y M28 estero Núñez, para nuevamente disminuir a rango **3** y **2** en el interior del seno Otway. Tal gradiente de abundancia relativa es diferente al gradiente de toxicidad observado para esta área. Un rango **4** de *A. catenella* se refleja en rangos de VPM de **4** y **5**, mientras el rango **3** de la microalga se refleja en rangos de **4** de VPM en el sector occidental del estrecho, y rangos de **2** y **ND** de VPM en el interior del seno Otway (Figuras 5.65, 5.69).

En el caso del área sur de Magallanes, el rango de abundancia relativa de *A. catenella* es de **4** y se caracteriza por ser homogéneo para el sector de canal Beagle al igual que la toxicidad por VPM que alcanza rango **5**.

Los resultados observados en Magallanes indican que el rango **4** de *A. catenella* puede reflejar rangos de VPM desde **3** como mínimo hasta **6** como máximo. El nivel **3** de abundancia relativa de *A. catenella* se refleja en rangos de VPM de **ND**, **2** y **4**, mientras que el rango **2** de la microalga se corresponde con rangos intermedios de VPM de **2**, **3** y **4**. Considerando las tres regiones, el rango **3** de *A. catenella* es el que se refleja un mayor espectro de rangos de toxicidad por VPM, desde **ND** (Los Lagos y Magallanes) a **6** (Aysén).

Las diferencias inter-regionales observadas pueden deberse a factores como un aumento localizado de la densidad de la microalga por división celular y/o acumulación física de la misma, de corta duración y no pesquizable entre fechas de muestreos; tasa de filtración, metabolización y eliminación de las toxinas por los transvectores; estaciones expuestas o cerradas al mar abierto o canales; diferencia interregional del contenido de toxina por célula de las poblaciones de *A. catenella*. Cómo y en qué magnitud aporta cada factor en las diferencias entre abundancia relativa y toxicidad por VPM, son preguntas que aún queda por dilucidar.

En este sentido es importante señalar que en los antecedentes considerados en el estudio, hubo distintas especies centinela evaluadas, consistente en ejemplares adultos de cholga (*Aulacomya ater*), chorito (*Mytilus chilensis*) y almeja (*Venus antiqua*), que corresponden a las especies centinela primarias (ver Anexos 2.1, 2.2 y 2.3). Los mitilidos fueron considerados en Los Lagos norte y en Magallanes. La almeja fue considerada en Los Lagos sur, y en Aysén se consideraron las tres especies. Como es conocido que las tasas de acumulación, tasas de eliminación y registros máximos, entre otros son diferenciales entre especies de mariscos filtradores (Bricelj & Shumway, 1998), es pertinente establecer en la siguiente etapa de estudio, el grado de interferencia de las diferentes especies de moluscos en la configuración espacio-temporal de los niveles de toxicidad por VPM observados, particularmente en Aysén. Además, la inclusión de condiciones particulares de los sitios de muestreo en los análisis, como exposición a mar abierto, canales, fiordos o glaciares, pueden agregar una mayor resolución de segregación de los patrones espacio-temporales, que el nivel de escala (macrozona sur-austral) considerado en esta etapa.

A. ostenfeldii, estuvo presente durante todo el periodo 2006-2014, considerando los promedios de abundancia relativa mensual, sin embargo, los bajos niveles señalan una influencia más bien nula en los niveles de toxicidad por VPM. No obstante, no hay antecedentes suficientes para descartar su aporte, por ejemplo en el sector de Tortel, donde el rango de 2 de la microalga ocurrido en marzo (Figura 5.93, Tabla 5.20) pudo aportar al rango 2 de VPM ocurrido un mes después (abril). Así también pudo aportar al rango 4 de VPM en Magallanes norte y sur, ocurrido en diciembre, el mismo mes en que ocurrió *A. ostenfeldii* rango 2. Un aspecto importante, para confirmar el aporte de *A. ostenfeldii* a la toxicidad por VPM, es establecer su condición de productora de VPM en la región de Magallanes, incluido el sector de Tortel, como ha sido confirmado para Aysén (Pizarro *et al.*, 2012), o si bien, es productora de espirólidos como ha sido reportado recientemente para la costa argentina del Canal Beagle (Almandoz, *et al.* 2014). Más aún, la especie también ha sido reportada como productora de ambas toxinas en Europa (e.g. Deeds *et al.*, 2008), por lo que es perentorio conocer los perfiles de toxinas de esta microalga en los diferentes sectores regionales de monitoreo.

VDM y microalgas asociadas

Considerando las tres regiones, los resultados indican que el rango **4**, máxima permanencia mensual de la toxicidad por toxinas lipofílicas (TL) (positivo al bioensayo de VDM), esto es más del 75% del mes durante el periodo 2006-2014, predomina en la región de Aysén. El rango **3**, permanencia entre 60 y 75% del mes, caracteriza la región de Magallanes mientras que el rango **2**, < 50% de permanencia mensual, es el predominante en la región de Los Lagos (Figura 5.92).

El rango **4** de permanencia de TL en Aysén está fuertemente asociado al nivel **3** y **4** de *D. acuta*, **5** de *P. reticulatum*, y en menor grado al nivel **4** de *D. acuminata*. Sin embargo, una exploración de los meses asociados a la ocurrencia de estos rangos (Figura 5.94; Tabla 5.21), señala que existe mayor probabilidad que *D. acuta* rango **3** y *P. reticulatum*, significativamente asociados al mes de febrero (8.7 y 10.3, respectivamente, > 1.96 , $p < 0.05$), sean las que contribuyen a la permanencia del VDM en la región durante el mismo mes ($5.1 > 1.96$, $p < 0.05$). No obstante, el aporte de *D. acuminata* y *D. acuta* (ambas con rango **4**) significativamente asociadas al mes de diciembre (7.9 y 10.7, respectivamente, > 1.96 , $p < 0.05$), no son descartables por cuanto mecanismos de acumulación, periodos largos de retención de la toxina y/o especie de molusco centinela pueden estar influyendo en el resultado.

En la región de Los Lagos el rango **2** de TL se encuentra fuertemente asociada al rango **2** de *D. acuta*, y en menor grado al rango **2-4** de *P. reticulatum*. En Magallanes, el rango predominante **3** de TL está fuertemente asociado al nivel **2** de *D. acuminata*, mientras *D. acuta* y *P. reticulatum* se encuentran ausentes.

Existen antecedentes de los aportes de *D. acuta* a la permanencia de la toxicidad por VDM en Aysén. Esta especie ha sido asociada a toxicidad por okadaatos (Zhao *et al.*, 1991; Lembeye *et al.*, 1993), sin embargo, el aporte de *P. reticulatum* también es de importancia por cuanto es productora de YTXs (Pizarro *et al.*, 2012b). Los altos rangos de abundancia relativa (**4 - 6**) que alcanza *P. reticulatum* en esta región es una señal fuerte de su incidencia en los eventos de toxicidad por los falsos positivos que provoca (Yasumoto & Takizawa, 1997; Vivanco *et al.*, 2012), y parece ser más común de lo que se piensa. En este contexto, *D. acuminata* también puede contribuir de manera importante a la toxicidad, pues alcanza el rango máximo de abundancia relativa en Aysén (**4**), aunque se desconoce si es productora de okadaatos y/o PTXs. No obstante, existen antecedentes de la presencia de PTXs en moluscos provenientes de Aysén (Goto *et al.*, 2000), cuya fuente es sin duda, alguna de las especies de *Dinophysis* (e.g. Reguera *et al.*, 2014) presentes en la zona.

De igual modo, para la región de Los Lagos, si bien los resultados muestran una incidencia de *D. acuta* en los niveles de toxicidad, se ha demostrado que *P. reticulatum* también es importante en dichos eventos (Vivanco *et al.*, 2012; Alves-De-Souza *et al.*, 2014) por cuanto los rangos de **2 - 4** de abundancia relativa están significativamente asociados con la permanencia de la toxicidad rango **2** (Figura 5.92). *D. acuminata* es productora de PTXs en esta región (Fux *et al.* 2011) y aunque su abundancia relativa (rango **3** y **4**) se encuentra asociada a la toxicidad por VDM (rango **2**), la relación no es significativa (Tabla 5.19). Un resultado similar fue reportado para el sector de seno Reloncaví

por Alves-De-Souza *et al.* (2014) quienes encontraron que altas densidades de *D. acuminata* no se reflejaban en los niveles de toxicidad de los moluscos. Sin embargo, su contribución a los eventos de toxicidad no es descartable. Un análisis de mayor resolución espacial así como estudios de la variabilidad del contenido de toxina por célula y mayor definición de los morfos presentes en la región, es probable que permitan explicar con mayor claridad los resultados obtenidos.

Para la región de Magallanes, el aporte de *D. acuminata* a la toxicidad por VDM parece ser más definida por cuanto existen antecedentes que señalan a esta microalga como productora de okadaatos (Uribe *et al.*, 2001; Pizarro *et al.*, 2014), mientras que la incidencia de *D. acuta* y *P. reticulatum* es prácticamente nula en los eventos de toxicidad (Figura 5.94). Sin embargo, recientemente también se ha detectado espirólidos (SPXs) y PTXs en bivalvos procedentes de la región (Pizarro *et al.*, 2014), cuya fuente microalgal queda por dilucidar. Es altamente probable que *A. ostenfeldii* presente en la región, al menos centro y sur de Magallanes, produzca SPXs, y en este contexto, los análisis realizados para el VDM deberían considerar esta microalga dentro de las especies asociadas a las toxinas lipofílicas en esta región, exploración posible de abordar en la siguiente etapa del estudio.

Los resultados muestran que la relación entre TL y las microalgas asociadas es bastante complejo. Un desconocimiento general de aspectos como la fuente microalgal de los perfiles de toxinas detectada en los moluscos; el hecho de que especies como *D. acuminata* producen PTXs en la región de Los Lagos (Fux *et al.*, 2011), aparentemente PTXs y okadaatos en Magallanes (Uribe *et al.*, 2001; Pizarro *et al.*, 2014) y se desconozca su perfil en Aysén; caso similar para *A. ostenfeldii*, productora de VPM en Aysén y probablemente de SPXs y/o VPM en Magallanes; carencia de antecedentes de la variabilidad espacio-temporal, en transvectores y su fuente microalgal, de cada una de las diferentes toxinas que conforman el grupo de las lipofílicas; falta de estimadores de las tasas de toxicación y detoxificación de los moluscos, son alguno de los factores que contribuyen a la complejidad del problema.

Con todo, es importante señalar que los antecedentes considerados en este estudio, se han segregado en una configuración espacio-temporal particular para los niveles de toxicidad por VDM en cada región. Si esta configuración está asociada a las microalgas con mayor probabilidad de incidir en los niveles de toxicidad según muestra el análisis realizado, constituyen hipótesis de trabajo para ser exploradas en la siguiente etapa del estudio, conjuntamente con el aporte de nuevos antecedentes en torno al perfil de toxinas en los moluscos y microalgas fuentes que surjan durante el desarrollo del trabajo que queda por realizar.

Esta configuración espacio-temporal a escala de macrozona presenta consistencia con los resultados reportados anteriormente aplicando un análisis a escala regional y por el periodo de un año. En Guzmán *et al.* (2009) se muestra que al contrastar las frecuencias de muestras positivas para una misma localidad con la sumatoria de las abundancias relativas (o de las densidades por estrato) a lo largo del periodo o las frecuencias de muestras positivas con la sumatoria de las abundancias relativas (o de las densidades por estrato), entre sitios de muestreo, para cada región por separado, para el periodo octubre 2007 – septiembre 2008, se apreció que en ambas especies de *Dinophysis* existen

correlaciones significativas entre ambas variables, sugiriendo que la frecuencia de muestras positivas es dependiente de la abundancia de las microalgas evaluadas. Estos resultados fueron más consistentes que aquellos del período 2006-2007 (Guzmán *et al.*, 2007). Para *D. acuminata* las relaciones fueron significativas para Los Lagos y Aysén, en cambio para *D. acuta* hubo una correlación entre ambas variables en Aysén y Magallanes, que mostraron más situaciones con relaciones significantes que aquellas apreciadas durante 2006-2007 (véase Guzmán *et al.*, 2007). Aunque los resultados mostraron una correlación de grado bajo, éstas ocurrieron para *D. acuminata* en la región de Aysén para la sumatoria de frecuencias positivas versus sumatoria de las densidades en el estrato de superficie – 10 m (N=61, $r = 0,312$; $p = 0,014$) y también en el estrato 10 – 20 m de profundidad (N=61, $r = 0,326$, $p = 0,010$), en tanto que para *D. acuta*, éstas sólo fueron observadas para la región de Magallanes entre la sumatoria de las frecuencia de muestras positivas y las sumatorias de las abundancia relativas (N= 48, $r = 0,428$, $p = 0,002$) y también versus la sumatoria de las densidades en el estrato profundo (N = 48, $r = 0,337$, $p = 0,019$). Cuando se contrastaron las sumatorias de las frecuencias de muestras positivas versus sumatorias de las abundancias relativas o de las densidades (entre columnas), sólo se apreciaron resultados significantes para las regiones de Los Lagos y de Aysén, en ambas especies. Para *D. acuminata* las relaciones significantes fueron estimadas para los datos obtenidos de Los Lagos y Aysén, en ambas las correlaciones fueron altas y correspondieron a las sumatorias de frecuencias positivas con las sumatorias de las abundancias relativas (N = 10, $r = 0,656$, $p = 0,039$), como también entre aquella y la sumatoria de las densidades del estrato profundo para la región de Los Lagos (N = 10, $r = 0,708$, $p = 0,022$), en tanto que para la región de Aysén, esta relación fue significativa para las tres situaciones contrastadas, con abundancias relativas (N = 10, $r = 0,725$, $p = 0,017$) y densidades a los estratos de superficie (N = 10, $r = 0,801$, $p = 0,005$) y profundo (N = 10, $r = 0,895$, $p = 0,0004$), respectivamente. En cuanto a *D. acuta*, sólo se apreciaron correlaciones significativas para la región de Aysén, en las tres situaciones contrastadas, a) frecuencia de muestras positivas versus sumatoria de abundancia relativas (N = 10, $r = 0,707$, $p = 0,022$), b) frecuencias de muestras positivas versus sumatoria de densidad entre superficie – 10 m (N = 10, $r = 0,638$, $p = 0,046$) y c) frecuencia de muestras positivas versus sumatoria de densidad entre 10 – 20 m de profundidad (N = 10, $r = 0,723$, $p = 0,016$), situaciones en las que la magnitud del estimador de correlación fue ligeramente más baja que aquella señalada para *D. acuminata*.

Estos resultados muestran que cuando la relación es entre localidades (entre filas) (correlación de grado bajo), que existen sectores con mayores probabilidades de presentar estimadores más altos de la abundancia relativa o densidad del dinoflagelado, lo cual está en correspondencia con una mayor proporción de muestras positivas al bioensayo. Esto correspondió para el período analizado con el estuario de Reloncaví en la región de Los Lagos para *D. acuminata* y para el área entre estero Peel (M13) e isla Piazzzi (M16) para el área norte de la región de Magallanes para *D. acuta*. Es interesante destacar que no obstante que las estimaciones son de grado bajo, esta relación está identificando también al sector identificado como el núcleo de toxicidad para veneno paralizante en el área norte de la región de Magallanes. Cuando se relaciona la información entre períodos de muestreo (entre columnas), las relaciones significantes (correlaciones de grado alto) indican que incrementos de los estimadores de la abundancia relativa o densidad muestran una mayor probabilidad de detectar muestras tóxicas en algún lapso del período de muestreo. En este caso para *D. acuminata* en la región

de Los Lagos para la primavera (fines de octubre – mediados de diciembre) y en Aysén para ambas especies de *Dinophysis* entre mediados de primavera y mediados de otoño (fines de octubre e inicios de mayo). Con todo, se debe considerar que estos resultados son de escala menor a la considerada en este estudio.

VAM y microalgas asociadas: *Pseudo-nitzschia* cf. *australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*

La información del Programa de Monitoreo permite señalar la existencia de veneno amnésico a niveles trazas y bajos en amplios sectores geográficos de las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, además de caracterizar floraciones o incrementos y variabilidad en la densidad o abundancia relativa de *P. cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima* en amplios sectores geográficos de las tres regiones. *P. cf. pseudodelicatissima* presenta una relevancia sobre *P. cf. australis*, debido a su abundancia numérica, relativa y frecuencia de aparición, particularmente en la región de Aysén.

Se observa una diferencia estacional en la ocurrencia de ácido domoico. En la región de Los Lagos las detecciones de AD se manifiestan durante los meses de verano (enero y febrero). Para la región de Aysén, las mayores frecuencias ocurren durante los meses de otoño-invierno (abril a septiembre), disminuyendo en los meses de primavera (octubre, noviembre, diciembre). Finalmente, en la región de Magallanes, la detección de AD se concentra en los meses de otoño (mayo y junio).

Para la región de Los Lagos, en la zona del estuario de Reloncaví no se han detectado niveles de ácido domoico, como tampoco en la zona centro-sur de Magallanes. La concentración promedio más alta de AD, se detectó en Playas Largas (A43), Aysén sur con $7,85 \mu\text{g g}^{-1}$ en el mes de mayo. Sin embargo, ninguna de las concentraciones excedió el nivel regulatorio permitido ($<20 \mu\text{g g}^{-1}$) durante el periodo mayo 2006 – febrero 2014.

A pesar que, tanto *P. cf. pseudodelicatissima* y *P. cf. australis* están presentes de forma constante y abundante en los ensambles de fitoplancton desde la región de Los Lagos hasta la zona norte de Magallanes, los niveles de ácido domoico son bajos en cuanto a presencia y concentración en toda esta macro-zona. Estudios recientes señalan cómo ciertos factores ambientales pueden influir fuertemente en la producción de ácido domoico. Por ejemplo, la limitación de silicatos (Si (OH)_4) o fosfatos (PO_4) son conocidos por incrementar la producción de AD en algunas especies, mientras que la limitación de nitratos (NO_3) demuestra lo contrario (Bates et al., 1991), señalando por tanto, que en condiciones de estrés, estas especies pueden sintetizar una mayor concentración de esta toxina.

Considerando las tres regiones, los resultados indican que *P. cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima* son especies presentes en todas las estaciones de monitoreo (Figuras 5.98, 5.102), siendo *P. cf. pseudodelicatissima* la especie que alcanza mayores abundancias relativas promedio mensuales (6.33) que *P. cf. australis* (4.56). *P. cf. pseudodelicatissima*, predomina con rango 4 en Aysén, rango 3 en Los Lagos y rangos 2-3 en Magallanes. El máximo rango, 5, de esta especie es alcanzado sólo en estaciones localizadas en el canal Puyuhuapi y canal Yacaf en Aysén. *P. cf. australis* predomina con rango 4 y 2 en Aysén y Los Lagos, y el rango 3 en Magallanes. El rango máximo, 4, de esta

especie solo ocurre en Aysén en el sector centro-sur y en Tortel, y en Los Lagos en el sector centro-sur occidental. Magallanes no está representado en este rango máximo de *P. cf. australis*.

En términos generales, los resultados son consistentes con el hallazgo de VAM principalmente en las regiones de Los Lagos y Aysén, sin embargo es preciso realizar un análisis con mayor resolución espacial y temporal en estas dos regiones, por cuanto la data disponible para relacionar las variables, i.e. microalgas con una toxicidad positiva de baja concentración, muy baja frecuencia y localizada, así lo requiere.

Algunos análisis de escala menor han sido realizados anteriormente, utilizando la data histórica disponible de un año a nivel regional. En Guzmán *et al.* (2009) al analizar la información de este programa entre octubre 2007 – septiembre 2008, se muestra una frecuencia relativamente alta de trazas de ácido domoico, que hicieron factible analizar la relación entre presencia de toxina y abundancia relativa o densidad de *Pseudo-nitzschia* spp., usando la frecuencia de muestras con trazas para una misma localidad a lo largo del período de muestreo (entre filas) o la frecuencia de localidades con muestras con trazas en un mismo período de muestreo (entre columnas). Para ambas especies de *Pseudo-nitzschia* se aplicó un análisis de correlaciones a los datos recolectados para las regiones de Aysén y Magallanes, puesto que para el período indicado Los Lagos no presentó VAM a un nivel detectable por HPLC. En consecuencia para cada especie de diatomea en cada región fue posible evaluar tres relaciones (frecuencia de trazas vs sumatoria de estimaciones abundancia relativa; frecuencia de trazas vs sumatoria de densidad estrato superficie – 10 m de profundidad; y frecuencia de trazas vs sumatoria de densidad estrato 10 – 20 m de profundidad), suponiendo independencia entre ambas variables y aplicando una prueba de correlación de rangos de Spearman (prueba de dos colas).

Para *P. cf. australis*, se apreciaron correlaciones significantes para la región de Magallanes, en las tres relaciones evaluadas. Es el caso de la frecuencia de niveles trazas por localidad versus la sumatoria de la abundancia relativa ($N = 48$, $r = 0,439$, $p = 0,002$), frecuencia de niveles trazas versus sumatoria de densidades entre superficie y 10 m ($N = 48$, $r = 0,326$, $p = 0,023$) y frecuencia de niveles trazas y sumatoria de densidades entre 10 – 20 m de profundidad ($N = 48$, $r = 0,295$, $p = 0,041$), pero en todos los casos la correlación fue de grado bajo. Para *P. cf. pseudodelicatissima* no hubo ninguna relación significativa.

Al contrastar la información de la frecuencia de localidades con niveles trazas de VAM versus las sumatorias de las abundancias relativas o densidades estimadas para estas diatomeas, hubo evidencias para rechazar la hipótesis de independencia entre frecuencia por período de muestreo y abundancia relativa para *P. cf. australis* ($N = 10$, $r = - 0,743$, $p = 0,013$) y para *P. cf. pseudodelicatissima* ($N = 10$, $r = - 0,653$, $p = 0,041$), ambos en la región de Aysén. La correlación es de grado inverso, i.e. a menor frecuencia de trazas mayor es la sumatoria de las abundancias relativas de las diatomeas y viceversa.

En la primera de las relaciones señaladas, entre localidades (entre filas), sólo se apreciaron evidencias de una correlación significativa para *P. cf. australis*, entre las sumatorias de las abundancias relativas y de las densidades estimadas para cada estrato con las sumatorias de muestras con trazas para la región de Magallanes. Estos resultados indican que existen sectores con mayores probabilidades de presentar abundancias relativas o densidades de esta especie los cuales están en correspondencia con una mayor proporción de muestras positivas según análisis por HPLC, no obstante que la correlación es de grado bajo. Esto corresponde con localidades del área norte de esta región que incluyen al menos a I. Topar (M11), E. Ringdove (M25) y E. Penguin (M09). Esto sugiere que en situaciones floración no ocurrirían detecciones de veneno amnésico, sino que sería en concentraciones más bajas de estas diatomeas, lo cual estaría sustentado por los resultados disponibles desde mayo 2006 hasta la fecha en cuanto a que las situaciones de floración no están acompañadas por detección de trazas de esta toxina y también por las relaciones significantes de grado inverso entre las mismas variables pero entre periodos de muestreo. Justamente, entre periodos de muestreo (entre columnas), las relaciones significantes fueron de grado alto, pero inversas, para las mismas variables para ambas especies de diatomeas, entre las sumatorias de las abundancias relativas y las sumatorias de muestras con trazas de ácido domoico para la información de la región de Aysén. Ello está indicando que los periodos con mayores probabilidades de detectar trazas de veneno domoico son los lapsos en que las abundancias relativas de estos taxones son los más bajos del periodo de estudio, lo cual ocurre para *P. cf. australis* entre mediados de otoño y mediados de invierno (fines de mayo a fines de agosto) y para *P. cf. pseudodelicatissima* entre fines de otoño y mediados de invierno (fines de junio a mediados de julio). Estos resultados sugieren que en situaciones de stress (e.g. fosfatos o silicatos limitantes), que serían los periodos en que se presentan las abundancias relativas o las densidades más bajas, concurrirían condiciones para que estas microalgas produzcan veneno amnésico. La situación es diferente para la región de Los Lagos, por cuanto las detecciones han ocurrido durante los meses de verano, periodo en que ambas especies de diatomeas no están en una situación de densidad o abundancia relativa deprimida.

5.5.5. ¿Es factible establecer una relación predictiva entre estimadores de la abundancia relativa de taxones nocivos y la densidad de estos taxones?

Cabe destacar que para los cuatro taxones nocivos de estudio, son los modelos no lineales (potencial y logarítmico) los que explican, con una alta significancia y altos valores del coeficiente de determinación, la relación entre la AR y la densidad numérica. Sin embargo, para éstos taxones nocivos los modelos lineales también alcanzaron significancia estadística al 5%, aunque con menores valores de coeficientes de determinación (Tabla 5.24) y con una tendencia a sobreestimar o subestimar la densidad. Esto es más evidente para los taxones *A. catenella* (Figura 5.103) y *P. reticulatum* (Figura 5.106), especialmente para los niveles de AR en los extremos de la escala, donde se observó que el modelo lineal sobreestimó los valores de densidad a niveles bajos de AR y subestimó los valores de densidad a niveles altos de AR. Mientras que, para *D. acuminata* (Figura 5.104) y *D. acuta* (Figura 5.105) se observa un buen ajuste del modelo lineal y potencial, respectivamente y en éste último caso con coeficientes de determinación similares a los modelos lineal

y logarítmico. Probablemente la sobreestimación en los niveles superiores se deba a que en esos rangos el promedio de la densidad se concentre en el límite inferior de cada nivel AR, dada la progresión geométrica que define los límites de cada nivel de la escala de abundancia relativa.

En base a los coeficientes de determinación (Tabla 5.24), el modelo no lineal potencial describiría mejor la relación entre la AR y la densidad numérica, excepto para *D. acuminata*, donde el modelo logarítmico sería el que explica mejor esta relación; probablemente el mejor ajuste de este modelo se deba a la importante dispersión de los valores de densidad a bajos niveles de AR (1, 2, y 3), sumado a los bajos valores de densidad numérica a altos niveles de AR (8 y 9) (Figura 5.104).

Del análisis de los parámetros obtenidos en base al ajuste de la función potencial, tenemos que para *A. catenella* el exponente indica que la dependencia entre la AR y la densidad numérica es cuártica, por lo que para cada nivel de AR la densidad numérica se incrementará en 4,3 ($\pm 0,6$) (Figura 5.103). Mientras que, para *P. reticulatum* el exponente resultante de 2,17 ($\pm 0,66$) (Figura 5.106), indicaría que la dependencia entre AR y densidad numérica es cuadrática. Para *D. acuta* la relación entre la AR y la densidad numérica es prácticamente lineal, donde los incrementos de la densidad según el exponente resultante del ajuste es de 1,04 ($\pm 0,22$) (Figura 5.105). Para este taxón los coeficientes de determinación y el nivel de significancia para los ajustes lineal, logarítmico y potencial son similares (Tabla 5.24), por lo que para estos datos, cualquiera de estas funciones podría ser utilizada para encontrar una relación entre la AR y la densidad numérica de *D. acuta*.

A partir de este análisis, podemos indicar que para los valores promedio de la densidad numérica de los taxones nocivos hemos encontrado relaciones significativas con la AR de los respectivos taxones, tanto en los ajustes lineales como en los ajustes no lineales, siendo la mayoría de ellos significativos, pero con coeficientes de determinación distintos, lo que implicó seleccionar al modelo no lineal potencial como aquel que mejor explicó la relación entre ambas variables. Sin embargo, no debemos obviar la importante dispersión de los valores observados (puntuales) para cada uno de los niveles de AR, lo que fue más evidente para *D. acuminata* (Figura 5.104) y *D. acuta* (Figura 5.105) y que implicó que más de un modelo respondiera satisfactoriamente a la relación entre las variables. Anteriormente hemos comentado que la dispersión de los valores observados podría ser efecto de amplio rango de valores de densidad numérica que determinan un valor de AR y que seguramente este es el efecto de la escala con incrementos logarítmicos con que está construida esta escala de AR, donde la mayoría de las observaciones registradas para cada especie se encontrarán en niveles intermedios (moderados) que en niveles bajos (raros) o muy altos (muy abundantes) de AR. Además, no se debe descartar que ésta dispersión de los valores observados probablemente tenga un origen en las distintas metodologías utilizadas para la obtención de los datos de ambas variables (ver Metodología Capítulo 2).

Sin embargo, debemos destacar a la AR como una buena herramienta operacional que permite la evaluación de los taxones nocivos, ya que por su metodología y a diferencia de la densidad numérica, ésta permite cuantificar a estas especies que no son numéricamente dominantes y que tienen una distribución más restringida en el espacio.

Sin duda, este análisis es una primera aproximación al desarrollo de una respuesta que permita evaluar a la AR como un posible predictor de la densidad numérica. Para ello debemos considerar entre otras, las distintas variables que, de momento, generan una alta dispersión de los datos observados, así como, la exploración de nuevos modelos de ajuste que permitan incrementar la explicación de la variabilidad de la densidad numérica a partir de la AR, especialmente para los taxones *D. acuminata* y *D. acuta*. Además una siguiente aproximación debería hacerse extensiva a otros taxones nocivos (e.g. *Alexandrium ostenfeldii*).

5.6. CONCLUSIONES

5.6.1. ¿Existen configuraciones espacio temporales (“patterns”) del fitoplancton total en los fiordos y canales australes entre seno de Reloncaví y Canal Beagle?

- El micro-fitoplancton de fiordos y canales se caracteriza por estar dominado numéricamente por diatomeas, siendo el fitoplancton nocivo muy poco representado en términos numéricos, con la excepción de las especies de *Pseudo-nitzschia*.
- Las especies de diatomeas que caracterizan los distintos grupos definidos, representan un grupo distinto para cada región, más parecidos aquellos para las regiones de Los Lagos y Aysén, siendo Magallanes, el menos diverso. Un grupo del orden de 20 especies por región representan aproximadamente el 50% del fitoplancton total.
- La variación temporal del fitoplancton muestra una clara mayor abundancia durante primavera verano, con respecto a otoño invierno.

5.6.2. ¿De existir estas configuraciones espacio temporal, como se relacionan con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?

- La relación es distinta para las especies nocivas del género *Pseudo-nitzschia* y aquellas representadas por especies de dinoflagelados de los géneros *Alexandrium*, *Dinophysis* y *Protoceratium*, dada la distinta contribución numérica de diatomeas y dinoflagelados con respecto al fitoplancton total, siendo notoriamente mayor aquella de las diatomeas.
- Cada especie nociva presenta una configuración espacio-temporal particular. La contribución de las especies nocivas de dinoflagelados es baja, siendo *A. catenella* aquella con la mayor importancia cuantitativa.
- La relación entre la densidad del micro-fitoplancton total y estimaciones de abundancia relativa para cada taxón nocivo, muestran resultados contrapuestos, dependiendo del criterio de análisis. Si la correlación se aplica a un conjunto importante de sitios de muestreo de diferentes grupos definidos por análisis de conglomerados existen relaciones significativas entre ambas variables, sin embargo si el análisis se restringe a contrastar ambas variables de sólo un conglomerado, los resultados pueden mostrar para un mismo taxón relaciones significantes directas o inversas, o no ser significativas, dependiendo del conglomerado que se analice.

- Se concluye que el análisis de correlación entre densidad del micro-fitoplancton total y abundancia relativa de los taxones nocivos debe realizarse considerando grandes grupos de sitios de muestreo para cada taxón definidos por un análisis de conglomerados.

5.6.3. ¿Cuáles son las variables biológicas, oceanográficas y meteorológicas que muestran una mayor correlación con la distribución y abundancia del fitoplancton nocivo?

- La temperatura, salinidad y nubosidad son las variables principales en que las estaciones de la región de Magallanes presenten diferencias con el resto de los sitios de muestreo de las regiones de Los Lagos y Aysén.
- La baja salinidad de la columna de agua a 5 metros permite diferenciar a las estaciones ubicadas en el estero Pitipalena y fiordo de Reloncaví del resto de las estaciones de muestreo. Y que estas diferencias se deberían a los aportes de agua dulce provenientes de ríos, escurrimiento costero y glaciares presentes en ambas zonas.
- La importante variabilidad ambiental que caracteriza la macrozona de estudio y que se refleja en este estudio, puede relacionarse con la variabilidad de los ensambles de fitoplancton cuantitativo caracterizados en la pregunta A de este capítulo.
- Los grupos segregados al aplicar un análisis de conglomerados de las abundancias relativas, permitieron definir que las especies que más contribuyeron a la similitud promedio entre conglomerados fueron las diatomeas *Pseudo-nitzschia* cf. *pseudodelicatissima* y *P.* cf. *australis*, reflejando el rasgo cosmopolita de estas especies.
- La característica cosmopolita del género *Pseudo-nitzschia* implica que son los dinoflagelados *Dinophysis acuminata* y *Alexandrium catenella* las especies que aportarían a definir las diferencias entre los grupos segregados. Definiendo dos grandes grupos de estaciones, uno en Magallanes y sur de Aysén donde es *Alexandrium catenella* la que acompaña a ambas *Pseudo-nitzschia* y otro ubicado en Aysén norte y Los Lagos donde es *Dinophysis acuminata* la que acompaña a estas diatomeas.
- Cuando consideramos a todas las variables de estudio, es la temperatura del agua a 5 metros la que explica el 25% de la variabilidad de la abundancia relativa entre las estaciones de muestreo. Este bajo porcentaje implica la necesidad de incorporar en futuros análisis a nuevas variables que den cuenta de la alta variabilidad observada en la macrozona de estudio.

5.6.4. ¿Existen configuraciones espacio-temporales que puedan ser usadas como herramientas de prevención, en fenómenos de floraciones nocivas?

- Los antecedentes a nivel de macroescala considerados en este estudio, muestran una configuración espacio-temporal particular para los niveles de toxicidad por VPM y VDM en la macrozona-sur austral de Chile.
- La región de Los Lagos presenta niveles de toxina no detectable en la mayor parte de su cobertura geográfica, alcanzando rango **2** como máximo sólo en el sector sur y sureste de la isla de Chiloé, lo que permite calificar estos sectores como aquellos con mayores probabilidades para detectar a. *catenella*, pero con bajo riesgo de detectar VPM en mariscos mediante bioensayo ratón.
- La región de Aysén alcanza los máximos niveles de toxicidad por VPM (rango **5**) así como el nivel máximo de abundancia relativa de *A. catenella* (rango **4**).
- La región de Magallanes presenta el mayor espectro de niveles de toxicidad, desde el rango mínimo (**2**) hasta rango **5** como máximo, con abundancias relativas de *A. catenella* de rango **3 y 4**.
- El amplio espectro de toxicidad presente en Magallanes es el que permite definir claramente núcleos de toxicidad geográficos, principalmente en el sector norte de la región, condición que no se observa para la región de Aysén, dificultando la definición de núcleos a escala macro-regional para esta región en particular.
- El aporte de *A. ostentfeldii* a los niveles de toxicidad por VPM es poco claro, por cuanto se desconoce si es fuente de toxina paralizante y/o lipofílicas en sectores con mayor probabilidad de su interferencia como son Magallanes y Tortel.
- La región de Aysén es la que presenta la mayor permanencia mensual de toxinas lipofílicas (rango **4**) y está asociada a *D. acuta*, *P. reticulatum* y *D. acuminata*.
- La región de Los Lagos presenta predominantemente rangos menores de permanencia mensual de toxinas lipofílicas (**1-2**) asociadas con una mayor probabilidad a *D. acuta* y *P. reticulatum*.
- La región de Magallanes presenta predominantemente un nivel de permanencia de toxinas lipofílicas de **3**, asociada mayormente a *D. acuminata*, resultado que concuerda con los antecedentes que reportan a esta especie como productora de okadaatos. Sin embargo, queda por dilucidar la interferencia de *A. ostentfeldii* en este nivel de permanencia de la toxicidad por cuanto ha sido reportada como productora de espirólidos en el sector sur de la región (Canal Beagle).

- La relación entre la permanencia mensual de las toxinas lipofílicas (como índice de toxicidad en los moluscos) y las microalgas asociadas es complejo de abordar. Los vacíos de conocimiento básico son parte de la complejidad, y requieren ser subsanados en el corto plazo para una mayor comprensión de este fenómeno en particular.
- La relación significativa entre localidades (entre filas) muestra que existen sectores con mayores probabilidades de presentar estimadores más altos de abundancia relativa o de densidad de *D. acuminata* o *D. acuta*, lo cual está en correspondencia con una mayor proporción de muestras positivas al bioensayo, aunque fue una correlación de grado bajo.
- La relación significativa entre períodos de muestreo (entre columnas), indican que incrementos de la abundancia relativa o densidad muestran una mayor probabilidad de detectar muestras tóxicas en un lapso del período de muestreo. Para *D. acuminata* en Los Lagos para la primavera (fines de octubre – mediados de diciembre) y en Aysén para ambas especies de *Dinophysis* entre mediados de primavera y mediados de otoño (fines de octubre a inicios de mayo). En este caso fueron correlaciones de grado alto.
- Las concentraciones de VAM (ácido domoico) detectadas en las tres regiones están por debajo del límite para el consumo ($20 \mu\text{g g}^{-1}$), y en términos generales, son consistentes con la distribución de las microalgas asociadas, sin embargo, se requiere un análisis de mayor resolución espacio-temporal para asociar ambos tipos de variables.
- La relación entre concentración de VAM y estimación de abundancia relativa o densidad para ambos estratos muestreados tanto para *P. cf australis* y *P. cf pseudodelicatissima* sugieren que en situaciones de stress se produciría ácido domoico en otoño medio y principios de invierno en las regiones de Aysén y Magallanes, en tanto que en la región de Los Lagos la detección de ácido domoico ha ocurrido en verano y cuando la abundancia de estas microalgas no está deprimida.

5.6.5. ¿Es factible establecer una relación predictiva entre estimadores de la abundancia relativa de taxones nocivos y la densidad de estos taxones?

- Para tres de los cuatro taxones nocivos estudiados el modelo no lineal potencial describe mejor la relación entre los promedios de la AR y la densidad numérica, a partir de ésta se infiere que los incrementos de la densidad numérica con respecto a la AR pueden ser cuartica para *A. catenella*, cuadrática para *P. reticulatum* y lineal para *D. acuta*.
- Éste análisis representa una primera aproximación al desarrollo de una respuesta que permita evaluar a la AR como un posible predictor de la densidad numérica.

5.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acha, E.M., H.W. Mianzan, R.A. Guerrero, M. Favero & J. Bava. 2004. Marine fronts at the continental shelves of austral South America: Physical and ecological processes. *Jou. Mar. Syst.*, 44:83-105.
- Almandoz, G. O., Montoya, N. G., Hernando, M. P., Benavidez, H. R., Carignan, M. O. & M.E. Ferrario. 2014. Toxic strains of the *Alexandrium ostenfeldii* complex in southern South America (Beagle Channel, Argentina). *Harmful Algae* 37: 100-109.
- Alves-de-Souza C., Varela, D., Contreras, C., De la Iglesia, P.M., Fernández, P., Hipp, B., Hernández, C., Riobó, P., Reguera B., Franco, J.M., Diogène, J., García, C. & N. Lagos. 2014. Seasonal variability of *Dinophysis* spp. and *Protoceratium reticulatum* associated to lipophilic shellfish toxins in a strongly stratified Chilean fjord. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 101: 152-162.
- Anke, K., Tamminen, T. & K. Spilling. 2008. Dinoflagellate bloom formation in natural assemblages with diatoms: nutrient competition and growth strategies in Baltic spring phytoplankton. *Aq. Microb. Ecol.* 50:181-196.
- Antezana, T. 1999. Plankton of southern Chilean fjords: trends and linkages. *Sci. Mar.* 63 (Suppl. 1), 69-80.
- Avaria, S., Jorquera, L., Muñoz, P. & P. Vera. 1999. Distribución del microfitoplancton marino en la zona de aguas interiores comprendidas entre el golfo de Penas y el estrecho de Magallanes, Chile, en la primavera de 1996 (Crucero Cimar-Fiordo 2). *Cienc. Tecnol. Mar.* 22, 81-109.
- Avaria, S., Cáceres, C. & P. Muñoz. 2004. Distribución del microfitoplancton marino entre el golfo Corcovado y el estero Elefantes en la primavera de 1998 y en el verano de 1999. *Ciencia y Tecnología* 27, 17-47.
- Avaria S. 2006. Fitoplancton de canales y fiordos australes. En: Silva N. & S. Palma (eds.) *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos*. Comité Oceanográfico Nacional – Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, pp. 89-92.
- Bates, C. 2008. Multivariate analysis of community structure data. Bamfield Marine Science Centre. www.zoology.ubc.ca/~srivast/biol404/Eco%20Methods%20multivariate.ppt
- Cassis, D., Muñoz, P. & S. Avaria. 2002. Variación temporal del fitoplancton entre 1993 y 1998 en una estación fija del seno Aysén (45°26'S 73°W). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 37 (1): 43-65.

- Clarke, K.R. 1993. Non – parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18: 117 – 143.
- Clarke, K.R. & R.N. Gorley. 2006. PRIMER v6: User manual/tutorial. PRIMER-E, Plymouth, UK, 192 pp.
- Clarke, K.R., Somerfield, P.J. & R.N. Gorley. 2008. Exploratory null hypothesis testing for community data: similarity profiles and biota-environment linkage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366: 56 – 69.
- Clarke, K.R. & R.N. Warwick. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition. PRIMER-E, Plymouth, UK, 172pp.
- Clément, A., Lembeye, G., Lassus, P., & C. Le Baut. 1994. Bloom superficial no tóxico de *Dinophysis cf. acuminata* en el fiordo de Reloncaví. Resúmenes de las XIV Jornadas de Ciencias del Mar / I Jornada de Salmonicultura, mayo de 1994, p. 83.
- Córdova, J.L., Escudero, C., & J. Bustamante. 2003. Bloom inside the bloom: Intracellular bacteria multiplication within toxic dinoflagellates. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 38:57-67.
- Dávila, P.M., Figueroa, D. & E. Müller. 2002. Freshwater input into the coastal ocean and its relation with the salinity distribution off austral Chile (35-55°S). *Cont. Shelf. Res.*, 22: 521-534.
- Deeds, J.D., Landsberg, J.H., Etheridge, S.M., Pitcher, G.P. & S. Watt Longan. 2008. Non-Traditional Vectors for Paralytic Shellfish Poisoning. *Mar. Drugs* 6: 308-348. www.mdpi.org/marinedrugs
- Fux, E., Smith, J.L., Tong, T., Guzmán, L. & D.M. Anderson. 2011. Toxin profiles of five geographical isolates of *Dinophysis* spp. from North and South America. *Toxicon* 57(2): 275-287.
- Gaston, K.J. & T.M. Blackburn. 2000. Pattern and Process in Macroecology. Blackwell Science, ISBN: 0-632-05653-3.
- GEOHAB, 2004. Open science meeting on HABs in fjords and coastal embayments. Guzmán, L & A. Cembella (eds) en: Resumen presentaciones reunión. Viña del Mar.
- Goto, H., Igarashi, T., Watai, M., Yasumoto, T., Gomez, O.V., Lembeye, G.S, Noren, E., Gisselson, L.A.,
- Graneli, E., 2000. Worldwide occurrence of pectenotoxins and yessotoxins in shellfish and phytoplankton. In: Hallegraeff, G. (ed.) 9th International Conference on Harmful Algal Blooms (Conference Abstracts). 7-11 February 2000, Hobart, Tasmania, Australia. 20 pp.

- Guzmán, L., H. Pacheco, G. Pizarro & C. Alarcón. 2002. *Alexandrium catenella* y Veneno Paralizante de los Mariscos en Chile. En: Sar, E., Ferrario, M. & B. Reguera (Eds.). Floraciones Algas Nocivas en el Cono Sur Americano, pp. 235 – 255.
- Guzmán, D. & N. Silva. 2002. Caracterización física y química y masas de agua en los canales australes de Chile entre boca del Guafo y golfo Elefantes (Crucero CIMAR 4 Fiordos). Cienc. Tecnol. Mar, 25(2): 45-76.
- Haury, L.R., McGowan, J.A. & P.H. Wiebe. 1978. Patterns and processes in the time-space scales of plankton distributions. En: Spatial Pattern in Plankton Communities. (ed. J.H. Steele). Plenum Press, New York, pp. 227 – 327.
- Hasle, G.R. 2002. Are most of the acid domoic acid-producing species of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* cosmopolites?. Harmful Algae, 1: 137 – 146.
- Hamamé, M. & T. Antezana. 1999. Chlorophyll and zooplankton in micro basins along the Strait of the Magellan–Beagle Channel passage. Scientia Marina 63 (Suppl. 1), 35–42.
- Holland, S., 2008. Non-Metric Multidimensional Scaling. Department of Geology, University of Georgia. Athens, GA. 30602-2501. www.uga.edu/~strata/software/pdf/mdsTutorial.pdf
- Iriarte, J.L., Kusch, A., Osses, J., Ruiz, M. 2001. Dynamics of phytoplankton in the subantarctic area of the Straits of Magellan (53°S), Chile, during spring – summer 1997-98. Pol Biol 24, 154 – 162.
- Laabir, M., Jauzein, C., Genovesi, B., Masseret, E., Grzebyk, D., Cecchi, P., Vaquer, A., Perrin, Y. & Y. Colos. 2011. Influence of temperature, salinity and irradiance on the growth and cell yield of the harmful red tide dinoflagellate *Alexandrium catenella* colonizing Mediterranean waters. J. Plankton Res., 33: 1550–1563.
- Lembeye, G., Yasumoto, Y., Zhao, J. & R. Fernández. 1993. DSP outbreak in Chilean fiords. In: Smayda, T. J. & Shimizu, Y. (Eds.), Toxic phytoplankton blooms in the sea. Elsevier, Amsterdam, pp. 525-529.
- MacIntyre, H., Stutes, A.L., Smith, W.L., W.L., C.P. Dorsey, C.P., A. Abraham & R.W. Dickey. 2011. Environmental correlates of community composition and toxicity during a Bloom of *Pseudo-nitzschia* spp. in the northern Gulf of Mexico. J. Plankton Res., 2, 273-295.
- Margalef, R. 1978. Life forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. Oceanol. Acta 1:493–509.

- Margalef, R. 1978a. Phytoplankton communities in upwelling areas. The example of NW Africa. *Oecol. Aquat.* 3:97-132.
- Muzio, I.M., Pizarro, G. & 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, J.M., Muñoz, M.G. & A.M. Contreras. 2006. Temperature as a factor regulating growth and toxin content in the dinoflagellate *Alexandrium catenella*. *Harmful Algae* 5: 762 – 769.
- Niemi Å. 1975. Ecology of phytoplankton in the Tvärminne area, SW coast of Finland. II. Primary production and environmental conditions in the archipelago and the sea zone. *Acta Bot. Fenn.* 105:1-73.
- Okaichi, T. 2003. Red-Tide Phenomena, Chapter 2. 7-60 pp. En: Okdaichi, T. (Ed.). *Red Tides*. Kluwer Academic Publishers, Japón.
- Perakis S.S. & L.O. Hedin 2002. Nitrogen loss from unpolluted South American forests mainly via dissolved organic compounds. *Nat.* 415: 416-419.
- Pickard G. L. 1971. Some physical oceanographic features of inlets of Chile. *J. Fish. Bd. Canada*, 28: 1077-1106.
- Pizarro, G., Iriarte, J.L., Montecino, V., Blanco, J.L. & L. Guzmán. 2000. Distribución de la biomasa fitoplanctónica y productividad primaria máxima de fiordos y canales australes (47°-50°S) en octubre 1996. *Cienc. Tecnol. Mar.*, 25-47.
- Pizarro, G., N. Pesse, P. Salgado, C. Alarcón, C. Garrido & L. Guzmán. 2012a. Determinación de la capacidad de adherencia, mecanismos de propagación y métodos de destrucción de *Alexandrium catenella* (célula vegetativa y quiste). Informe Final Proyecto SUBPESCA. Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso, Chile, 79 pp.
- Pizarro, G., B. Paz, P. Salgado, P. Álvarez-Chaver, C. Garrido & L. Guzmán. 2012b. Perfil de toxinas de *Protoceratium reticulatum* aislados de la región de Aysén. XXXII Congreso de Ciencias del Mar, 22-25 octubre 2012. Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile. Libro de Resúmenes, p. 83.
- Pizarro, G. Análisis de toxinas lipofílicas mediante LC-MS/MS en muestras de fitoplancton y moluscos recolectadas durante la floración estival 2013 de *Dinophysis* spp. en Magallanes. 2014. Informe final Proyecto de Emergencia SUBPESCA-MINECON. Abril 2014. 16p + tablas+figuras+anexos.

- Reguera, B., Riobó, P., Rodríguez, F., Díaz, P.A., Pizarro, G., Paz, B., Franco, J.M. & J. Blanco. 2014. Dinophysis toxins: Causative organisms, distribution and fate in shellfish. *Mar. Drugs* 12: 394-461.
- Romero, O. 1994. Variación morfológica de *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve (Bacillariophyceae) en el fiordo Aysén, Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso* 29(1): 1-21.
- Sievers, H. & N. Silva. 2006. Masas de agua y circulación en los canales y fiordos australes. En: *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos*. N. Silva & S. Palma (Eds.) Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. pp. 53-58.
- Silva, N., Calvete, C. & H.A. Sievers. 1997. Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre Puerto Montt y laguna San Rafael (Crucero CIMAR-Fiordo 1). *Cienc. Tecnol. Mar.*, 20: 23-106.
- Silva, N. & C. Calvete. 2002. Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre el golfo Penas y el estrecho de Magallanes (Crucero CIMAR Fiordo 2). *Cienc. Tecnol. Mar.*, 25 (1): 23-88.
- Smayda, T.J. 1997. Harmful algal blooms: their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnol. Oceanogr.* 42:1137-1153.
- Uribe, J. C., García, C., Rivas, M. & Lagos, N. 2001. First report of diarrhetic shellfish toxins in magellanic fjords, southern Chile. *J. Shellfish Res.* 20: 69-74.
- Uribe, J.C., Oyarzún, S. & V. Latorre. 2010. *Alexandrium catenella* (Whedon y Kofoid) Balech, 1985, in Magellan Waters, Chile. *Anales Instituto Patagonia (Chile)*, 38: 103 – 110.
- Valenzuela, M. & S. Avaria. 2009. Distribución del microfitoplancton marino entre el seno de Reloncaví y boca del Guafo en invierno y primavera de 2005 (Crucero Cimar 11 Fiordos). *Cienc. Tecnol. Mar.*, 32 (2): 43 – 77.
- Vivanco, X., Pizarro, G, Paz, B., Álvarez-Chaver, P., Hernández, C. & C. Zamora. 2012. Perfil de yessotoxinas en moluscos de la región de los Lagos asociado a floración de *Protoceratium reticulatum*. XXXII Congreso de Ciencias del Mar, 22-25 octubre 2012. Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile. Libro de Resúmenes, p. 230.
- Yasumoto, T. & A. Takizawa. 1997. Fluorometric measurement of yessotoxins in shellfish by high pressure liquid chromatography. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 61, 1775-1777.

Zhao, J., Lembeye, G., Cenci, G., Wall, B. & T. Yasumoto. 1991. Detection of okadaic acid and dinophysistoxin-1 in mussels from Chile, Italy and Ireland. Fifth International Conference on Toxic Marine Phytoplankton. New Port, Rhode Island, USA.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

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



www.ifop.cl