



**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE BIOLOGÍA MARINA**

PROFESOR PATROCINANTE  
PABLO MUÑOZ SALAZAR.  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y DE  
RECURSOS NATURALES

PROFESOR CO-PATROCINANTE  
DR. JORGE TORO YAGUI.  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA MARINA  
FACULTAD DE CIENCIAS

**“BIOGEOGRAFÍA Y ANÁLISIS RETROSPECTIVO DE *Alexandrium*  
*catenella* (Dinoflagellata) EN LA ZONA AUSTRAL DE CHILE”**

Tesis de Grado presentada como parte de los  
requisitos para optar al grado de Licenciado en  
Biología Marina

**FABIOLA ANDREA VILLANUEVA SANHUEZA**

**VALDIVIA – CHILE**

**2005**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Proyecto MECESUP, USC 0303, “Programa para la Movilidad de estudiantes y Coordinación Académica en las Carreras de Biología Marina”.

Gracias al proyecto MECESUP, especialmente a Doctores Sr. Cristian Cáceres de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, Sr. Carlos Bertrán, actual Decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile y Sr. Jorge Toro Director de Escuela de la Universidad Austral de Chile de quienes obtuve el financiamiento y orientación necesarios para realizar este trabajo en la Universidad de Valparaíso. A las tías Rosa y Oriana, por sus consejos, el cariño, la dedicación y la paciencia que tuvieron durante mis años como estudiante. Al profesor Pablo Muñoz, a quien agradezco sinceramente tanto por los conocimientos entregados en el área de la Oceanografía como en el área de la vida, por sus consejos, por su amistad y apoyo humano. Al profesor Sergio Avaria, por su tiempo, amistad, tiempo y consejos. A Juan Ayala por su valiosa amistad y toda la ayuda brindada para la realización de esta tesis. A las personas a cargo de la Biblioteca de la Universidad de Valparaíso Pamela y Jeannette, por su disposición y confianza. A los Turnos de Montemar por su respeto, alegría y apoyo.

A los Doctores Leonardo Guzmán, Alejandro Clément y Mauricio Braun, por su disposición y por el conocimiento entregado.

Gracias a mis padres, Miguel y Elizabeth, por todo su amor, apoyo y confianza. A mis hermanos Waleska, Patricio y Marión y a mis sobrinos Cristina, Benjamín y Sebastián, y a mi amigo Armando por toda su alegría. A Alexis por su apoyo constante, su paciencia y todo su amor.

## ÍNDICE

1. RESUMEN. ....	1
2. ABSTRACT. ....	2
3. INTRODUCCION. ....	3
4. MATERIAL Y METODOS. ....	11
4.1. Área de estudio. ....	11
4.2. Metodología de muestreo y procesamiento de muestras. ....	13
4.3. Metodología de análisis de datos. ....	15
5. RESULTADOS. ....	17
5.1. Análisis del número de células de <i>Alexandrium catenella</i> por mililitro (ml) en la serie de tiempo 1993 - 2005 en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región. ....	17
5.2. Índice Abundancia Relativa (IAR) de <i>Alexandrium catenella</i> en las muestras de la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región (serie de tiempo: 1993 - 2005). ....	18
5.3. Análisis de la Temperatura en la serie de tiempo de la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región. ....	29
5.4. Relación de la temperatura superficial y la abundancia relativa de <i>Alexandrium catenella</i> en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región. ....	34
6. DISCUSION. ....	37
6.1. Análisis temporal de <i>Alexandrium catenella</i> en la zona austral de Chile. ....	37
6.1.1. Periodo 1991-1994. ....	38
6.1.2. Periodo 1995-2000. ....	39
6.1.3. Periodo 2001-2005. ....	42
6.2. Análisis espacial de <i>Alexandrium catenella</i> en la zona austral de Chile. ....	44
6.3. Relación entre parámetros físicos e Índice de Abundancia Relativa (IAR) de <i>Alexandrium catenella</i> en la zona austral de Chile. ....	47
6.4. Núcleos de toxicidad. ....	49
7. CONCLUSIONES. ....	52
8. BIBLIOGRAFIA. ....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de las frecuencias y porcentajes obtenidos al analizar mensualmente la aparición de <i>Alexandrium catenella</i> en la serie de tiempo (1993 - 2005), Nueva Hammerfest, XI Región.....	22
Tabla 2. Resumen de la distribución temporal de la abundancia relativa de <i>Alexandrium catenella</i> en la serie de tiempo 1993 - 2005 en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región (s.d.= sin datos). ....	27
Tabla 3. Temperatura promedio por estación en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región. Verano: enero, febrero, marzo y diciembre; invierno: junio, julio agosto y septiembre. ....	30
Tabla 4. Promedio anual de las abundancias relativas de <i>Alexandrium catenella</i> en relación a la temperatura superficial por año (1994 – 2005) en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región.....	34
Tabla 5. Proyectos financiados sobre mareas rojas en Chile. ....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Ubicación geográfica de la estación fija “Nueva Hammerfest” en el seno Aysén, XI Región, Chile. ....	12
Fig. 2. Número de células de <i>Alexandrium catenella</i> por ml en las muestras de la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región, serie de tiempo 1993 - 2005.....	17
Fig. 3. Índice de Abundancia Relativa de <i>Alexandrium catenella</i> en la serie de tiempo 1993 – 2005 en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región. ....	19
Fig. 4. Porcentaje de presencia - ausencia anual de <i>Alexandrium catenella</i> en la serie de tiempo 1993 – 2005 en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región. ....	20
Fig. 5. Porcentaje de presencia - ausencia de <i>Alexandrium catenella</i> en el total de muestras analizadas de la serie de tiempo 1993 – 2005, Nueva Hammerfest, XI Región.....	21
Fig. 6. Frecuencias y porcentajes de presencia - ausencia de <i>Alexandrium catenella</i> obtenidos mensualmente en la serie de tiempo 1993 – 2005, Nueva Hammerfest, XI Región. ....	21
Fig. 13. Abundancia Relativa de <i>Alexandrium catenella</i> en la estación fija “Nueva Hammerfest, XI Región, 2005. ....	26

Fig. 14. Temperatura superficial del mar en la serie de tiempo 1994 - 2005, estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región. ....	29
Fig. 15. Temperatura mensual promedio registrada en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región, en 1994. ....	32
Fig. 16. Temperatura mensual promedio registrada en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región, en 1995. ....	33
Fig. 17. Temperatura mensual promedio registrada en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región, en 1996. ....	33
Fig. 18. Relación entre el promedio de abundancias relativas de <i>Alexandrium catenella</i> y los promedios anuales de temperatura (1994 – 2005) en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región. Las flechas verdes indican los años en que se observaron altos Índices de Abundancia Relativa, coincidente con las alzas de la temperatura superficial del mar.....	35
Fig. 19. Distribución del promedio mensual de temperatura superficial del mar e Índice de Abundancia Relativa representativa por mes de <i>Alexandrium catenella</i> en la serie de tiempo 1993 - 2005, estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región.....	36

## INDICE DE LÁMINAS.

Lámina 1. a) <i>Alexandrium Catenella</i> cadena de seis células; b) <i>Alexandrium catenella</i> célula libre. ....	70
Lámina 2. a) Registro de los eventos “El Niño” (anomalía térmica positiva) y “La Niña” (anomalía térmica negativa) (fuente: NOAA) desde 1950 hasta 2005; b) periodo coincidente con la serie de tiempo analizada en “Nueva Hammerfest”, XI Región. ....	71

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Índices de Abundancia Relativa de <i>Alexandrium catenella</i> en la serie de tiempo (1993 - 2005) en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región.....	74
Anexo 2. Distribución temporal de la abundancia relativa de <i>Alexandrium catenella</i> entre 1994 y 2000 en las tres áreas de Magallanes, XII Región. (Guzmán <i>et al.</i> (2002) <i>Alexandrium</i>	

<i>catenella</i> y Veneno Paralizante de los Mariscos en Chile. En: Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano).....	80
--	----

Anexo 3. Promedio mensual de células de <i>Alexandrium catenella</i> por unidad de volumen (ml) en la serie de tiempo (1993 – 2005) de la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región. ....	80
---	----

Anexo 4. Modelo esquemático de la circulación general horizontal de la capa superficial en los fiordos de la XI Región (gentileza Dr. Mario Cáceres, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada).....	81
---	----

Anexo 5. Modelo esquemático de la circulación general horizontal en el nivel superficial (0-30 m), de las aguas subantárticas modificadas y estuarinas en la zona de Puerto Montt a Laguna San Rafael (Silva <i>et al.</i> , 1998). ....	81
--	----

## 1. RESUMEN.

Actualmente la intensidad, duración y cobertura geográfica de las FAN producidas por la especie *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoed, Balech 1985), en el sur de Chile han aumentado desde 1972 hasta 2005, extendiéndose desde la XII Región hasta la X Región.

De una estación fija ubicada en la XI Región, denominada “Nueva Hammerfest”, se analizó una serie de tiempo desde 1993 a 2005, con el fin de determinar si la presencia de *A. catenella* está relacionada con eventos tóxicos de esta especie observados en la zona austral de Chile. El análisis se basó en el recuento de células de muestras de red, estimación de Índices de Abundancia Relativa y relaciones de dependencia de la especie con registros de temperatura del agua. Se recolectaron 537 muestras de red, de las cuales 267 corresponden a los Cruceros Aysén (I - V) y 270 a la estación fija. Se determinó que la especie se encuentra en el plancton en cualquier época del año, con mayor presencia entre febrero y abril, observándose además una relación entre anomalías térmicas positivas en la superficie del mar con la presencia de *A. catenella* en todo el periodo de estudio. Aunque *A. catenella* se presentó en el plancton simultáneamente con grandes floraciones registradas en el sur de Chile, su distribución temporal no sigue un patrón determinado. *A. catenella* aumentó su rango de distribución geográfica desde la XII Región a la X Región del país. Dentro de las posibles causas de la expansión del rango de distribución de este dinoflagelado, no se descarta que la presencia de *A. catenella* pueda producirse por la expansión del núcleos tóxicos o dispersión por corrientes.

## 2. ABSTRACT.

The intensity, duration and geographical covering of the HABs, produced by *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid, Balech 1985) in the southern Chile, have increased from 1972 up to 2005. Its impact extends from the XII Region until the X Region.

A time serie in a fixed station located in the XI Region, called "Nueva Hammerfest", the years 1993 to 2005 was analized to determine if the presence of *A. catenella* is related with toxic events of this species observed in this region. Also, to find the possible causes of the increase of the geographical covering of this dinoflagellate. The analysis was based on cells counting of net samples, estimated by Indexes of Relative Abundance (IRA) and relationships between the species and the water temperature records. A number of 537 net samples were gathered, of which 267 corresponded to Cruceros Aysén (I - V) and 270 to the fixed station. The results indicated that the species was present in the plankton at any time of the year, with a higher incidence between february and april. A relationship between positive thermal anomalies (increased temperature) in the surface and the presence of *A. catenella* in the whole period of study was detected. Although *A. catenella* was presented simultaneously in the plankton with large blooms registered in the south of Chile the temporal distribution was not follow a clear pattern. The geographical distribution of *A. catenella* increased from the XII Region to the X Region. In the light of these results it is possible that the presence of *A. catenella* can be associated to an expansion of the toxic nuclei or dispersion by currents.



### 3. INTRODUCCION.

Las numerosas especies de microalgas que componen el fitoplancton son las formas de vida más abundantes de nuestro planeta, las que a través de la fotosíntesis, proveen el alimento básico de toda la vida marina, debido a que son responsables de más del 90 % de la producción de materia orgánica en el mar y contribuyen, aproximadamente, a la renovación anual del 95 % del oxígeno atmosférico (Avaria, 1999a; Lehanne, 2000). Las microalgas se distribuyen en todo el planeta, particularmente en la fracción de la columna de agua que recibe luz y son más abundantes en las zonas costeras que en las oceánicas (Guzmán & Suárez, 1999).

El fitoplancton constituye una de las comunidades marinas más diversas, compuesta por cientos de géneros y miles de especies de algas unicelulares. Las clases dominantes son Bacillariophyceae (diatomeas), Dinophyceae (dinoflagelados), Prymnesiophyceae (cocolitofóridos), Cryptophyceae, Chlorophyceae, Raphidophyceae y Euglenophyceae, constituyendo la mayor parte del nanoplancton (2 - 20µm) y microplancton (20 - 200 µm).

En ciertas oportunidades y bajo condiciones ambientales favorables, algunos organismos fitoplanctónicos provocan notorias discoloraciones del agua, fenómenos de ocurrencia mundial conocidos genéricamente como mareas rojas. El término marea roja se define como un cambio de color de las aguas marinas, salobres o continentales causados por algunos organismos planctónicos, que en condiciones ecológicas favorables para su desarrollo, se multiplican explosivamente y se concentran en determinadas regiones, dando al mar una coloración que varía desde pardo amarillento a rojo intenso, dependiendo de la concentración y pigmentación de la especie involucrada, y la profundidad a que se encuentre (Guzmán & Campodonico, 1975; Guzmán & Campodonico, 1978; Avaria, 1999a).

Las mareas rojas en el ambiente marino son conocidas desde hace muchos años y en distintas partes del mundo, por lo que habitantes del litoral de diversas áreas del planeta han acuñado términos tales como “aguaje” (Perú), “purga do mar” (España), “eau rouges” (Francia), “L’ acqua rossa” (Italia), “akashiwo” (Japón), “red tides” o “red waters” (países angloparlantes), “tingui” o “aguja” (Cuba), “turbio” (Venezuela), “huirirhue” o “virigue” (norte de Chile), de acuerdo a lo expresado por Guzmán y Suárez (1999).

Debido a que la mayoría de las mareas rojas son completamente inocuas (López *et al.*, 1999), actualmente se utiliza el término Floración Algal Nociva o FAN para referirse a aquellas floraciones causadas por organismos productores de toxinas, que provocan un efecto negativo sobre la salud humana, la acuicultura, el turismo u otra actividad económica, independientemente si causan o no coloración del agua de mar (Avaria, 1999b). Sin embargo, solo algunas de las floraciones que producen cambio en la coloración del agua son tóxicas para el ser humano. El inicio, desarrollo y desaparición de una floración algal depende de la interacción de múltiples factores biológicos, hidrológicos y meteorológicos, cuyos mecanismos de acción pueden diferir de un lugar a otro (Avaria, 1999a).

La periodicidad de estos eventos es variable, presentándose en forma regular en algunas regiones, mientras que en otras puede existir sin ninguna regularidad u ocasionalmente. Su duración puede ser de días hasta meses, abarcando una extensión que puede variar desde menos de un kilómetro cuadrado hasta varios cientos de kilómetros cuadrados (Avaria, 1999a; Guzmán & Campodonico, 1978). A pesar de esto, tanto la magnitud como la extensión de la proliferación dependerán de la capacidad de carga ambiental, limitada fundamentalmente por la concentración de nutrientes, el efecto del pastoreo, la relación entre los espesores de la capa de mezcla y zona eufótica (que a su vez puede ser alterada por la disminución de la temperatura superficial,

intensificación del viento y aumento de la concentración fitoplanctónica), como también de las características biológicas de la o las especies dominantes (Alvial & Labbé, 1989).

Los efectos deletéreos sobre la fauna acuática que causan las FAN, pueden deberse a la producción de toxinas por parte de los organismos causantes del fenómeno y/o a condiciones secundarias derivadas de éste, tales como agotamiento de oxígeno del agua, desequilibrio en la concentración de nutrientes, producción de ácido sulfídrico y bacterias asociadas a los dinoflagelados (Guzmán & Campodonico, 1978).

A pesar de lo complejo del problema se ha observado que las temperaturas altas por aumento en la insolación, baja salinidad, estabilidad de la columna de agua asociada a vientos muy débiles, aporte de nutrientes, presencia y concentración de ciertas sustancias orgánicas e inorgánicas, más el comportamiento biológico de los organismos, son algunos de los factores importantes en el origen y desarrollo de estos fenómenos (Guzmán & Campodonico, 1978; Villarroel & Muñoz, 1991).

Avaria (1999c) menciona además la eutrofización costera por fuentes antropogénicas, el transporte de quistes de dinoflagelados en aguas de lastre de buques, el traslado de moluscos de un área a otra, así como también los cambios climáticos como factores relevantes para la ocurrencia de una floración algal, debido a que podrían provocar un aumento en la frecuencia, intensidad y permanencia de éstos en áreas costeras, además de un incremento en su cobertura geográfica y distribución mundial.

Las principales toxinas producidas durante un evento FAN pueden agruparse en: a) Veneno Paralizante de Moluscos (VPM), b) Veneno Diarréico de Moluscos (VDM), c) Veneno Amnésico de Moluscos (VAM), d) Veneno Neurotóxico de Moluscos (VNM), e) Veneno ciguatera y f) Veneno de cianobacterias.

El Veneno Paralizante de los Mariscos o VPM ha sido asociado con varias especies de microalgas marinas, incluyendo los géneros *Alexandrium*, *Gymnodinium* y *Pyrodinium* (Lehanne, 2000). Dentro de los componentes tóxicos del VPM la más nociva es la saxitoxina, que se describe como una potente toxina neuromuscular soluble en agua (Villarroel, 1991; Lehanne, 2000). Su nombre deriva de *Saxidomus giganteus*, bivalvo en donde se detectó por primera vez (Villarroel & Muñoz, 1991). Esta toxina actúa bloqueando el flujo de los iones sodio afectando la membrana celular, interrumpiendo la transmisión de señales, causando parálisis (Alcayaga *et al.*, 1997; Lehanne, 2000).

Según Lehanne (2000) las saxitoxinas pueden ser agrupadas en toxinas carbamoyl (STX, neoSTX y GTX 1, 2, 3, 4), toxinas Sulfocarbamoyl (GTX 5, 6 y fracciones C1, C2, C3, C4) y toxinas decarbamoyl. Menciona también que la mayoría de los moluscos afectados pueden presentar una mezcla de varias toxinas, dependiendo de la especie, organismo causante del VPM y área geográfica afectada. Estas potentes toxinas son acumuladas en la glándula digestiva de la mayoría de los moluscos, provocando así la intoxicación del hombre, debido a que son rápidamente absorbidas por la mucosa gastrointestinal. La intoxicación depende de la dosis consumida, susceptibilidad del individuo intoxicado y la tasa de eliminación de las toxinas. El nivel regulatorio normal de VPM para moluscos bivalvos frescos en la mayoría de los países es de 80 µg STX eq/ 100 g de tejido. Cuando este límite es sobrepasado se decreta una veda y comienzan los análisis tanto del fitoplancton como de los organismos involucrados. La dosis mínima letal para el hombre se estima en 0,5 miligramos.

Los bivalvos filtradores, dependiendo de la especie, no tienen las mismas capacidades para acumular toxinas producidas por diversos dinoflagelados del género *Alexandrium* (Bougrier *et al.*, 2003). El alto poder tóxico de los organismos causantes de FAN junto con la capacidad de

los bivalvos para acumular a los mismos, hacen posible la intoxicación de seres humanos (Blanco *et al.*, 1997). Se han realizado diversos estudios sobre la tasa de depuración de toxinas y el efecto de éstas sobre distintas especies de bivalvos de consumo potencial en diferentes países (Shimizu & Yoshioka, 1981; Maruyama *et al.*, 1983; Bardouil *et al.*, 1993; Lesser *et al.*, 1993; Scarrat *et al.*, 1993; Lassus *et al.*, 1994; Cembella *et al.*, 1994; Bardouil *et al.*, 1996; Carreto *et al.*, 1996; Blanco *et al.*, 1997; Suzuki *et al.*, 1998; Li *et al.*, 2002; Bougrier *et al.*, 2003; Haya, *et al.*, 2003; Persson & Rosenberg, 2003). Debido a la importancia ecológica de estas floraciones nocivas, también se han realizado estudios en gastrópodos, los que al ser predadores de moluscos bivalvos principalmente, van acumulando las toxinas (Chen & Chou, 1998; Compagnon *et al.*, 1998; Carreto *et al.*, 1996; Wekell *et al.*, 1996). Aún así, se ha demostrado que la razón por la cual los mariscos no se ven afectados al ingerir grandes dosis de toxinas, se debe principalmente a que poseen canales de calcio, por lo que no se verían alterados de la misma forma que el ser humano.

El seno Aysén constituye uno de los fiordos más importantes de la zona de senos y canales chilenos, debido a su ubicación geográfica, forma y utilización (Sievers & Prado, 1994). Este fiordo altamente sensible a impactos ambientales, lo convierte en un foco de posibles perturbaciones ecológicas, incluyendo la aparición de mareas rojas tóxicas producidas por dinoflagelados de los géneros *Alexandrium* y *Dinophysis*, organismos que producen toxinas que, al ser acumuladas por moluscos bivalvos, se asocian a intoxicaciones en seres humanos. Esto afectaría el posible uso de estos ambientes como lugares de desarrollo de la maricultura (Muñoz *et al.*, 1992).

Los datos históricos de la zona sur de Chile muestran que las floraciones nocivas han incrementado su frecuencia de aparición, duración, extensión e intensidad en los últimos años (Guzmán *et al.*, 2002). En 1972 se describe por primera vez *Alexandrium catenella* (Whedon &

Kofoed, Balech 1985), como principal causante de las FAN en la Región de Magallanes, cuya duración fue de aproximadamente cinco semanas, abarcando desde el sector occidental del estrecho de Magallanes hasta el canal Beagle (Guzmán *et al.*, 1975; Guzmán & Campodonico, 1975, 1978) (Lám. 1).

Una nueva floración de *A. catenella* fue detectada el 12 de febrero de 1981, observándose más al norte que en 1972, cubriendo un área geográfica menos extensa, entre Paso Tres Cerros y canal Abra (Lembeye, 1981a y b).

Hasta el año 1988, Magallanes era la única región de Chile donde existían antecedentes fehacientes sobre la existencia del VPM. El 15 de abril de 1989 se produjo un nuevo brote tóxico, tras la intoxicación masiva de personas ocurrida en Punta Arenas por consumo de mariscos, colectados en estero Núñez, al norte de la ciudad. A diferencia de los anteriores la información recopilada fue escasa, debido principalmente al fracaso de la expedición destinada a caracterizar el fenómeno y a delimitar las áreas afectadas (Uribe, 1988).

Desde 1991 a 1994 el VPM se distribuyó ampliamente en toda la XII Región (Uribe & Santana, 1999), en tanto que hasta 2005, las floraciones asociadas a la presencia de *A. catenella* con casos de intoxicación, fueron más recurrentes (Guzmán, com. per.).

El primer registro de esta especie en la XI Región se realizó en 1992, frente a la isla Churrecue (Muñoz *et al.*, 1992; Medina, 1997). A raíz de esto la Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Naturales de la Universidad de Valparaíso estableció una estación fija en seno Aysén, denominada “Nueva Hammerfest”, operativa desde 1993 a la fecha. Posteriormente, Lembeye *et al.* (1994) detectaron nuevamente la presencia del dinoflagelado tóxico en el área de estudio y se reconoció el aumento en extensión geográfica de esta especie hasta la Región de

Aysén, siendo posible observarla en el plancton durante prácticamente todo el año en esta Región (Guzmán *et al.*, 2002).

Entre enero y junio de 2002, el Servicio de Salud Llanquihue (Llanquihue – Chiloé – Palena), X Región, detectó por primera vez la presencia del fenómeno de marea roja por VPM en la Región de Los Lagos, que abarcó una gran parte de la isla de Chiloé, detectándose la presencia de *Alexandrium catenella* en la zona (Villarroel, 2004). Este brote que se presentó en Quellón, isla Cailín, incluyendo Guapiquilán, extremo sur del archipiélago de Chiloé, se registró desde el 22 de enero de 2002 hasta abril del mismo año, continuando su avance hacia el norte, alcanzando hasta canal Dalcahue (Clément *et al.*, 2002). En enero de 2003 se siguió detectando la toxina productora de VPM en la X Región (Villarroel, 2004), mientras que en el año 2005 se detectó *A. catenella* en las muestras de red de la X Región, pero en baja abundancia relativa (Clément, com. per.).

La dispersión de *A. catenella*, es comprendida por el análisis e interpretación de la distribución de los seres vivos en el tiempo, disciplina denominada como Biogeografía, destinada a cumplir un importante papel en la conservación de la biodiversidad (Wiley, 1981).

De acuerdo a este autor existen diferentes tipos de aproximaciones a la biogeografía: Biogeografía Descriptiva e Interpretativa. A su vez, el autor reconoce dentro de la Biogeografía Interpretativa dos diferentes grupos: la Biogeografía Histórica, que se define como el estudio de las distribuciones espaciales y temporales de los organismos (usualmente sobre el nivel de taxón), y que intenta proveer explicación para estas distribuciones, basándose en eventos históricos del pasado; y la Biogeografía Ecológica, se define como el estudio de la dispersión de los organismos (usualmente sobre los niveles de individuo y “deme”), que contempla los mecanismos por los que se mantienen o cambian las dispersiones. Más aún, se piensa a la Biogeografía como un sistema

multicapa de mapas, donde cada capa representa una propiedad diferente y/o dirige un aspecto diferente de la biota (Boltovskoy, 1995).

De esta forma, la elaboración de atlas biogeográficos, es decir, las síntesis de patrones de distribución de los organismos de un área biogeográfica, representadas por trazos, Áreas de Endemismo y Cladogramas de Áreas, permitirían documentar de manera eficiente los patrones de la diversidad biológica, con miras a su conservación y uso sustentable.

En este estudio se plantearon las siguientes hipótesis:

**H<sub>1</sub>:** La presencia de *Alexandrium catenella* en una estación fija ubicada en el fiordo Aysén, XI Región, durante el periodo 1993 - 2005, está relacionada con eventos tóxicos de esta especie observados en la zona austral de Chile.

**H<sub>0</sub>:** La presencia de *Alexandrium catenella* en una estación fija ubicada en el fiordo Aysén, XI Región, durante el periodo 1993 - 2005, no está relacionada con eventos tóxicos de esta especie observados en la zona austral de Chile.

El objetivo general de esta tesis es:

- Conocer el rango de distribución del dinoflagelado *Alexandrium catenella* en la zona sur de Chile y variación interanual en el fiordo Aysén, XI Región.

Objetivos específicos:

- a) Recopilar información histórica sobre floraciones tóxicas asociadas a la especie *Alexandrium catenella* en las Regiones señaladas
- b) Analizar serie de tiempo (1993 - 2005) de presencia - ausencia de *Alexandrium catenella*, en una estación fija ubicada en seno Aysén, XI Región.
- c) Reunir antecedentes sobre la distribución de *Alexandrium catenella* en la X, XI y XII Regiones de Chile.



## **4. MATERIAL Y METODOS.**

### **4.1. Área de estudio.**

Durante 1991 y 1992 se llevaron a cabo por parte de la Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Naturales de la Universidad de Valparaíso, cinco cruceros oceanográficos correspondientes al proyecto FONDECYT 91 - 0410 “Caracterización oceanográfica del seno Aysén”.

Lo anterior permitió el establecimiento de una estación fija denominada “Nueva Hammerfest”, ubicada en el seno Aysén, frente a punta Camello ( $45^{\circ}26'S$ ;  $73^{\circ}00'W$ ), XI Región (Fig. 1).

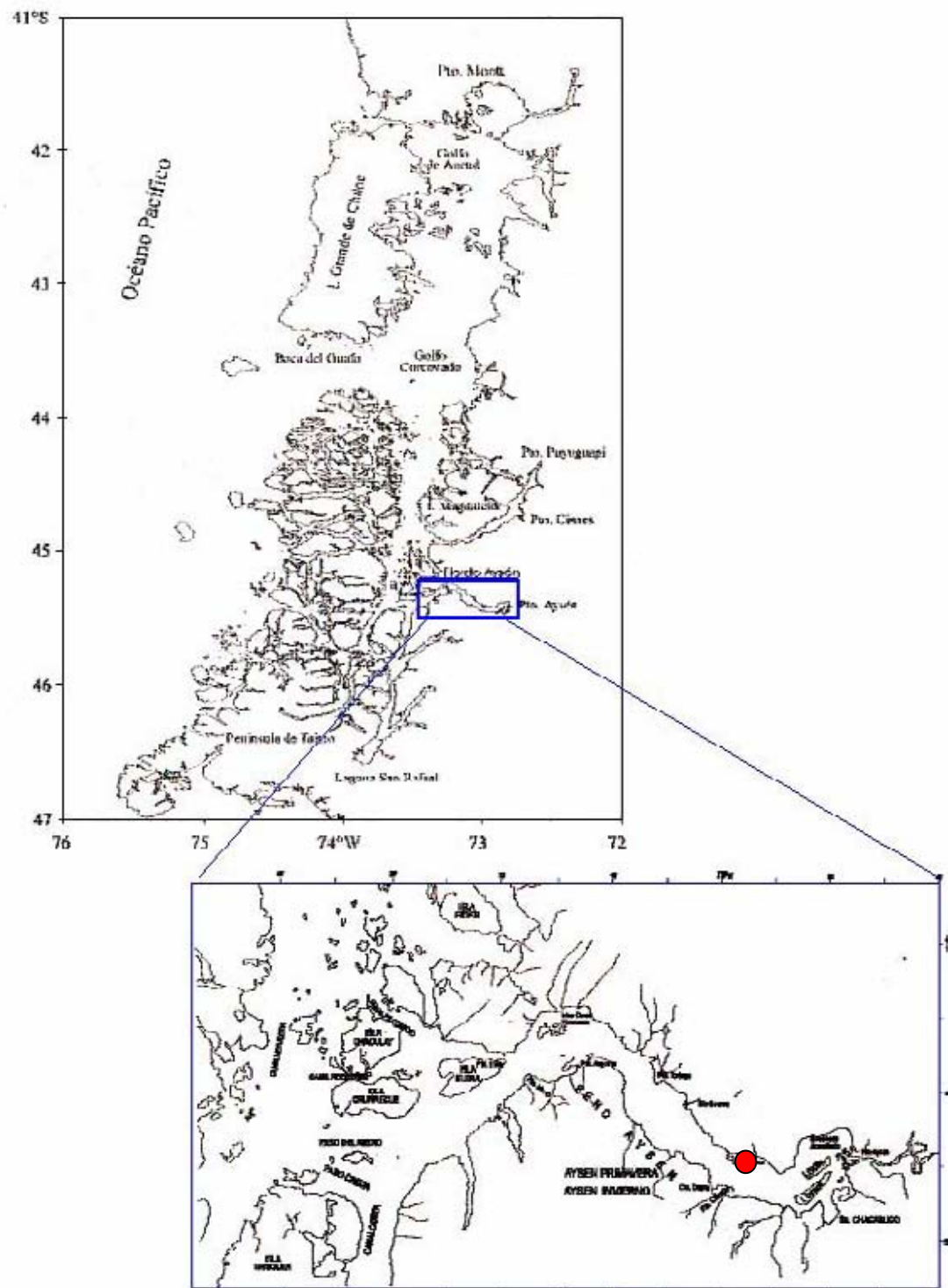


Fig. 1. Ubicación geográfica de la estación fija “Nueva Hammerfest” en el seno Aysén, XI Región, Chile.

#### **4.2. Metodología de muestreo y procesamiento de muestras.**

De la estación fija “Nueva Hammerfest” se obtuvieron aproximadamente cada 15 días por medio de una embarcación menor, muestras cualitativas para estudio de microfitoplancton mediante arrastres horizontales durante 15 minutos con una red con apertura de malla de 62  $\mu$ . El muestreo, a cargo de colonos de la XI Región, se efectuó durante el periodo comprendido desde el 9 de febrero de 1993 hasta el 4 de julio de 2005, constituyendo la única serie de tiempo de esta naturaleza en el fiordo Aysén. Se registró además la temperatura superficial del mar con un termómetro de contacto desde febrero de 1994 hasta julio de 2005.

Las muestras de red obtenidas de la estación fija, se fijaron con formol neutralizado con bórax al 5 % y se guardaron en frascos plásticos de 250 ml de capacidad, para su posterior estudio cualitativo realizado en el Laboratorio de Microscopía de la Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Naturales de la Universidad de Valparaíso.

Se analizó un total de 270 muestras de red provenientes de la estación fija, en el periodo comprendido desde el 9 de mayo hasta el 1 de agosto de 2005. Para los análisis, se utilizó un microscopio ZEISS AXIOSTAR *Plus* con un aumento de 100X y 400X y un microscopio Leitz DIALUX 20, con los mismos aumentos, provisto de equipamiento fotográfico y accesorios para observar con contraste de fases. De cada muestra se extrajo una submuestra para mantenerlas como registro en los laboratorios de dicha institución, analizando de éstas las respectivas alícuotas (una gota por submuestra) con el fin de identificar especies nocivas y hacer un recuento de ellas, cuyos resultados se expresan en Índices de Abundancia Relativa. Los resultados del recuento se expresaron en número de células por un mililitro (ml), utilizando el Método de Recuento de Células en una Gota de Agua (Labbe & Alvial, 1994), llenando con un gotario un

cilindro graduado con la muestra a analizar (previamente agitada) hasta completar 1 ml. Luego se realizó el siguiente cálculo:

$$18 \text{ gotas de muestra (obtenidas)} \longrightarrow 1 \text{ ml}$$

$$1 \text{ gota de muestra} \longrightarrow X$$

$$X = 0,06 \text{ ml}$$

Posteriormente se realizó el siguiente cálculo para determinar el número de células de *A. catenella* por ml de muestra:

$$N \text{ Células} \longrightarrow 0,06 \text{ ml}$$

$$X \text{ Células} \longrightarrow 1 \text{ ml}$$

Donde:

N: Número de células por gota de muestra (0,06 ml)

X: Número de células esperadas en 18 gotas (1 ml)

Las determinaciones taxonómicas de los dinoflagelados se realizaron sobre la base de literatura especializada tales como Taylor *et al.* (1995), Tomas (1996), Steidinger & Tangen (1997) y Balech (1988, 2002), entre otros.

### 4.3. Metodología de análisis de datos.

Con los datos obtenidos se confeccionaron planillas de cálculo con el fin de facilitar los análisis numéricos y representación gráfica de los resultados.

Se calculó y analizó el promedio anual de las células de *Alexandrium catenella* en la serie de tiempo 1993 - 2005.

En la obtención de los Índices de Abundancia Relativa del fitoplancton de red, se utilizó la escala de clasificación propuesta por Avaria (1975), modificada por Cassis (1999), la cual fue adaptada en este estudio debido a las características del fitoplancton presente en el seno Aysén y aplicada a 1 ml de muestra.

Escala numérica	Número de individuos	Denominación
0	0	Ausente
1	1	Raro
2	2-10	Escaso
3	11-50	Abundante
4	51-80	Muy Abundante
5	80+	Floración

Finalmente se obtuvieron gráficos de los Índices de Abundancia Relativa para describir anualmente las floraciones de *Alexandrium catenella* registradas en el periodo de estudio.

Los datos de temperatura superficial desde 1994 hasta 2005, se procesaron como datos puntuales, graficando promedios mensuales, estacionales (invierno - verano), anuales y totales.

Para obtener los registros sobre floraciones de *A. catenella* en la X, XI y XII Regiones, se recopiló la mayor cantidad de información publicada en revistas científicas e informes técnicos de proyectos financiados por el Fondo de Investigación Pesquera (FIP). Se obtuvo además información proveniente del Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos del Servicio Nacional de Pesca. Además se sostuvo entrevistas personales con científicos que se han dedicado al estudio

de las floraciones algales en Chile, procesando también información relacionada a través de páginas web especificadas de Internet.

## 5. RESULTADOS.

### 5.1. Análisis del número de células de *Alexandrium catenella* por mililitro (ml) en la serie de tiempo 1993 - 2005 en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región.

Al analizar el número de células de *A. catenella*, se observó en 1994 un promedio de 216 células  $\cdot$  ml<sup>-1</sup> en octubre, en 1995 un promedio de 72 células  $\cdot$  ml<sup>-1</sup> en marzo y en diciembre un promedio de 549 células  $\cdot$  ml<sup>-1</sup>, en 1997 se observó un promedio de 702 células  $\cdot$  ml<sup>-1</sup> en febrero y 18 células  $\cdot$  ml<sup>-1</sup> en abril, en 1998 una cantidad promedio de 18 células  $\cdot$  ml<sup>-1</sup> en febrero y 9 células  $\cdot$  ml<sup>-1</sup> en junio, en 1999 un promedio de 9 células  $\cdot$  ml<sup>-1</sup> en agosto, en 2002 un promedio de 585 células  $\cdot$  ml<sup>-1</sup> en marzo y en 2005 un promedio de 135 células  $\cdot$  ml<sup>-1</sup> en febrero (Fig. 2). No se registró la especie en 1993, 1996, 2000, 2001, 2003 y 2004.

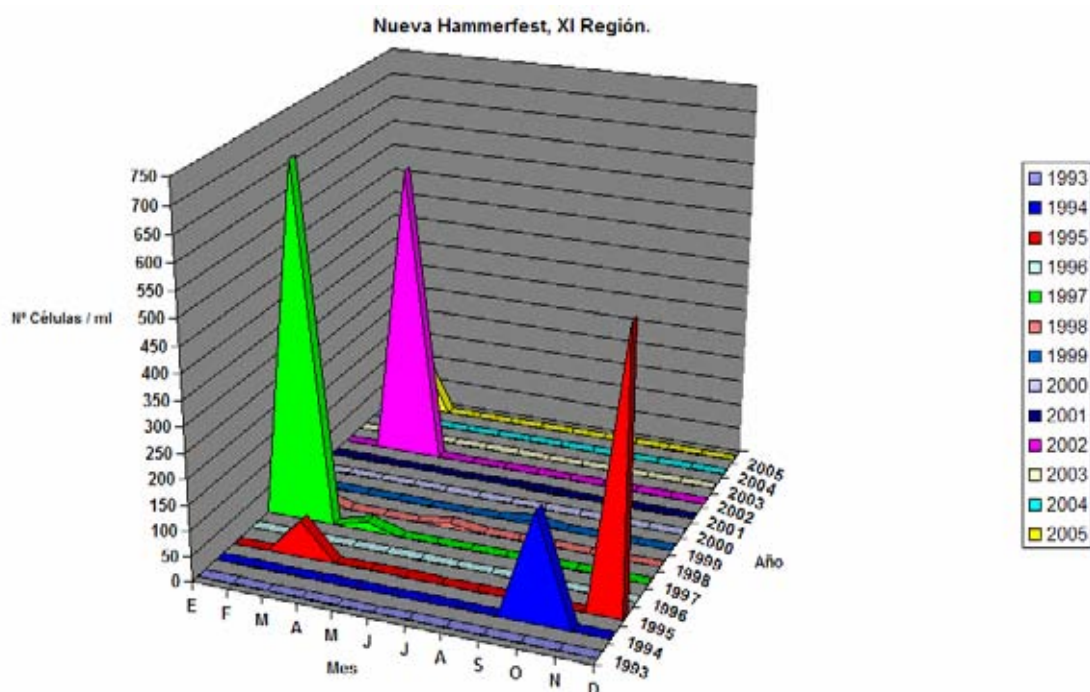


Fig. 2. Número de células de *Alexandrium catenella* por ml en las muestras de la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región, serie de tiempo 1993 - 2005.

## **5.2. Índice Abundancia Relativa (IAR) de *Alexandrium catenella* en las muestras de la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región (serie de tiempo: 1993 - 2005).**

El dinoflagelado tóxico *Alexandrium catenella* fue observado reiteradas veces en la estación fija de Aysén, XI Región, durante el análisis de las muestras de la serie de tiempo 1993 - 2005 (Fig. 3).

Al analizar el porcentaje de ocurrencia mensual de la especie tóxica por año, se observó en 1994 un 9,09 % del total de las apariciones en el periodo de estudio; en 1995 hubo dos apariciones, correspondientes a un 18,18 %; en 1997 nuevamente apareció el alga tóxica en los meses de febrero y abril, lo que corresponde a un 18,18 %; el año 1998 hubo también dos apariciones, siendo la primera en el mes de marzo y la segunda en el mes de junio, correspondientes a un 18,18 %; en 1999 sólo se registró una aparición en el mes de agosto, que corresponde a un 9,09 %; luego se presentó el 2002 en dos ocasiones el mes de marzo y en abril, correspondientes a un 18,18 %; finalmente, se encontró el 2005 en el mes de febrero, que corresponde a un 9,09 % (Fig. 4).



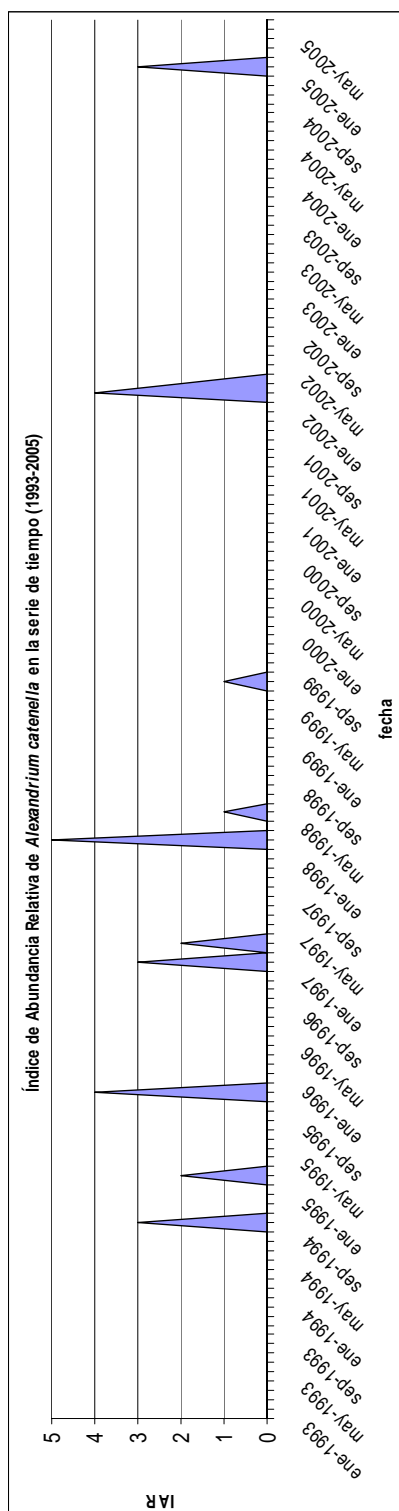


Fig. 3. Índice de Abundancia Relativa de *Alexandrium catenella* en la serie de tiempo 1993 – 2005 en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región.

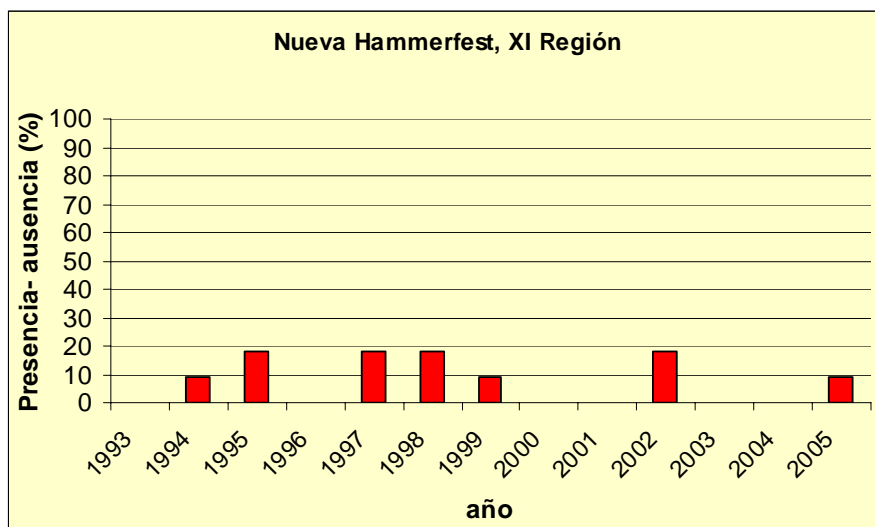


Fig. 4. Porcentaje de presencia - ausencia anual de *Alexandrium catenella* en la serie de tiempo 1993 – 2005 en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región.

En el análisis de cada muestra de la serie de tiempo (aproximadamente dos muestras por cada mes), esta especie relacionada con intoxicaciones humanas por Veneno Paralizante de Mariscos (VPM), sólo apareció en 14 ocasiones, lo que representa un 5,34 % del total de muestras analizadas. Se encontró que en un 95,19 % *Alexandrium catenella* estuvo ausente; en un 0,74 % su aparición fue rara; en un 1,48 % escasa; en un 1,48 % abundante; muy abundante en un 0,74 % de las muestras y sólo un 0,38 % se presentó en forma masiva o produjo floración (Fig. 5 y 6, Tabla 1).

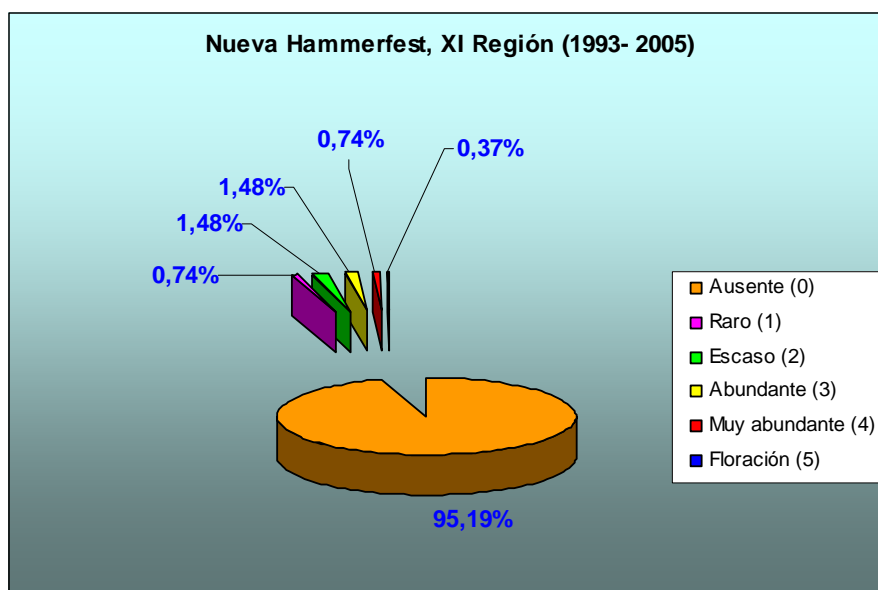


Fig. 5. Porcentaje de presencia - ausencia de *Alexandrium catenella* en el total de muestras analizadas de la serie de tiempo 1993 – 2005, Nueva Hammerfest, XI Región.

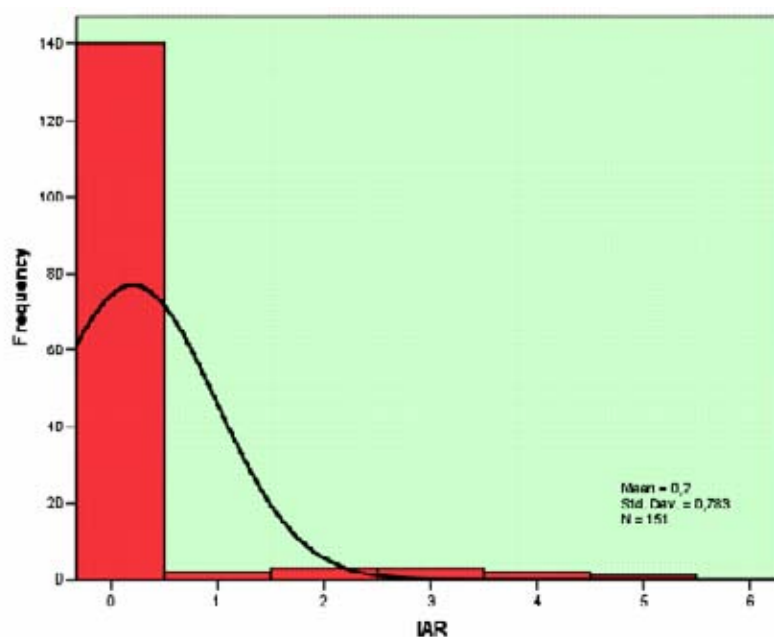


Fig. 6. Frecuencias y porcentajes de presencia - ausencia de *Alexandrium catenella* obtenidos mensualmente en la serie de tiempo 1993 – 2005, Nueva Hammerfest, XI Región.

Tabla 1. Resumen de las frecuencias y porcentajes obtenidos al analizar mensualmente la aparición de *Alexandrium catenella* en la serie de tiempo (1993 - 2005), Nueva Hammerfest, XI Región.

IAR		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Ausente	140,0	92,7	92,7	92,7
	Raro	2,0	1,3	1,3	91,0
	Escaso	3,0	2,0	2,0	96,0
	Abundante	3,0	2,0	2,0	98,0
	Muy abundante	2,0	1,3	1,3	98,0
	Floración	1,0	0,7	0,7	99,0
	Total	151,0	100,0	100,0	100,0

Las abundancias relativas de *A. catenella*, fueron diversas en las en la serie de tiempo. En las muestras de 1993 no se encontró la especie tóxica, en cambio se encontró en forma abundante (3) *A. catenella* en 1994 sólo en la muestra recolectada el 2 de octubre (Fig. 7). En 1995 se observó la especie tóxica en dos ocasiones, escasa (2) para el día 5 de marzo y muy abundante (4) el día 10 de diciembre (Fig. 8), ausentándose nuevamente en 1996. En 1997 se encontró la especie en tres ocasiones: escasa (2) el 10 de febrero, abundante (3) el 20 de febrero y escasa (2) el 11 de abril (Fig. 9). En 1998 nuevamente se observó a esta especie en tres ocasiones: el 9 de marzo en concentraciones muy elevadas o de floración (5), abundante (3) el 24 de marzo y como especie rara (1) el día 14 de junio (Fig. 10). En 1999 sólo fue observada el 22 de agosto y se presentó como rara (1) en el plancton (Fig. 11). La especie no fue observada en los años 2000 y 2001. En el año 2002 se observó muy abundante (4) el 25 de marzo, pero escasa (2) el 8 de abril (Fig. 12), sin presentarse en las muestras de los años 2003 y 2004, encontrándose posteriormente y en forma abundante (3) en la muestra del 27 de febrero de 2005 (Fig. 13).

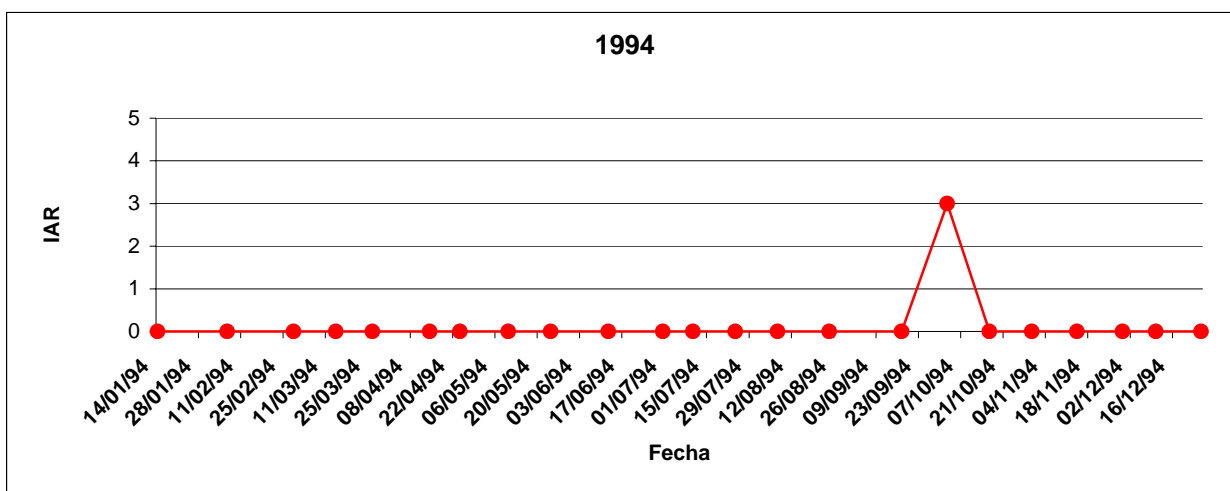


Fig. 7. Abundancia Relativa de *Alexandrium catenella* en la estación fija “Nueva Hammerfest, XI Región, 1994.

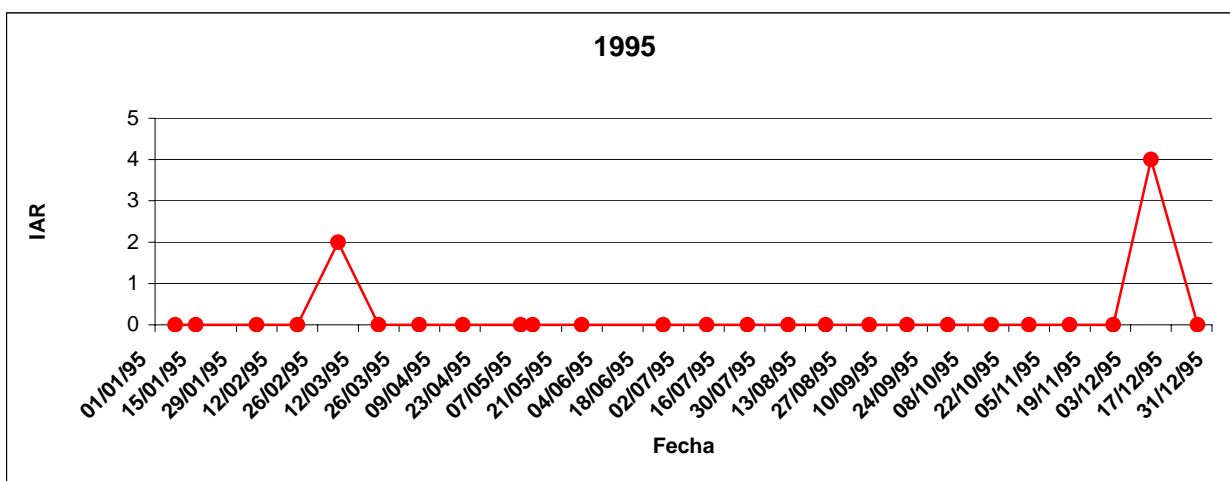


Fig. 8. Abundancia Relativa de *Alexandrium catenella* en la estación fija “Nueva Hammerfest, XI Región, 1995.

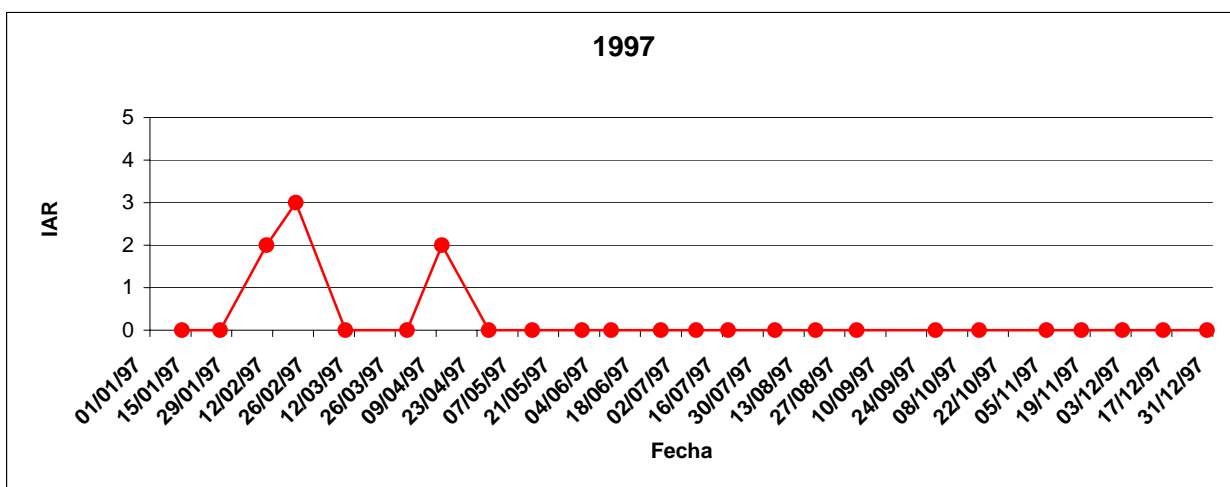


Fig. 9. Abundancia Relativa de *Alexandrium catenella* en la estación fija “Nueva Hammerfest, XI Región, 1997.

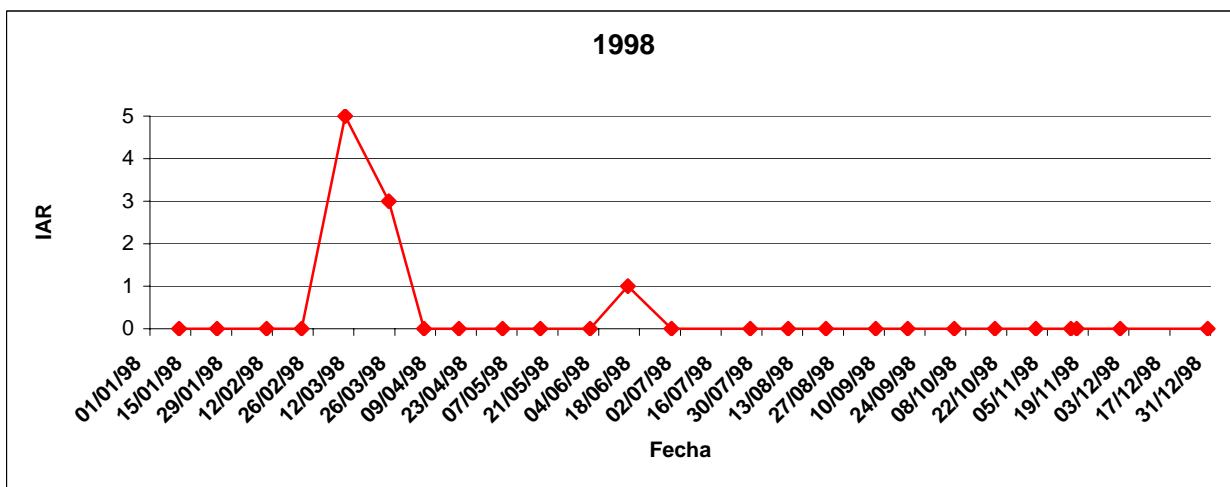


Fig. 10. Abundancia Relativa de *Alexandrium catenella* en la estación fija “Nueva Hammerfest, XI Región, 1998.

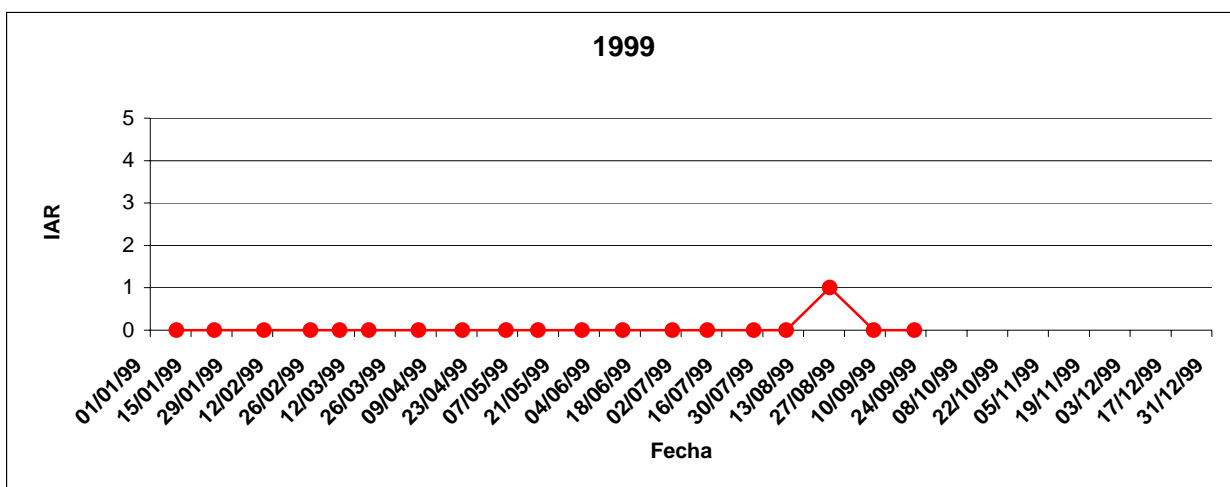


Fig. 11. Abundancia Relativa de *Alexandrium catenella* en la estación fija “Nueva Hammerfest, XI Región, 1999.

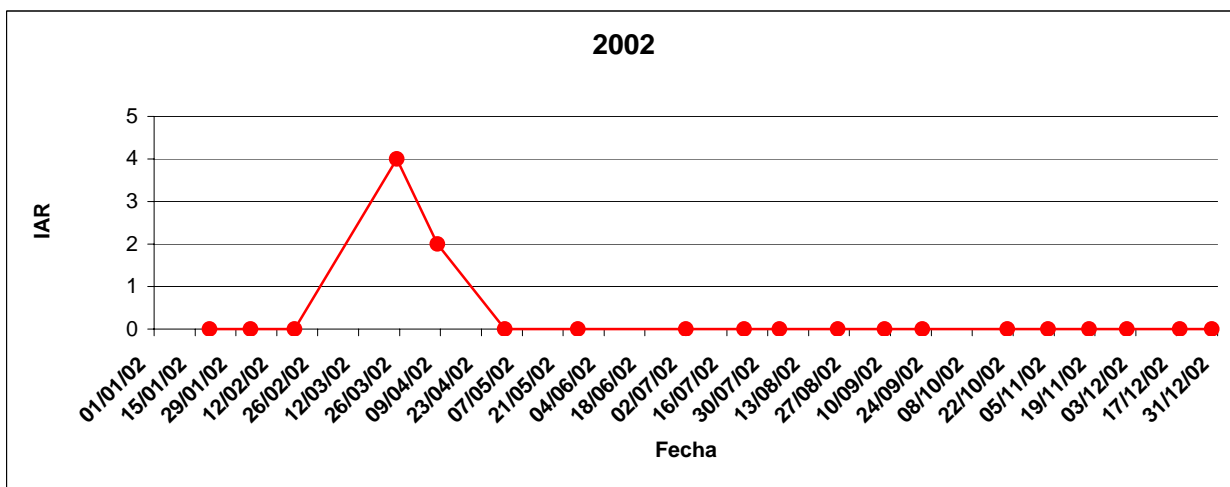


Fig. 12. Abundancia Relativa de *Alexandrium catenella* en la estación fija “Nueva Hammerfest, XI Región, 2002.

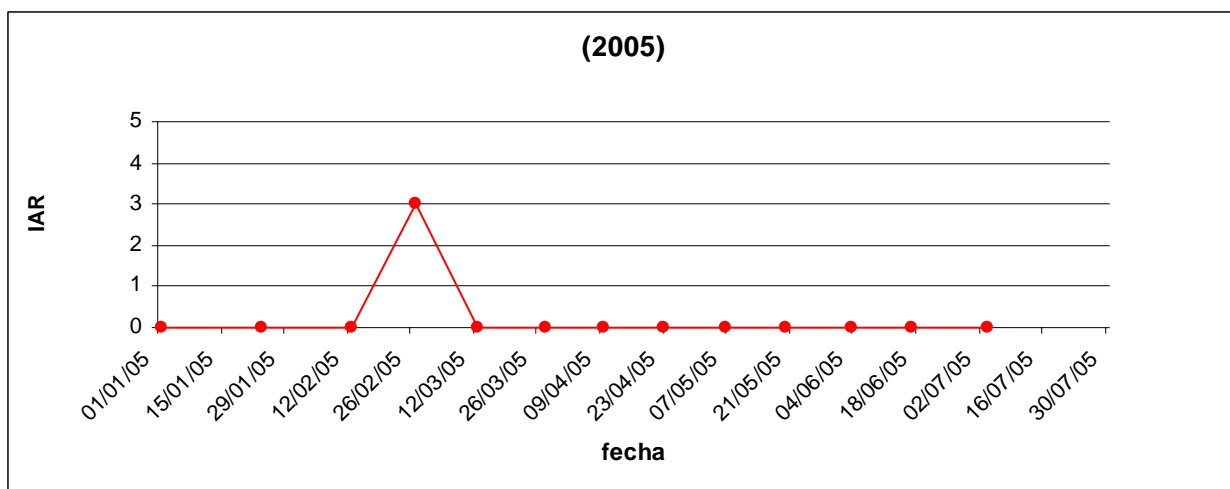


Fig. 13. Abundancia Relativa de *Alexandrium catenella* en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región, 2005.

Guzmán *et al.*, (2002), presentaron un cuadro resumen de las floraciones algales nocivas en la XII Región ocurridas en el área norte, centro y sur desde 1994 hasta 2000. En este trabajo se realizó una tabla similar con los datos obtenidos en la estación fija “Nueva Hammerfest”, para realizar un análisis comparativo. De los resultados se desprende que *A. catenella* presentó una mayor concentración entre mediados de verano y principios de otoño (febrero - abril), con una menor presencia el resto del año, con claras excepciones en los años 1997 y 1998, en que se observó a esta especie incluso en los meses más fríos del año (junio y agosto, respectivamente) y en los años 1994 y 1995 (octubre y diciembre, respectivamente) (Tabla 2).



Tabla 2. Resumen de la distribución temporal de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* en la serie de tiempo 1993 - 2005 en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región (s.d.= sin datos).

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1993												
1994												
1995												
1996												
1997												
1998												
1999												
2000												
2001												
2002												
2003												
2004												
2005								s.d	s.d	s.d	s.d	s.d

Se observó que en 1994, la aparición de *A. catenella* en la estación fija en el mes de octubre coincide con la ocurrencia simultánea de esta microalga en las tres zonas de la XII Región. En 1996, en cambio, no se detectó la microalga tóxica en la estación fija, encontrándose en la zona norte de la Región de Magallanes entre septiembre y diciembre, en la zona centro en noviembre y diciembre y en el área sur desde marzo hasta diciembre. En 1997, se detectó en la estación fija entre febrero y abril, coincidiendo con el periodo en que fue observada en la XII Región entre enero y abril en la zona norte, entre enero y mayo en la zona centro y entre febrero y junio en la zona sur. La diferencia entre ambas localidades, es que en la estación fija sólo se presentó una vez para ese año, en cambio en la XII Región se detectó nuevamente en las tres zonas, en la zona norte desde octubre de 1997 extendiéndose incluso hasta abril de 1998, en la zona centro desde agosto de 1997 hasta mayo de 1998 y en el área sur desde octubre de 1997 hasta abril de 1998.

En el año 1998 se detectó *A. catenella* en Nueva Hammerfest en dos ocasiones, la primera floración presentó su máxima abundancia en marzo, coincidiendo con lo observado en las tres áreas de la XII Región, y la segunda floración ocurrió en junio, que solo coincide con lo observado en la zona norte de la región, debido posiblemente a la presencia de una anomalía térmica positiva en el mismo periodo de tiempo, que ocasionó una floración de gran magnitud en la zona austral de Chile. Desde septiembre hasta diciembre de 1998 se observó una nueva floración de *A. catenella* en la zona norte de la Región de Magallanes, en la zona centro se presentó desde julio de 1998 hasta enero de 1999 y en la zona sur desde octubre de 1998 hasta febrero de 1999.

En 1999 sólo se presentó una floración de la especie tóxica en el mes de agosto en la estación fija, lo que no coincide con lo descrito por Guzmán *et al.* (2002) para las tres áreas de la Región de Magallanes, ya que en el área norte se observaron dos floraciones, la primera entre febrero y abril, y la segunda entre octubre y diciembre; en el área centro sólo se observó una floración en enero; y en el área sur en los meses de enero y febrero y otra floración en el mes de octubre. A pesar de no encontrar *A. catenella* en las muestras del 2000 provenientes de la estación fija, en el área norte de la XII Región se observó una floración desde julio hasta diciembre, en la zona centro se presentó en marzo y posteriormente desde agosto a noviembre y en la zona sur excepcionalmente en los meses de enero y febrero y una segunda floración desde julio hasta diciembre.

### 5.3. Análisis de la Temperatura en la serie de tiempo de la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región.

Durante el periodo muestreado, se registró un amplio rango de temperatura superficial, con un máximo de 20° C en 2005 y un mínimo de 4,9° C en el mismo año (Fig. 14).

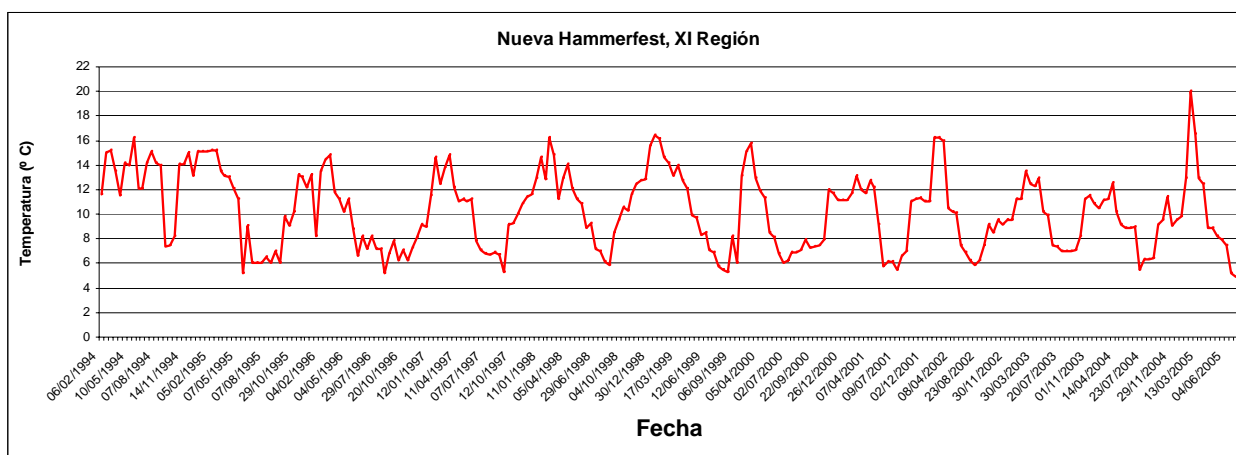


Fig. 14. Temperatura superficial del mar en la serie de tiempo 1994 - 2005, estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región.

Las variaciones anuales de la temperatura fueron típicas de una región templada fría, mostrando mayores valores durante los meses de verano (enero, febrero, marzo y diciembre), cercanos a un promedio de 13° C, y menores durante los meses de invierno (junio, julio, agosto y septiembre), con una temperatura cercana a un promedio de 7,3° C, por lo que se observaron dos estaciones identificadas claramente por estas diferencias en temperatura: invierno y verano (Tabla 3). El promedio de temperatura para el periodo de estudio (1994 - 2005) fue de 10,2° C y no se obtuvieron registros de la temperatura superficial de la estación fija para el año 1993.

Tabla 3. Temperatura promedio por estación en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región. Verano: enero, febrero, marzo y diciembre; invierno: junio, julio agosto y septiembre.

Temperatura superficial promedio (° C)		
año	verano	invierno
1994	13,9	12,1
1995	14,1	6,2
1996	11,1	7,2
1997	13,0	7,4
1998	14,2	7,6
1999	14,7	6,7
2000	13,2	7,0
2001	11,6	6,4
2002	13,3	7,0
2003	12,0	7,3
2004	11,1	7,6
2005	14,1	5,6

Los datos de promedios mensuales de la temperatura superficial fueron agrupados cada cuatro años: 1994 – 1997 (Fig. 15), 1998 – 2001 (Fig. 16) y 2002 – 2005 (Fig. 17). En 1994 se observaron altas temperaturas superficiales, que fluctuaron entre 14,7° C y 7,4° C, con una máxima registrada en el mes de julio (14,7° C) y la mínima en septiembre (7,4° C); en 1995, se registró un amplio rango de temperatura mensual promedio, desde 15,2° C hasta 12,7° C en los meses de verano, y en invierno desde 6,0° C hasta 6,3° C, con una máxima de 15,2° C en febrero y una mínima de 6,0° C en el mes de julio; en 1996, las temperaturas mínimas se registraron en un periodo amplio, desde mayo hasta diciembre (6,2° C a 9,1° C), con la mínima temperatura del periodo de 6,2° C en agosto y las temperaturas altas fluctuaron desde 8,2° C hasta 14,0° C en los meses de verano, registrándose una temperatura máxima de 14,0° C en el mes de febrero; el año 1997 las temperaturas superficiales mínimas fluctuaron desde 5,3° C hasta 9,2° C, en invierno,

con la mínima temperatura promedio registrada para este periodo en agosto ( $6,0^{\circ}\text{C}$ ), y en verano la temperatura varió entre  $12,3^{\circ}\text{C}$  y  $13,5^{\circ}\text{C}$ , con una temperatura máxima registrada en marzo (Fig. 15).

En 1998, se observó la misma tendencia que en el año anterior, con temperaturas altas registradas en los meses de verano que fluctuaron entre  $15,6^{\circ}\text{C}$  y  $12,1^{\circ}\text{C}$  y la temperatura máxima del periodo se registró en diciembre, la mínimas temperaturas fluctuaron entre  $6,0^{\circ}\text{C}$  y  $9,0^{\circ}\text{C}$ , observando la mínima temperatura del periodo en el mes de agosto; en el verano de 1999, el rango de temperatura varió desde  $13,6^{\circ}\text{C}$  hasta  $16,3^{\circ}\text{C}$  entre enero y marzo, en cambio en invierno el rango fluctuó entre  $5,4^{\circ}\text{C}$  y  $7,8^{\circ}\text{C}$ , registrándose la máxima temperatura del año en el mes de enero ( $16,3^{\circ}\text{C}$ ) y la mínima en agosto ( $5,4^{\circ}\text{C}$ ); en el año 2000, el rango de temperatura varió desde  $11,1$  hasta  $14,4^{\circ}\text{C}$  en verano, y en invierno desde  $6,4^{\circ}\text{C}$  hasta  $7,5^{\circ}\text{C}$ , con una temperatura máxima registrada en el mes de marzo ( $14,4^{\circ}\text{C}$ ) y la mínima en junio ( $6,4^{\circ}\text{C}$ ); el año 2001 se registró en verano un rango de temperatura que varió entre  $11,0^{\circ}\text{C}$  y  $12,4^{\circ}\text{C}$ , mientras que en invierno el rango fluctuó desde  $6,1^{\circ}\text{C}$  hasta  $7,5^{\circ}\text{C}$ , con una temperatura máxima de  $12,5^{\circ}\text{C}$  en abril y la mínima en junio y julio ( $6,1^{\circ}\text{C}$ ). (Fig. 16).

El año 2002 se caracterizó por un brusco aumento en las temperaturas superficiales de la estación fija, observándose altas temperaturas en los meses de verano ( $10,4^{\circ}\text{C}$  -  $16,2^{\circ}\text{C}$ ), que disminuyeron en los meses de invierno, donde la temperatura promedio registrada fluctuó entre  $6,1^{\circ}\text{C}$  y  $8,4^{\circ}\text{C}$ , registrándose la mínima temperatura del periodo en agosto; en el verano de 2003, se observó un rango de la temperatura superficial que varió desde  $10,5^{\circ}\text{C}$  hasta  $13,4^{\circ}\text{C}$  en verano, y en invierno desde  $7,0^{\circ}\text{C}$  hasta  $7,7^{\circ}\text{C}$ , con la máxima temperatura registrada para este año se obtuvo en el mes de febrero ( $13,5^{\circ}\text{C}$ ) y la mínima entre julio y agosto ( $7,0^{\circ}\text{C}$ ); en el año 2004, el rango de temperatura varió desde  $9,5^{\circ}\text{C}$  hasta  $12,6^{\circ}\text{C}$  en los meses de verano,

registrándose la máxima temperatura del periodo en el mes de marzo, en cambio en invierno, se registraron temperaturas entre 5,9° C y 9,2° C, observándose la mínima temperatura del periodo en julio; en el año 2005, el rango de temperatura varió entre 11,4° C y 18,3° C en verano, registrándose la máxima temperatura de este periodo en febrero, en cambio en invierno, la temperatura mínima registrada fue de 4,9° C en julio (Fig. 17).

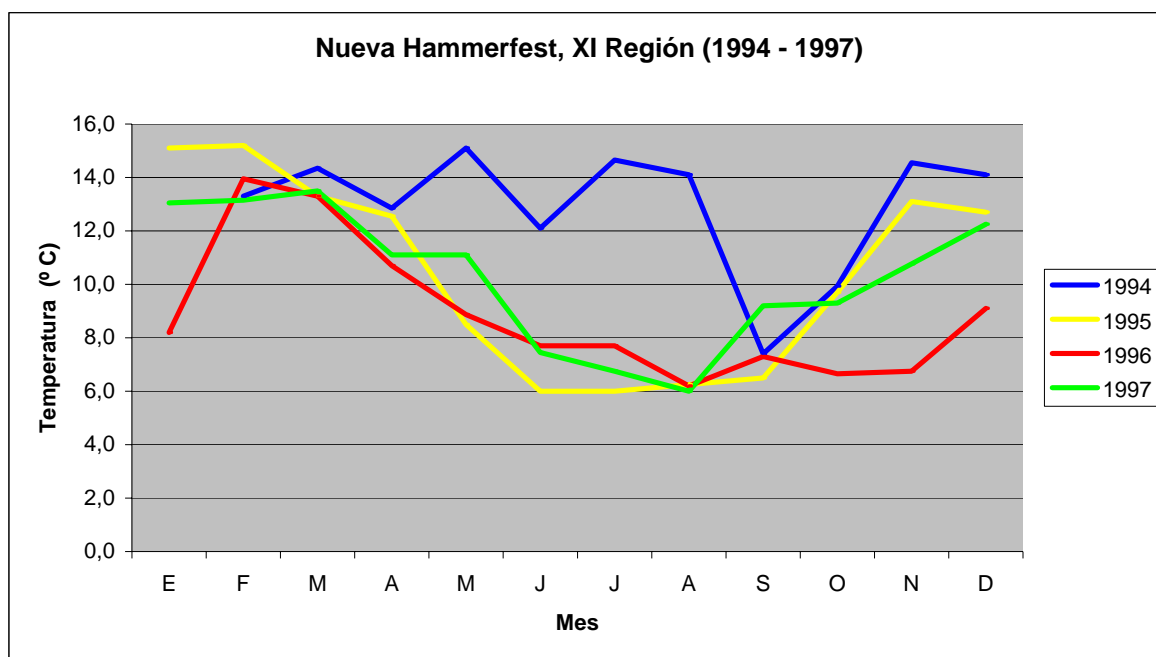


Fig. 15. Temperatura mensual promedio registrada en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región, en 1994.

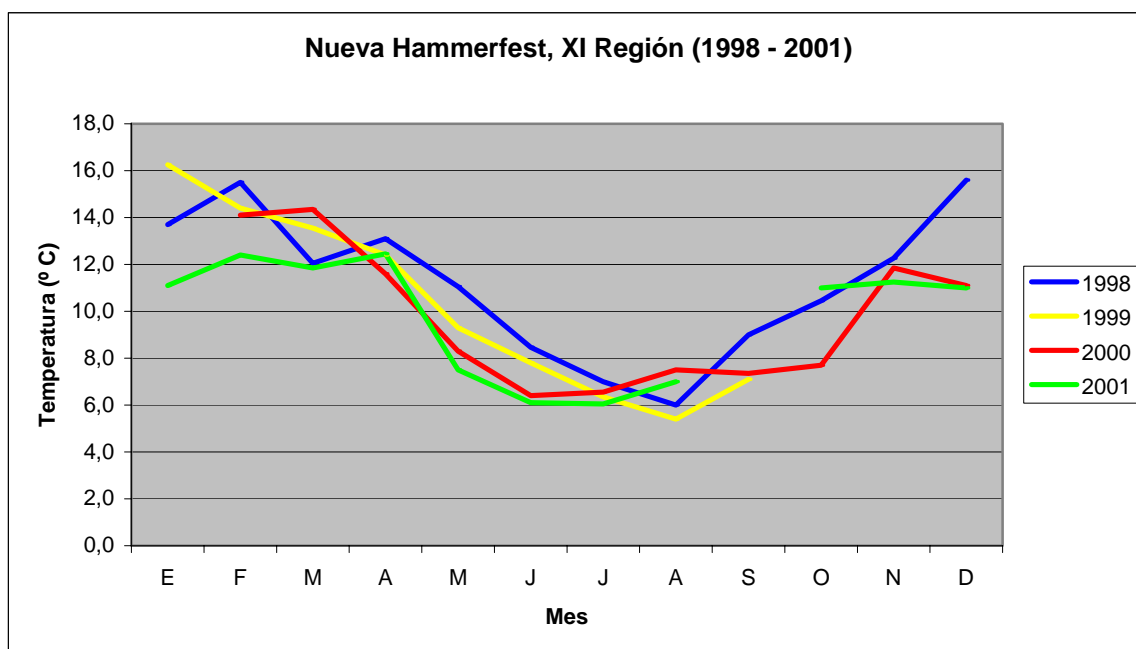


Fig. 16. Temperatura mensual promedio registrada en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región, en 1995.

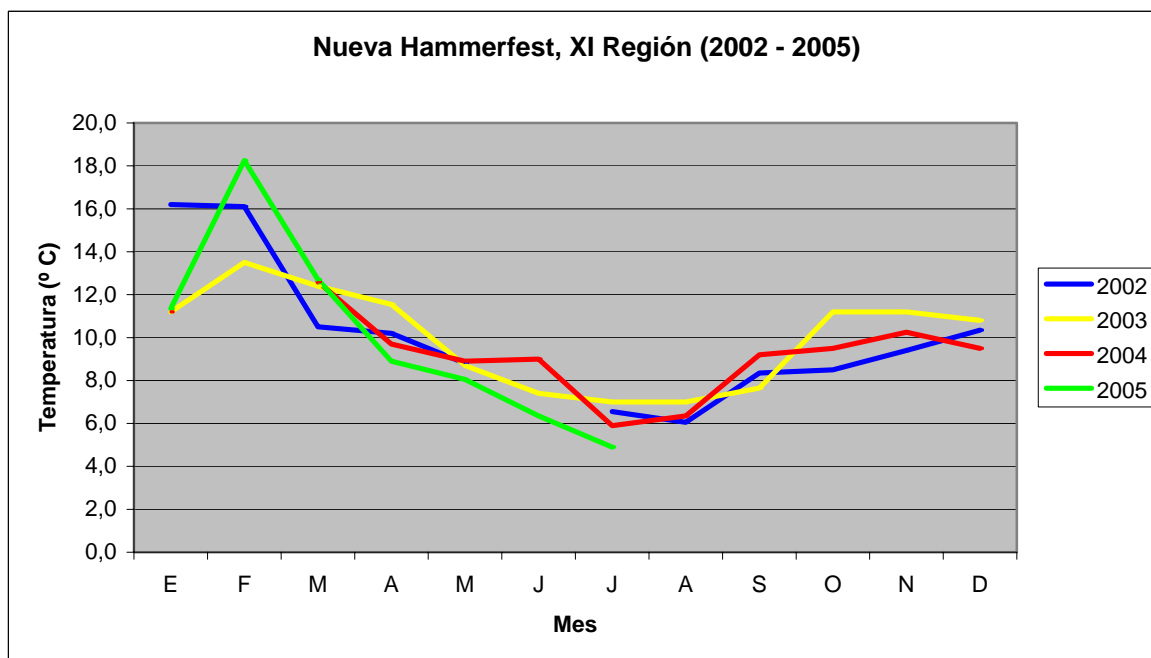


Fig. 17. Temperatura mensual promedio registrada en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región, en 1996.

#### 5.4. Relación de la temperatura superficial y la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región.

Al obtener el promedio de temperaturas superficiales por cada año de la serie de tiempo (Tabla 4), se observó que las mayores abundancias relativas promedio de *A. catenella* coincidieron con los años más cálidos: 1994, 1995, 1997, 1998, 1999, 2002 y 2005, aunque las mayores abundancias del periodo se registraron en 1997 (3,5) y 1998 (4,5) (Fig. 18).

Tabla 4. Promedio anual de las abundancias relativas de *Alexandrium catenella* en relación a la temperatura superficial por año (1994 – 2005) en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región.

año	Promedio anual IAR de <i>A. catenella</i>	Temperatura promedio (° C)	Desviación estándar
1994	3	13,1	2,5
1995	3	10,5	3,5
1996	0	8,9	2,6
1997	3,5	10,3	2,7
1998	4,5	11,2	2,9
1999	1	10,2	3,8
2000	0	9,6	3,0
2001	0	9,8	2,7
2002	3	9,8	3,2
2003	0	10,0	2,2
2004	0	9,0	2,0
2005	3	10,5	4,4



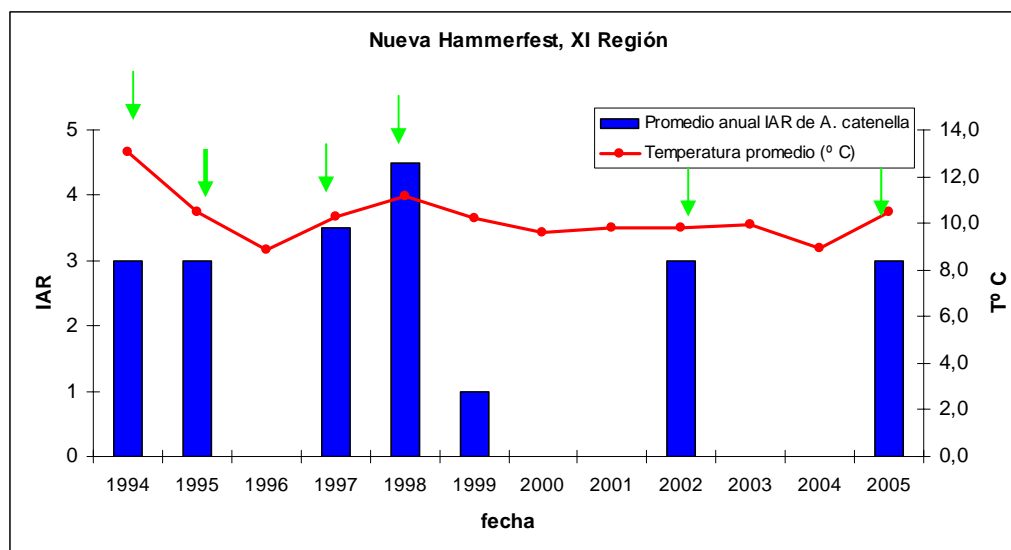


Fig. 18. Relación entre el promedio de abundancias relativas de *Alexandrium catenella* y los promedios anuales de temperatura (1994 – 2005) en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región. Las flechas verdes indican los años en que se observaron altos Índices de Abundancia Relativa, coincidente con las alzas de la temperatura superficial del mar.

Al analizar el promedio mensual de las temperaturas de todo el periodo de estudio en relación a la presencia de *A. catenella* (Índice de Abundancia Relativa más representativo por cada mes), se observó que hay una tendencia de aparición durante los meses más cálidos o de verano y una desaparición de la especie durante el invierno, a excepción de los años 1997, 1998 y 2002, en que se presentó en los meses de invierno (julio, junio y agosto, respectivamente) (Fig. 19).

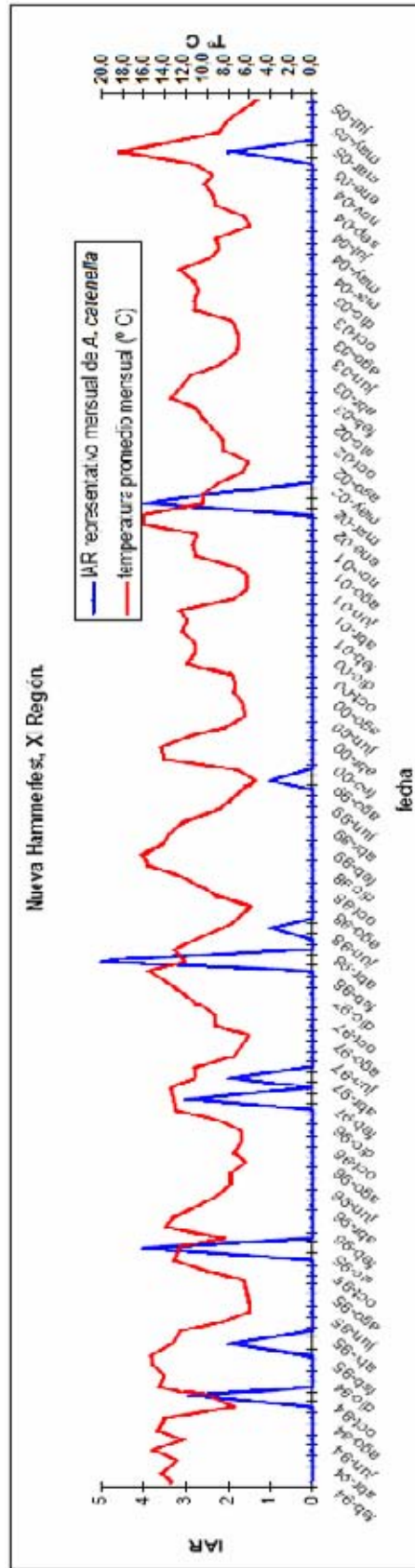


Fig. 19. Distribución del promedio mensual de temperatura superficial del mar e Índice de Abundancia Relativa representativa por mes de *Alexandrium catenella* en la serie de tiempo 1993 - 2005, estación fija "Nueva Hammerfest", XI Región.

## 6. DISCUSION.

### 6.1. Análisis temporal de *Alexandrium catenella* en la zona austral de Chile.

Las Floraciones Algales Nocivas (FAN) en la costa de Chile se encuentran citadas en innumerables trabajos y se asocian principalmente a cambios locales en los vientos y a la radiación solar, factores que generan una estratificación superficial, favoreciendo proliferaciones fitoplanctónicas superficiales, de corta permanencia en el tiempo y pequeña cobertura geográfica (Braun *et al.*, 1993). Es por esto que Guzmán *et al.* (2002), enfatizan que el estudio de la abundancia relativa constituye una importante herramienta que ha mostrado su utilidad como alerta temprana del incremento de la toxicidad y para definir los períodos del año con mayor riesgo.

La mayor cantidad de floraciones de *A. catenella* en la estación fija “Nueva Hammerfest” se registraron entre los meses de febrero y abril, aunque puede encontrarse en el plancton en cualquier época del año, por lo tanto, no se registra una distribución temporal estacional de las floraciones en la serie de tiempo. Lembeye *et al.* (1997, 1998), describen que, en general, los máximos de toxicidad en la XI Región se registran hacia fines de verano (febrero - marzo), y también se describe para la Región, que la especie se puede encontrar durante todo el año (Guzmán *et al.*, 2002). A diferencia de lo encontrado y descrito para la XI Región, en la Región de Magallanes, la forma vegetativa desaparece del plancton o se encuentra con una abundancia relativa muy baja entre finales de otoño e invierno (mayo - agosto), sin descartar que existen periodos inusuales donde se le ha observado en la totalidad del año, inclusive en meses invernales (Guzmán *et al.*, 2002).

En general, en la zona norte de la región de Magallanes existen ocho meses de riesgo, en la zona centro diez meses y en la zona sur siete meses (Guzmán *et al.*, 2002). Por lo tanto, se observa un patrón temporal más amplio que en la Región de Aysén y en la estación fija “Nueva Hammerfest”, ya que en los dos últimos se inicia en verano y se extiende aproximadamente hasta fines de otoño, por un período aproximado de 5 meses.

Al comparar los registros de anomalías térmicas positivas en nuestro país, se encontró que existe una relación con las floraciones de *A. catenella* tanto en la estación fija, como en el resto de la XI Región y, además, de la X y XII Regiones. Cuando se presentó “La Niña”, la especie no fue observada o se presentó con baja abundancia relativa.

A continuación se reseña los principales eventos de aparición de *A. catenella* durante la serie de tiempo analizada:

#### 6.1.1. Periodo 1991-1994.

A partir de 1991 se ha relacionado alteración climática y oceánica de carácter global “El Niño”, con la presencia relevante de fenómenos de mareas rojas tóxicas en la zona sur (Braun *et al.*, 1993). Estos autores observaron un incremento de *A. catenella* en las muestras de red a partir de canal Grappler, XI Región (41° 31’ S; 74° 13’ W) que se extendió hasta la XII Región, pero que tuvo duración y cobertura geográfica sin precedentes, razón por la que no puede ser explicada por factores locales. Esta situación no fue observada en las muestras de red obtenidas en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región, ya que no se encontró a la especie tóxica.

Uribe, *et al* (1995) detectaron en 1994 en la Región de Aysén, dos brotes que coincidieron con aquellos registrados en Magallanes durante el mismo estudio, registrándose el primero en enero y el segundo que comenzó en octubre y que presentó los máximos valores entre noviembre

y diciembre, aunque en Aysén hubo una toxicidad menor y según lo descrito por Molinet *et al.* (2003), el máximo encontrado fue a mediados de mayo en Isla Larga (Canal Jacaf). En la estación fija analizada en el presente estudio, en 1994 sólo se presentó un brote de *A. catenella* en seno Aysén entre los meses de septiembre y octubre, que coincide con los resultados obtenidos por Uribe *et al.* (1995) para ambas Regiones.

#### 6.1.2. Periodo 1995-2000.

La presencia de *A. catenella* en 1995 en la estación fija coincide con los resultados de Lembeye *et al.* (1997), y no existen registros en este año para XII Región. Además, se presentó un patrón bianual de las floraciones, con un primer brote entre febrero y marzo y un segundo brote en el mes de diciembre, es decir, en los meses más cálidos o estivales.

En el año 1996 la floración de *A. catenella*, iniciada en la zona sur de la Patagonia noroccidental permaneció atrapada en la constricción de Meninea hasta la primera semana de marzo (Molinet *et al.*, 2003) y en la Región de Magallanes se observó en los meses de marzo y diciembre (Uribe *et al.*, 1997), aunque no fue registrada en la estación fija analizada en este trabajo para el mismo año.

En el año 1997 un incremento en la abundancia de *A. catenella* desde fines de enero hasta mediados de marzo lo que coincidió con el trabajo realizado por Uribe *et al.* (1997). Posteriormente se encontró a la especie tóxica desde principios de abril hasta principios de mayo con una menor abundancia relativa, y no se detectó la especie tóxica entre mayo 1997 y enero 1998, al igual que en el trabajo realizado por Lembeye *et al.* (1998). Esto además, coincide con lo descrito por Guzmán *et al.* (2001) en la zona sur de la XII Región, ya que desde 1997 se observó una disminución de la abundancia relativa de la especie tóxica en esta zona, y en la zona

centro esta microalga estuvo presente entre agosto de 1997 y marzo de 1998, lo que puede ser producto de una expansión de la especie nociva por las corrientes de la Región y su consecuente aparición hacia latitudes más bajas.

En 1998 se observó nuevamente un patrón bianual de las floraciones de la especie tóxica en la estación fija “Nueva Hammerfest”, la primera floración se presentó entre mediados de febrero y los primeros días de abril (fines de verano - principios de otoño) lo que coincide con los resultados de otros autores (Lembeye *et al.*, 1998; Cassis *et al.*, 2002; Guzmán *et al.*, 2001 y 2002; Molinet *et al.* 2003), para presentarse en un segundo brote de menor abundancia entre los primeros días de junio hasta comienzos de julio en otoño. Guzmán *et al.* (2003b) sustentaron la conformación del núcleo de toxicidad del estrecho de Magallanes - seno Otway desde agosto de 1997 hasta marzo de 1998, coincidiendo con los resultados obtenidos del primer brote registrado en la estación fija “Nueva Hammerfest”. Este patrón de distribución puede deberse principalmente al incremento de la temperatura superficial en las aguas de dicha región y al aumento de las precipitaciones en primavera - verano, ya que disminuye la estratificación y ascienden aguas con alta cantidad de nutrientes a la zona fótica, produciendo floraciones superficiales, gatillando una floración algal por la presencia de “El Niño” (1997 - 1998), considerado como uno de los más intensos de este siglo. Esto también fue descrito por Guzmán, *et al.* (2002), quienes señalaron que el inicio y mantenimiento de las floraciones de *A. catenella* asociadas a brotes de VPM en el extremo sur de Chile, muestran correspondencia con el término de un fenómeno de “La Niña” y el inicio de un fenómeno “El Niño” intenso, ya que cuatro de los siete eventos históricos más fuertes de “El Niño” muestran correspondencia con la presencia de VPM, como es el caso de 1998 en Aysén. Avaria, *et al.* (2004) encontraron en octubre de 1998 a la especie productora de VPM cerca de la Isla Meninea. Además, la dirección de los vientos

predominantes en 1998 coincidió con la dispersión de estas floraciones, dirigiéndose ese año hacia el norte de la región de Aysén (Molinet *et al.*, 2003). Para este mismo periodo, Guzmán *et al.* (2001) mencionan que desde 1997 en adelante hubo una tendencia a disminuir la abundancia relativa de *A. catenella* en la XII Región, ausentándose entre la primavera y el verano del periodo comprendido entre 1998 - 1999. Casos similares en cuanto a su presencia en una gran área geográfica fueron registrados en las floraciones de los años 1972 y 1981 en la XII Región, donde los factores gatillantes de estas proliferaciones obedecerían a cambios globales de baja frecuencia los que inciden notoriamente en las precipitaciones de la región, por lo tanto, en la estratificación de la columna de agua (Uribe, 1988).

En 1999 hubo una floración de *A. catenella* registrada en la estación fija, entre mediados de agosto y mediados de septiembre, encontrándose rara (1) en las muestras de red. No existen registros de “blooms” provocados por este organismo en la XI y XII Regiones, por lo que constituye un hecho excepcional ocurrido solo en Nueva Hammerfest. Esto puede ser producto de las características locales encontradas en la estación fija. Además, Guzmán *et al.* (2003a), observaron que las abundancias relativas más bajas en la XII Región ocurrieron en 1999, encontrándose incluso prácticamente ausente en la zona centro de la región.

El año 2000, la especie nociva no fue detectada en “Nueva Hammerfest”, y en general, se presentaron abundancias relativas bajas en la XI y XII Regiones. En la XII Región, el aumento de la abundancia relativa de *A. catenella* fue relevante a partir de noviembre, cuando se produce un registro geográfico extenso pero con baja abundancia relativa de *A. catenella* en las áreas centro y sur (Guzmán, 2001), en la zona norte (núcleo tóxico Ultima Esperanza), en cambio, se observaron niveles de abundancia relativa medios (3-2) a bajos (1-0) (Guzmán, 2002; Guzmán *et al.*, 2003a).

### 6.1.3. Periodo 2001-2005.

Guzmán *et al.* (2001 y 2003b), describen una reaparición de *A. catenella* en la XII Región que se inició en septiembre del 2000 y se mantuvo hasta el verano del 2001 con una abundancia relativa alta, que posteriormente comenzó a disminuir, reapareciendo nuevamente a partir de noviembre del 2001. En la estación fija de la XI Región, en cambio, no se registró la especie tóxica en el mismo periodo de tiempo (2000 - 2001), que podría ser explicado por la disminución de la abundancia relativa en el núcleo de Aysén Meridional y Ultima Esperanza mencionado por Guzmán (2002).

Para el año 2001 en el área centro de la Región de Magallanes, la abundancia relativa fue menos importante que en el 2000, pero de mayor cobertura geográfica y en el área sur se presentó sólo en el segundo y último mes de muestreo con una abundancia relativa de 1 (Guzmán, 2001).

Durante fines del 2001 y los primeros meses del 2002 se registró un fuerte aumento en los niveles de toxina paralizante en la XI Región, y que finalmente terminó afectando parte importante de la isla de Chiloé (Clément, 2003). Hubo una clara expansión hacia el norte de la distribución geográfica del fenómeno, con consecuente impacto sobre el sistema social y económico (Guzmán *et al.*, 2003a).

En el año 2002, en la zona norte de la XII Región, se detectó una abundancia relativa alta en enero de 2002, en la zona centro la abundancia relativa más alta se presentó en noviembre (Guzmán, 2002). Esto podría explicar la reaparición de *A. catenella* en la estación fija “Nueva Hammerfest” entre principios de febrero y fines de mayo, ya que en este periodo se presentó un aumento en la distribución geográfica de *A. catenella*, encontrándose en la XII Región, con niveles de abundancia relativa en la zona norte y centro que fueron influyentes para generar altos



niveles en el límite norte de la XI Región (Guzmán *et al.*, 2003a), y en la zona sur entre mayo y agosto (Guzmán *et al.*, 2003b). Además, se detectó por primera vez en altas concentraciones hasta Dalcahue, Chiloé, X Región (Clément *et al.*, 2002; Clément, 2003; Molinet *et al.*, 2003).

Por otra parte, la distribución y abundancia relativa de *A. catenella* en 1997, 1998 y 2002, sustentan la conformación del núcleo de toxicidad del estrecho de Magallanes - seno Otway que se extiende fuertemente desde agosto de 1997 hasta marzo de 1998 (Guzmán, 2003b), lo que incluso se ve reflejado en Nueva Hammerfest, ya que en marzo de 1998 se detectó la mayor abundancia relativa de la especie tóxica encontrada en todo el periodo de estudio.

En 2003 y 2004 no se encontró *A. catenella* en la estación fija “Nueva Hammerfest”. A diferencia de lo anterior, en la zona norte de la XII Región, se encontró a la especie nociva, por lo que el Servicio de Salud de Magallanes decretó el cierre de las áreas afectadas mediante la Resolución N° 528 emitida el 29 de abril de 2003, por la continua presencia de *A. catenella* en la Región, especialmente en Puerto Edén, sector donde se mantienen hasta la fecha altos niveles de VPM.

El 2005, se encontró en niveles de abundante a la especie nociva en las muestras de red de “Nueva Hammerfest”. Hasta el 2005 se puede encontrar *A. catenella* en baja abundancia en las muestras de red de las cercanías de Quellón, X Región (Clément, com. per.), pero como medida de prevención en la Región, el Servicio de Salud Llanquihue, decretó en la Resolución N° 585 del 23 de abril de 2003 prohibición de extracción en el área comprendida entre los meridianos 73° 12’ y 73° 50’ de longitud oeste y al sur de los paralelos 43° 17’ y 43° 02’ de latitud sur, debido a la floración ocurrida en 2002, aunque la resolución fue modificada, posteriormente, por la Resolución N° 491 del 25 de marzo de 2004 y rige hasta el 2005 (actualmente).

## 6.2. Análisis espacial de *Alexandrium catenella* en la zona austral de Chile.

La generación, persistencia y magnitud de una floración, es consecuencia de la interacción de factores físicos, químicos y biológicos, en un ambiente extraordinariamente dinámico en el espacio y tiempo, por lo tanto, es evidente e intrínsecamente un fenómeno complejo con consecuencias adversas para la sociedad (Clément, 2003).

Desde 1972 hasta 1991, la cobertura geográfica de *Alexandrium catenella* estaba restringida a la XII Región. En la XI Región, se detecta la especie nociva *A. catenella* por primera vez el año 1992, frente a isla Churrecue (Muñoz *et al.*, 1992; Medina, 1997), y posteriormente, Lembeye *et al.* (1994) detectaron nuevamente la presencia del dinoflagelado tóxico en el área de estudio, reconociendo el aumento en extensión geográfica de esta especie hasta la Región de Aysén. En 1994 para la XI y XII Regiones, se encontró el límite norte de distribución del VPM en la Región de Aysén en los 44° S (estación de Isla Concoto), coincidiendo con lo registrado por el Servicio de Salud de Aysén, ya que se registró *A. catenella* desde el mes de octubre de 1994, presentando los valores máximos de toxicidad entre noviembre y diciembre, extendiéndose la cobertura geográfica de la toxicidad hacia el área norte de la XII Región, pues el VPM fue detectado también al norte de Puerto Edén (Uribe *et al.*, 1995). Esto es sustentado al encontrar a la especie tóxica en la estación fija “Nueva Hammerfest” entre septiembre y octubre de 1994, con una abundancia relativa media (3).

En febrero de 1995 se detectó VPM en muestras de Aysén (Andrinolo *et al.*, 1995). Posteriormente, un monitoreo de la marea roja en la X y la XI Regiones, desde octubre de 1995 hasta diciembre de 1996, detectó VPM en mariscos y *A. catenella* en el plancton, cuya distribución fue muy amplia, extendiéndose desde isla Larga (44°23' S - 72°56' W) por el norte, hasta isla Rojas (45°45' S - 73°42' W) por el sur; en sentido latitudinal desde estero Quitralco

(45°46' S - 73°31' W) a islas Canquenes (45°43'S - 74°06'W); sin embargo, las mayores concentraciones de *A. catenella* y del VPM fueron registradas en estaciones localizadas en Puerto Aguirre (45°09' S - 73°31' W) y hacia el sur (Lembeye *et al.*, 1997). Cabe mencionar que el límite norte de distribución de *A. catenella* y del VPM se mantuvo alrededor de los 44° S, límite que fue reportado anteriormente por Uribe *et al.* (1995). Además, se entregan los primeros antecedentes acerca de la acumulación de VPM en el músculo del loco (*Concholepas concholepas*) y en el caracol trumulco (*Chorus giganteus*).

En 1996 el programa de monitoreo detectó dos floraciones tóxicas, una en el mes de marzo y otra a partir del mes de diciembre, alcanzando en el área sur los valores más altos en enero de 1997. El trabajo de terreno se desarrolló a lo largo de la región, desde isla Schafer (48°06' S - 74°46' W), en las cercanías del Golfo de Penas hasta Puerto Eugenia (54°56' S - 67°19' W) en canal Beagle (Uribe *et al.*, 1997). La distribución de la toxina en el área sur, fue similar a lo detectado durante 1994, mientras que en el área norte la toxicidad estuvo restringida a aquellas zonas que en 1994 presentaron los valores más altos, es decir, la zona comprendida entre las localidades de isla Piazzzi-isla Larga-Puerto Fontayne. Con la realización de este proyecto se pudo afirmar que *A. catenella* tuvo una distribución restringida en el espacio y en el tiempo en comparación con lo acontecido en 1994 (Uribe *et al.*, 1997). Por otra parte la ausencia de *A. catenella* en el plancton de la estación fija “Nueva Hammerfest” permite reafirmar que el rango de distribución fue restringido.

Entre mayo de 1997 y mayo de 1998, en el que se cubrió latitudinalmente desde los 41°30' S hasta los 45°50' S (X y XI Regiones), y longitudinalmente desde los 71°17' W hasta los 74°13' W (Lembeye, *et al.*, 1998), se observó *A. catenella* en la XI Región desde mayo de 1997

con una abundancia decreciente, reapareciendo en diciembre del mismo año y en condiciones de “bloom” en marzo de 1998.

En general, la distribución espacial del VPM esta caracterizada por la conformación de grupos de sitios de muestreo con presencia constante de la toxicidad, con una categórica definición de núcleos de toxicidad correspondientes a Ultima Esperanza meridional y estrecho de Magallanes este, una menor definición en seno Otway - estrecho de Magallanes central y aún menos preciso en canal Beagle, reconociendo que estos núcleos son dinámicos en el espacio - tiempo y que existen incluso en los sectores sin muestrear. Además, se reconocen dos floraciones de *A. catenella* en el área norte, ubicadas a fines de primavera e inicios o mediados de otoño y una sola floración fitoplanctónica en el área sur de la Región, que puede ocurrir a fines de primavera o inicios de verano (Guzmán *et al.*, 2000). En la estación fija “Nueva Hammerfest”, en tanto, se detectó la especie tóxica en las muestras de plancton. Con el proyecto FIP 97 - 49 se observó por primera vez un aumento en la cobertura geográfica de la especie, alcanzando hasta Quellón (X Región), donde se registró por primera vez toxina VPM en mariscos en marzo de 1998, aunque en cantidades no letales para el ser humano y se comprobó simultáneamente la ocurrencia de VPM en Cochamó (Lembeye *et al.*, 1998).

Molinet *et al.* (2003) indican que la distribución espacio - temporal de *A. catenella* en aguas interiores de la Patagonia Noroccidental de Chile, zona que comprende las aguas al interior de la línea de base entre en seno Reloncaví por el norte y la península de Taitao por el sur, se expandió progresivamente hacia el norte en cada floración, desde los 45°47' S en 1995 a 42° S, Chiloé, en 2002, situación observada en la estación fija “Nueva Hammerfest” para el mismo año y con alta abundancia relativa.

En 2005, se observa la persistencia de *A. catenella* en las tres Regiones más australes de Chile, que podría eventualmente aumentar su distribución geográfica hacia el norte, continuando su expansión.

En cuanto a la distribución vertical de *A. catenella* en la columna de agua, cabe mencionar que solo se analizaron muestras de superficie en la estación fija “Nueva Hammerfest”, por lo que no se pudo comprobar si la especie estaba presente en el plancton a 5, 10 y 15 metros de profundidad. Por esto, no se descarta que la especie nociva haya estado presente a mayor profundidad.

### **6.3. Relación entre parámetros físicos e Índice de Abundancia Relativa (IAR) de *Alexandrium catenella* en la zona austral de Chile.**

Las temperaturas registradas en la estación fija, están dentro de los rangos estimados para el fiordo Aysén, ya que esta estación se encuentra más cerca de la cabeza, registrándose valores aproximados de 7,3° C en invierno y 13° C en verano. En el fiordo Aysén, las condiciones normales de temperatura a fines de invierno (septiembre) varía desde 6,5° C en la cabeza, que va aumentando hacia la boca del fiordo, donde alcanza valores de 9° C y en verano, se registran 14° C a 16° C en la cabeza y temperaturas menores a 12,5° C en la boca del fiordo.

En la estación fija “Nueva Hammerfest”, se observó que las mayores abundancias de la especie coincidían con los años más cálidos de la serie de tiempo, los que a su vez, presentaron anomalías térmicas positivas. En el caso de 1994 - 1995, 1997 - 1998 y 2002 - 2005 (Lám. 2), se registraron anomalías térmicas positivas, lo que puede explicar el aumento en la temperatura superficial del agua en el fiordo Aysén. Esto coincide con lo descrito por Guzmán *et al.* (2002) para la Región de Magallanes, ya que relacionan directamente la duración y cobertura geográfica

de las floraciones de *A. catenella* con la finalización de un episodio “La Niña” y el inicio de “El Niño” intenso, debido a que el aumento de la temperatura superficial del mar, la disminución de la intensidad y variación de una condición normal del viento, cambio en los flujos y transporte de masas de agua, entre otros, son factores que pueden asociarse a este tipo de fenómenos, generando una condición de menor turbulencia y alta radiación en la columna de agua, lo que implica una mayor eficiencia de la fotosíntesis, gatillando el crecimiento y agregación de *A. catenella*, produciéndose finalmente una floración.

Se sabe que la especie es cosmopolita, encontrándose en un amplio rango de temperatura, desde aguas frías (12° C) a cálidas (>20° C), como lo descrito por Vila *et al.* (2001), aunque Guzmán y Lembeye (1975) observaron para el fenómeno registrado en 1972 en la Región de Magallanes, un aumento previo en la temperatura del agua derivado de un periodo de alta insolación y calmas en los vientos, lo que habría provocado estabilidad en la columna de agua.

Clément (2003), al analizar el factor viento de Quellón registrado en 2002 en la X Región, año en el que se presentó *A. catenella* en forma masiva, observó un predominio de vientos moderados del sur, especialmente en enero y febrero, que generaron un transporte de las corrientes hacia el norte y nor - oeste que contenían “parcelas” de agua con la especie nociva, lo que provocó la presencia de la especie en la zona sur de la X Región y un consecuente aumento en la cobertura geográfica.

Guzmán *et al.* (2002), plantean que no se dispone de nuevas evidencias que sustenten la hipótesis de la posible relación entre una floración de *A. catenella* y la presencia de anomalías térmicas positivas (“El Niño”), en términos que el inicio, mantenimiento, cobertura geográfica y duración del fenómeno sería consecuencia de perturbaciones remotas provocadas por la oscilación del sur (ENSO).

La salinidad no fue registrada en la serie de tiempo de la estación fija. Sin embargo, Medina (1997), menciona que la salinidad superficial en mayo de 1992, año en que se registró por primera vez células de *A. catenella* en la XI Región (Muñoz *et al.*, 1992) fue de 26,5 psu, cantidad elevada en comparación con lo descrito por Sievers y Prado (1994) para el mismo fiordo, que mencionan que la salinidad en invierno es de  $< 2$  psu en la cabeza hasta 27 psu en la boca y en verano mantiene la baja salinidad en la cabeza ( $< 2$  psu) hasta 26 psu en la boca del fiordo. Guzmán y Lembeye (1975), señalan que para el primer brote de VPM en la XII Región, las salinidades en niveles superficiales fueron bajas entre 22 - 25 psu. Según estos antecedentes, es probable que en general, *A. catenella*, pueda presentarse en masas de agua con salinidades entre fluctúan entre los 22 psu y los 26,5 psu, y particularmente en la estación fija cuando hay un aumento de la salinidad, al contrario de la Región de Magallanes, donde se observó una disminución.

#### **6.4. Núcleos de toxicidad.**

Se aprecian importantes diferencias interanuales sobre la distribución de la toxicidad entre la XI y XII Región, así como entre zonas de la misma región, por lo que no es posible extrapolar los resultados de unas áreas a otras (Guzmán *et al.*, 2002). A pesar de estas variaciones interanuales, se han observado patrones espaciales y temporales que han permitido caracterizar sectores con mayores probabilidades de presentar tendencias en la concentración de la toxicidad y/o de la abundancia de *A. catenella* durante determinados períodos del año (Guzmán *et al.*, 2001 y 2002).

Se han ido configurando, particularmente para la Región de Magallanes, sectores geográficos que en forma recurrente en los últimos años han presentado mayores cantidades de

toxinas VPM denominados “núcleos de toxicidad” (Lám. 3), que se definen como aquellos sectores con mayor probabilidad de ocurrencia de la forma vegetativa de *A. catenella* y de toxicidad detectable mediante bioensayo, por lo tanto, se trata de focos con una persistencia espacial y temporal recurrente de la toxina y del dinoflagelado (Guzmán *et al.*, 2001 y 2002).

Lembeye y Sfeir (1999a y b), realizaron estudios acerca de la distribución de quistes de *A. catenella* tanto en la XI como en la XII Regiones y su relación con la aparición de VPM y la toxicidad.

En la Región de Aysén se confirmó la existencia de sectores de mayor riesgo de toxicidad con un solo núcleo definido detectado el año 2000 por el monitoreo de Magallanes, denominado Núcleo de Aysén Meridional (Guzmán *et al.*, 2001).

La extensión geográfica de estos núcleos de toxicidad es variable; en el sistema de fiordos y canales de Magallanes se distinguieron tres núcleos, que de norte a sur corresponden a: Última Esperanza, estrecho de Magallanes-seno Otway y canal Beagle. Se caracterizan por distintas dinámicas temporales en la concentración de toxina, en los niveles máximos detectados y en la extensión geográfica del VPM (Guzmán *et al.*, 2001 y 2002). Estos núcleos tienen la capacidad de contraerse y expandirse según las características locales (Guzmán, com. per.).

No se descarta que la presencia de *A. catenella* en la estación fija, sea producto de: (1) la expansión del Núcleo de Aysén Meridional hacia el norte; (2) que al iniciarse una floración en la XI Región la especie se disperse hasta seno Aysén, lugar donde encuentra condiciones óptimas para proliferar, teniendo en cuenta las características generales de un fenómeno “El Niño” (alzas de temperatura superficial del agua, aumento de los vientos moderados del sur (Cáceres, com. per.; Silva *et al.*, 1998) entre otros); y/o (3) que la especie nociva siempre haya existido en la estación fija o en las áreas cercanas, con existencia de un banco de quistes, y que la razón del



desconocimiento de la presencia de esta especie, haya sido por el paradigma existente hasta el año 92, donde se circunscribía *A. catenella* sólo para la XII Región, monitoreándose en Magallanes el VPM y en la XI Región sólo VDM hasta aquel año.

La presencia de esta especie en la X Región también podría ser explicada por la existencia de un banco de quistes en dicha zona, debido a que ya se había registrado pero en abundancia relativa muy baja en aquella Región (Clément, com. pers.). Salgado y Salamanca (2005), al estudiar la presencia de quistes de *A. catenella*, indicaron que desde principios de la década de 1990 se han producido floraciones algales de distintos tipos de dinoflagelados en la X Región, entre ellos la especie productora de VPM, registrándose la mayor floración de esta especie alrededor del año 1973. Por lo tanto, se infiere que la presencia de *A. catenella* en la X Región se debe a la existencia de bancos de quistes en dicha zona.

## 7. CONCLUSIONES.

- La distribución temporal de la especie nociva *A. catenella* en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región, no sigue un patrón determinado, sin embargo su presencia coincide simultáneamente con las floraciones de esta especie registradas en otras localidades de la zona sur de Chile.
- El rango de distribución geográfica de *A. catenella*, aumentó desde la XII Región a la X Región, en un periodo de tiempo de dos décadas (1972 - 2002).
- La temperatura superficial registrada en la estación fija del seno Aysén, XI Región, osciló con valores promedios de 7,3° C en invierno a 13° C en verano, presentando valores extremos de 4,9° C y 20,0° C.
- En la estación fija se observó una relación directa entre las mayores concentraciones de *A. catenella* y los valores más altos de la temperatura superficial del mar.
- Efectos de El Niño en el Pacífico Sudeste podrían explicar el aumento de la temperatura superficial del agua en la zona austral de Chile, lo que favorece las floraciones de *A. catenella*.

## 8. BIBLIOGRAFIA.

- Alcayaga, C., Seguel, M. & Suárez, B. (1997) Electrophysiological characterization of ion channels of the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella* incorporated in planar lipid bilayers. Harmful Algae. VIII International Conference. En: Reguera, B., Blanco, J., Fernández, M. and Wyatt, T. (Eds.), 598 - 601.
- Alvial, A. & Labbé, A. (1989) Manual para el Acuicultor: Impactos del fitoplancton sobre centros de cultivo. Fundación Chile, 147 pp.
- Andrinolo, D., Compagnon, D., Salas, K. & Lagos N. (1995) Presencia de Veneno Paralizante de Marisco (VPM) en muestras recolectadas en febrero 1995 en la XI Región: un análisis cuantitativo. *Resúmenes XV Jornadas de Ciencias del Mar*.
- Avaria, S. (1999a) Marea Roja: Perspectiva Científica. *Revista de Sanidad de la Defensa Nacional*, 9, 92 - 99.
- Avaria, S. (1999b) Plan Nacional sobre Floraciones Algales Nocivas en Chile. CONA, 41 pp.
- Balech, E. (1985) The genus *Alexandrium* or *Dinoflagellata* of the tamarensis group. En: Anderson, D. M., A. W. White & D. G. Baden (Eds.). *Elsevier (Toxic Dinoflagellates)*, 33 – 38.
- Balech, E. (1988) Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental. Publicaciones Especiales del Instituto Español de Oceanografía, 1, 310 pp.
- Balech, E. (2002) Dinoflagelados tóxicos del Cono Sur Americano. En: Sar, E.A., M. E. Ferrario & B. Reguera (Eds.). *Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano*, 123 - 144.

- Bardouil, M., Bohec, M., Cormerais, M., Bougrier, S & Lassus, P. (1993) Experimental study of the effect of a toxic microalgal diet on feeding of the oyster *Cassostrea gigas* Thunberg. *Journal of Shellfish Research*, 12 (2), 417 - 422.
- Bardouil, M., Bohec, M., Bougrier, S., Lassus, P. & Truquet, P. (1996) Feeding responses of *Crassostrea gigas* (Thunberg) to inclusion of different proportions of toxic dinoflagellates in their diet. *Oceanologica Acta*, 19 (2), 177 - 182.
- Blanco, J., Moróño, A., Franco, J. & Reyero, M. (1997) PSP detoxification kinetics in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. One - and two compartment models and the effect of some environmental variables. *Marine Ecology Progress Series*, 158, 165 - 175.
- Boltovskoy, K. (1995) Pelagic biogeography: background, gaps and trends. Pelagic Biogeography II. IOC Workshop Report, 142, 53 - 64.
- Bougrier, S., Lassus, P., Bardouil, M. & Masselin, P. (2003) PSP accumulation yields and feeding activity in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) and King scallop (*Pecten maximus*). *Aquatic Living Resources*, 16 (4), 347 - 352.
- Braun, M., Blanco, J. & Osses, J. (1993) Informe Final Investigación Monitoreo de Marea Roja en la XII Región (IFOP). 181 p. + anexos.
- Carreto, J., El Busto, C., Sancho, H., Carignan, M., Yasumoto, T & Oshima, Y. (1996) Comparative studies on paralytic shellfish toxin profiles of marine snails, mussels and an *Alexandrium tamarense* isolated from the Mar del Plata coast (Argentina). *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero*, 10, 101 - 107.
- Cassis, D. (1999) Variación temporal del fitoplancton entre 1993 y 1998 en una estación fija en la cabeza del seno Aysén, XI región (45°26'S 73°00'W). Tesis, Carrera de Biología Marina. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad de Valparaíso, 86 pp.

- Cassis, D., Muñoz, P. & Avaria, S. (2002) Variación temporal del fitoplancton entre 1993 y 1998 en una estación fija del seno Aysén, Chile (45°26'S 73°00'W). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 37 (1), 43 - 65.
- Cembella, A., Shumway, S. & Larocque, R. (1994) Sequestering and putative biotransformation of paralytic shellfish toxins by the sea scallop *Placopecten magellanicus*: seasonal and spatial scales in natural populations. *Marine Environmental Research*, 180, 1 - 22.
- Chen, C. & Chou, H. (1998) Transmission of the paralytic shellfish poisoning toxins, from dinoflagellate to gastropod. *Toxicon*, 36 (3), 515 - 522.
- Clément, A., Rojas, X. & Lembeye, G. (1996) Distribución y abundancia de fitoplancton: énfasis en especies nocivas. Taller sobre los resultados del crucero Cimar - Fiordo 1, 82 - 84.
- Clément, A., Aguilera, A. & Fuentes, C. (2002) Análisis de Marea Roja en Archipiélago de Chiloé, Contingencia 2002. *Resúmenes XXII Jornadas de Ciencias del Mar*, p. 126.
- Clément, A. (2003) Las Mareas Rojas y la Salmonicultura. En: Salmonicultura en el Sur de Chile. Compendio 2003, 123-126.
- Compagnon, D., Lembeye, G., Marcos, N., Ruiz - Tagle, N. & Lagos, N. (1998) Accumulation of Paralytic Shellfish Poisoning toxins in the bivalve *Aulacomya ater* and two marine gastropods *Concholepas concholepas* and *Argobuccinum ranelliformes* during an *Alexandrium catenella* bloom in Southern Chile. *Journal of Shellfish Research*, 17 (1), 67 - 73.
- Guzmán, L. & Campodonico, I. (1975) Marea roja en la región de Magallanes. Publicaciones del Instituto de la Patagonia. *Monografías*, 9, 44 pp.
- Guzmán, L., Campodónico, I. & Hermosilla, J. (1975) Estudios sobre un florecimiento causado por *Gonyaulax catenella* en Magallanes IV. Distribución y niveles de toxicidad del

- Veneno Paralítico de los Mariscos (noviembre de 1972- noviembre de 1973). *Anales del Instituto de la Patagonia*, 6, 173- 183.
- Guzmán, L. & Campodonico, I. (1978) Mareas Rojas en Chile. *Interciencia*, 3 ,144 - 151.
- Guzmán, L. & Suárez, B. (1999) Floraciones de Algas Nocivas: Mareas Rojas y Toxinas Marinas. Ed. Universitaria, Santiago, Chile, 77 pp.
- Guzmán, L., Uribe, J., Pizarro, G., Suárez, B., López, A., Alarcón, C. & Igor, R. (2000) Seguimiento de la Toxicidad en Recursos Pesqueros de Importancia Comercial en la XII Región. Proyecto FIP 97/48, Informe Final, 133 pp. + figuras.
- Guzmán, L., Pizarro, G., Banciella, M., Igor, R., Alarcón, C., Pacheco, H., Oyarzo, O., Fauré, M. & Butorovic, N. (2001) Informe Final Subprograma de Monitoreo. Tomo I. en Difusión Programa Marea Roja en la Región de Magallanes y Antártica Chilena, IV Etapa, 129 pp. + figuras + anexos.
- Guzmán, L., Pacheco, H., Pizarro, G. & Alarcón, C. (2002) *Alexandrium catenella* y Veneno Paralizante de los Mariscos en Chile. En: Sar, E., Ferrario, M. & Reguera, B. (Eds.). Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano, 235-255.
- Guzmán, L., Pizarro, G., Pacheco, H., Alarcón, C., Banciella, M., Igor, R., García F. & Butorovic, N. (2003a) Informe Final Subprograma de Monitoreo. Tomo II. En: Difusión Programa Marea Roja en la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena. VI Etapa, 144 pp. + 36 tablas + 103 figuras + 5 anexos.
- Guzmán, L., Pacheco, H., Igor, R. & García, F. (2003b) Informe Final Subprograma de Capacitación. Tomo III. En Difusión Programa Marea Roja en la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena, VI Etapa, 44pp + 10 tablas + 3 figuras + 11 anexos.

- Haya, K., Martin, J., Robinson, S., Martin, J. & Khots, A. (2003) Does uptake of *Alexandrium fundyense* cysts contribute to the levels of PSP toxin found in the sea scallop *Placopecten magellanicus*?. *Harmful Algae*, 2, 75 - 81.
- Labbé, A. & Alvial, M. (1994) Proliferaciones Fitoplanctónicas Nocivas. Manual para el Acuicultor. 2ª Ed. Fundación Chile, Chile, 187 pp.
- Lassus, P., Ledoux, M., Bardouil, M., Bohec, M. & Erard, E. (1994) Kinetics of *Alexandrium minutum* Halim Toxin Accumulation in Mussels and Clams. *Natural Toxins*, 2, 329 - 333.
- Lehanne, L. (2000) Paralytic Shellfish Poisoning a Rewiew. National Office of Animal and Plant Health Agriculture, Fisheries and Forestry, 60 pp.
- Lembeye, G. (1981a). Segunda aparición del Veneno Paralítico de los Mariscos (VPM) asociado a *Gonyaulax catenella*, en Magallanes (Chile), 1981. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 12, 273 - 276.
- Lembeye, G. (1981b). Estructura del fitoplancton asociado a la presencia del Veneno Paralítico de los Mariscos en seno Unión y áreas adyacentes (Magallanes, Chile), 1981. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 12, 277 - 288.
- Lembeye, G., Loyola, H., Seguel, M. & Núñez, M. (1994). Presencia de *Alexandrium* en la XI región. Un llamado de alerta. *Resúmenes XIV Jornadas de Ciencias del Mar. Iº Jornada Chilena de la Salmonicultura*, 96-97.
- Lembeye, G., Clément, A., Marcos, N., Molinet, C., Rojas, X. & Sfeir, A. (1997) Monitoreo de la Marea Roja en las Aguas Interiores de la X y XII Regiones. Proyecto FIP 95/23B, Informe Final, 126 pp.

- Lembeye, G. & Sfeir, A. (1997) Distribución de quistes de *Alexandrium catenella* y otros dinoflagelados en sedimentos de canales y fiordos someros entre los 47° y 52° S. Taller sobre los resultados del crucero Cimar - Fiordo 2, 64 - 69.
- Lembeye, G., Marcos, N., Sfeir, A., Molinet, C. & Jara, F. (1998) Seguimiento de la Toxicidad en Recursos Pesqueros de Importancia Comercial en la X y XI Región. Proyecto FIP 97/49, Informe Final, 86 pp. + figuras.
- Lembeye, G. & Sfeir, A. (1999a) Distribución de quistes de *Alexandrium catenella* y otros dinoflagelados en sedimentos recolectados entre el estrecho de Magallanes y el cabo de Hornos. Taller sobre los resultados del crucero Cimar - Fiordo 3, 73 - 77.
- Lembeye, G. & Sfeir, A. (1999b) Distribución de quistes de *Alexandrium catenella* y otros dinoflagelados en sedimentos de la XI Región. Taller sobre los resultados del crucero Cimar - Fiordo 4, 57 - 59.
- Lesser M. & Shumway, S. (1993) Effects of toxic dinoflagellates on clearance rates and survival in juvenile bivalve molluscs. *Journal of Shellfish Research*, 12 (2), 377 - 381.
- Li, S., Wang, W. & Hsieh, D. (2002) Effects of toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* on the energy budgets and growth of two marine bivalves. *Marine Environmental Research*, 53, 145 - 160.
- López, I., Sánchez, B., Montebruno, D., Fernández, V., Pinilla, J., Pinochet, C., Valdebenito, J., Ross, M., Alvarez, M., Rubina, J. & Vogel, E. (1992) Cuadro clínico de la intoxicación masiva con Veneno Paralizante de Mariscos. *Revista de Sanidad de la Defensa Nacional*, 9, 120 - 125.
- Maruyama, J., Noguchi, T., Onoue, Y., Ueda, Y., Hashimoto, K. & Kanimura, S. (1983) Anatomical distribution and profiles of the toxins in highly PSP - infested scallops



- from Ofunnato Bay during 1980 - 1981. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 49 (2), 233 - 235.
- Medina, M. (1997) Estudio comparativo del fitoplancton del seno Aysén, XI región, y variables oceanográficas asociadas en cruceros de verano y otoño (1992). Tesis, Carrera de Biología Marina. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad de Valparaíso, 63 pp.
- Molinet, C., Lafon, A., Lembeye, G. & Moreno, C. (2003) Patrones de distribución espacial y temporal de floraciones de *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid) Balech 1985, en aguas interiores de la Patagonia noroccidental de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76 (4), 681 - 698.
- Muñoz, P., Avaria, S., Sievers, H. & Prado, R. (1992). Presencia de Dinoflagelados tóxicos del género *Dinophysis* en el seno Aysén, Chile. *Revista de Biología Marina*, 27 (2), 187 - 212.
- Persson, A. & Rosenberg, R. (2003) Impact of grazing and bioturbation of marine benthic deposit feeders on dinoflagellate cysts. *Harmful Algae*, 2, 43 - 50.
- Salgado, P. & Salamanca, M. (2005) Primera Reconstrucción histórica reciente de floraciones algales nocivas (FAN) mediante quistes de dinoflagelados en sedimentos marinos del sur de Chile (X Región). *Resúmenes XXV Jornadas de Ciencias del Mar. XI Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar*, p. 189.
- Seguel, M., Tocornal, M. & Sfeir, A. (2002) Evaluación de la toxicidad en moluscos, quistes y microalgas productoras de toxinas en la XI Región. Taller sobre los resultados del crucero Cimar 7 Fiordos, 91 - 99.

- Seguel, M. & Sfeir, A. (2003) Floraciones Algales Nocivas en el área Sur de la X Región y los canales occidentales de la XI Región. Taller sobre los resultados del crucero Cimar 9 Fiordos, 173 - 180.
- Seguel, M. & Sfeir, A. (2004) Situación de la marea roja durante la época de invierno - primavera y su posible interacción con larvas de peces. Taller sobre los resultados del crucero Cimar 9 Fiordos, 137 - 144.
- Scarrat, A., Scarrat, D. & Scarrat, M. (1993) Survival of live *Alexandrium tamarense* cells in mussel and scallop spat under simulated transfer conditions. *Journal of Shellfish Research*, 12 (2), 383 - 388.
- SERPLAC Magallanes y Antártica Chilena. (2005) Programa Regional de Inversiones, p. 11.
- Shimizu, Y. & Yoshioka, M. (1981) Transformation of Paralytic Shellfish Toxins as Demonstrated in scallop Homogenates. *Science*, 212, 547 - 549.
- Sievers, H. & Prado, R. (1994) Contraste de las características oceanográficas del seno Aysén, Chile, entre invierno y verano (LAT. 45° 20'S). *Revista de Biología Marina*, 29 (2), 167 - 209.
- Silva, N., Calvete, C. & Sievers, H. (1998) Masas de agua y circulación general para algunos canales australes entre Puerto Montt y Laguna San Rafael, Chile (Crucero CIMAR – Fiordo 1). *Ciencia y Tecnología del Mar*, 21, 17- 48.
- Steidinger, K. & Tangen, K. (1997) Identifying Marine Phytoplankton. . C. R. Tomas (Ed.). Academic Press, 858 pp.
- Suzuki, T., Yamasaki, M. & Ota, H. (1998) Comparison of Paralytic Shellfish Toxin Profiles between the scallop *Patinopecten yessoensis* and the Mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Fisheries Science*, 64 (5), 850 - 851.

- Taylor, F., Fukuyo, Y. & Larsen, J. (1995) Taxonomy of Harmful Dinoflagellates. Hallegraef, G., Anderson, B. and Cembella, A. (Eds.). Manual on Harmful Marine Microalgae. IOC Manuals and Guides n° 33. UNESCO, 279-318.
- Tomas, C. (1996) Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates. Academic Press, San Diego, California, 598 pp.
- Uribe, J. C. (1988) Antecedentes sobre un Tercer Brote del Veneno Paralizante de Moluscos (VPM) en la región de Magallanes. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 18, 97 - 101.
- Uribe, J., Guzmán, L. & Jara, S. (1995) Informe Final Monitoreo Mensual de la Marea Roja en la XI y XII Regiones. Proyecto FIP 93/ 16, Informe Final, 282 pp. + 3 láminas.
- Uribe, J., Guzmán, L., Pizarro, G., Alarcón, C. & Iriarte, J. (1997) Informe Final Monitoreo de la Marea Roja en las Aguas Interiores de la XII Regiones. Proyecto FIP 95/ 23A, Informe Final, 74 pp. + 13 apéndices.
- Uribe, P. (2003) Estudios sobre sistemas de detección de la bioluminiscencia asociada a la presencia de dinoflagelados tóxicos causantes de marea roja en los canales y fiordos de la XI Región. Taller sobre los resultados del crucero Cimar 8 Fiordos, 181 - 189.
- Vila, M., Garcés, E., Masó, M. & Camp, J. (2001) Is the distribution of the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella* expanding long NW Mediterranean coast? *Marine Ecology Progress Series*, 222, 73-83.
- Villarroel, O. & Muñoz, P. (1991) Episodios de marea roja y monitoreo de las toxinas parálíticas y diarreicas en Chile. *Alimentos para Chile y Latinoamérica*, 16 (5), 5 - 8.
- Villarroel, O. (1999) Detección de toxinas paralizante, diarreica y amnésica en los moluscos de la X Región por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) y bioensayo en ratones. Taller sobre los resultados del crucero Cimar - Fiordo 4, 60 - 65.

Villarroel, O. 2004. Informe Final Programa de Vigilancia de la Marea Roja en Chile. Instituto Salud Pública. 4 pp.

Wekell, J., Lorenzana, R., Hogan, M. & Barnet, H. (1996) Survey of paralytic shellfish poison and domoic acid in puget sound predatory gastropods. *Journal of Shellfish Research*, 15 (2), 231 - 236.

Wiley, E. (1981) Phylogenetics: The Theory and Practice of Phylogenetic systematic. 456 pp.

## **APENDICE**

## FONDOS CONCURSABLES Y EVOLUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN DE FAN EN CHILE

Las graves consecuencias de la ocurrencia de fenómenos de marea roja en todo el mundo, ha motivado numerosas investigaciones que han revelado importantes detalles sobre toxinas de organismos del fitoplancton y otros metabolitos marinos bioactivos (Alvial & Labbé, 1989). En 1987 la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) perteneciente a la UNESCO organizó un taller sobre mareas rojas nocivas, siendo el primer reconocimiento oficial del tema del plancton tóxico por una agencia de las Naciones Unidas (Avaria, 1999a).

En Chile, los aportes realizados por el CORFO, MIDEPLAN, CONICYT y MINECOM, a través de proyectos como FONTEC, FDI, FONDAP, FIP, FONDEF, FNDR y FONDECYT, entre otros (Tabla 5; Acrónimos), han sido muy valiosos por cuanto han permitido evaluar la magnitud (intensidad y extensión) y definir los periodos de ocurrencia de las FAN (Ap. 1). Entre los logros obtenidos cabe mencionar la reciente detección de *A. catenella* en la X Región y la ocurrencia de *Alexandrium ostenfeldii* - dinoflagelado también productor de VPM - en ambas Regiones (Lembeye, 1998).

Desde el año 1991 rige la Directiva 91/492/CEE que establece las normas sanitarias aplicables a la producción y puesta en el mercado de los moluscos bivalvos vivos destinados al consumo humano directo o a la transformación antes del consumo, haciéndose explícita la necesidad de identificar los lotes de moluscos por medio de un documento oficial que los acompañe desde la cosecha, durante el transporte y hasta su destino final (venta, depuración o transformación), la que en Chile se lleva a cabo mediante la ejecución del “Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos - Unión Europea” (PSMB - UE), administrado por el Servicio Nacional de

Pesca. Además, los Servicios de Salud Pública de la X, XI y XII Regiones, mantienen programas de vigilancia hace varios años, acumulando así una experiencia muy valiosa en el tema.

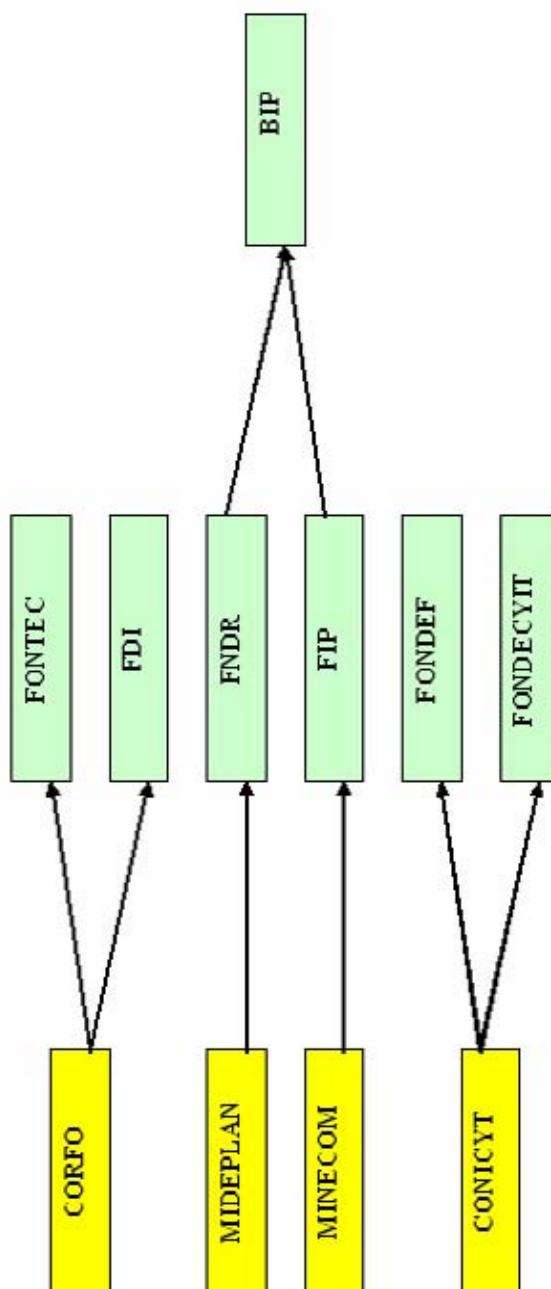
El Ministerio de Salud el año 1995 estableció el Programa Nacional de Vigilancia de la Marea Roja (Ord.4B/6518), que tiene por objeto la vigilancia ambiental de la toxina paralizante productora del fenómeno de marea roja y contempla el envío de dos muestras mensuales de moluscos bivalvos por parte de los Servicios de Salud que posean litoral marino.

En 1995, bajo la coordinación del Comité Oceanográfico Nacional (CONA), se dio inicio al programa Cimar-Fiordo, cuyo objetivo se basó en la investigación multidisciplinaria e inter-institucional en las aguas interiores y exteriores adyacentes a la zona comprendida entre Puerto Montt y la Laguna San Rafael, a bordo del buque de investigación AGOR “Vidal Gormaz” perteneciente a la Armada de Chile. La realización de los distintos cruceros Cimar Fiordo ha sido fundamental en el estudio de las FAN, ya que han permitido la investigación de *A. catenella* tanto en muestras de plancton como en muestras de sedimentos formando quistes (Clément *et al.*, 1996; Lembeye & Sfeir, 1997; Lembeye & Sfeir, 1999a; Lembeye & Sfeir, 1999b; Villarroel, 1999; Seguel *et al.*, 2002; Seguel & Sfeir, 2003; Uribe, 2003; Seguel & Sfeir, 2004).

Hasta el año 2005 el FNDR financiará la ejecución del programa de marea roja en Magallanes, actividad relacionada con el monitoreo del fenómeno, difusión a la comunidad y a pescadores artesanales, capacitación a profesionales, asumiendo este problema como un fenómeno endémico (SERPLAC, 2005).

Finalmente cabe destacar la oportuna realización del GEOHAB (Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms) en abril del año 2004 en la ciudad de Viña del Mar (Chile) fue de gran importancia, ya que se transfirió conocimiento y tecnología de alto nivel

sobre el problema de las FAN y se brindaron orientaciones metodológicas de cómo seguir enfrentando el problema a futuro.



Apéndice 1. Esquema de fondos de investigación en Chile.



Tabla 5. Proyectos financiados sobre mareas rojas en Chile.

ejecutor	nombre del proyecto	estado	financiamiento	código informe técnico	año ejecución
Universidad de Magallanes	Monitoreo mensual de la marea roja en la XI y XII Regiones	finalizado	FIP	FIP-II/93-16	1994-1995
Universidad de Magallanes	Monitoreo de la marea roja en las aguas interiores de la XII Región	finalizado	FIP	FIP-IT/95-23A	1996-1997
Universidad Austral de Chile	Monitoreo de la marea roja en las aguas interiores de la X y XI Regiones	finalizado	FIP	FIP-IT/95-23B	1995-1996
IFOP	Seguimiento de la toxicidad en recursos pesqueros de importancia comercial en la XII Región	finalizado	FIP	FIP-II/97-48	1997-1999
Universidad Austral de Chile	Seguimiento de la toxicidad en recursos pesqueros de importancia comercial en la X y XI Región	finalizado	FIP	FIP-IT/97-49	1997-1998
Universidad Austral de Chile	Respuesta Fisiológica/energética del los bivalvos <i>Mulinia edulis</i> y <i>Mytilus chilensis</i> y del Gastrópodo carnívoro <i>Xanotochorus cassidiformis</i> frente a la presencia del dinoflagelado tóxico <i>Alexandrium catenella</i>	finalizado	Fondef	7030112	2003-2004
Universidad Austral de Chile	Respuesta Fisiológica/energética del los bivalvos <i>Mulinia edulis</i> y <i>Mytilus chilensis</i> y del Gastrópodo carnívoro <i>Xanotochorus cassidiformis</i> frente a la presencia del dinoflagelado tóxico <i>Alexandrium catenella</i>	en curso	Fondef	7050077	2005-2006
Universidad de Chile	Investigación, tecnologías de la información y capacitación local para apoyar la toma de decisiones sanitarias en mareas rojas.	finalizado	Fondef	MR02I1004	2002-2004
IFOP	Promoción de transferencia de tecnología y fortalecimiento en la detección de toxinas marinas y fitoplancton nocivo.	finalizado	Fondef	D97T1008	1997-1999
Universidad de Chile	Tecnologías para la detección rápida de toxinas naturales marinas (Mareas Rojas).	finalizado	Fondef	D92I1019	1992-1996
Universidad de Chile	Desarrollo de tecnologías y normas para la detoxificación de toxinas marinas en moluscos de importancia comercial.	finalizado	Fondef	AQ02I1007	2002-2004
Fundación Ciencia para la Vida	Estudios genómicos del dinoflagelado <i>Alexandrium catenella</i>	finalizado	Fondef	MR02I1003	2002-2005
Universidad de Chile	Producción de Estándares Calificados para la Detección y Cuantificación de Veneno Paralizante de Mariscos (VPM). Purificación a partir de Marisco Altamente Contaminado.	finalizado	Fondecyt	1961122	1996
Universidad Austral de Chile	Proyecto CIMAR-FIORDO 4 "Distribución de quistes de <i>Alexandrium catenella</i> y otros dinoflagelados en sedimentos de la XI Región	finalizado	Fondecyt	98/062/E/DID/P.	1998-1999
Universidad de Valparaíso	Caracterización oceanográfica del seno Aysén	finalizado	Fondecyt	1910410	1992-1993
TEPUAL S.A., Universidad de Chile	Aplicación de Tecnologías para la Detoxificación de Moluscos Contaminados con Marea Roja en las regiones XI y XII	finalizado	FDI	99T2-MR.01	1999

Continuación tabla 5.

ejecutor	nombre del proyecto	estado	financiamiento	código informe técnico	año ejecución
IFOP	Desarrollo de Tecnologías para la Detección de Toxinas Marinas (Mareas Rojas) y Mariscos Refractarios a la Toxificación por estos Compuestos.	finalizado	FDI	S/I	2002
Universidad de Chile	Producción y Transformación de toxinas bloqueadoras de canales de sodio por bacterias marinas aisladas desde moluscos bivalvos contaminados con veneno paralizante de molusco (marea roja)	finalizado	DID	CSMAR. 02/5-2	S/I
Seremi Salud XII región	Manejo y Monitoreo Marea Roja, XII región	en curso	FNDR	BIP 30040205-0	2005
Servicio Salud Magallanes	Difusión Programa de Marea Roja, en la XII Región	en curso	FNDR	BIP 20166465-0	2005
Municipalidad de Tortel	Análisis y Monitoreo de Marea Roja en la Comuna de Tortel	en curso	FNDR	BIP 20190879-0	2006
SERNAPESCA XI región	Análisis Marea Roja en Puerto Melinka y Puerto Raúl Marín Balmaceda	en curso	FNDR	BIP 30010880-0	2005
	Difusión Programa de Marea Roja, en la XII Región	finalizado	FNDR	BIP 20092815-0	1996-1997

Acrónimos.

**CORFO:** Corporación de Fomento de la Producción.

**MIDEPLAN:** Ministerio de Planificación y Cooperación.

**CONICYT:** Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica.

**MINECOM:** Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.

**FONTEC:** Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo.

**FDI:** Fondo de Desarrollo e Innovación.

**FONDAP:** Fondo de Investigación Avanzada en Áreas Prioritarias.

**FIP:** Fondo de Investigación Pesquera.

**FONDEF:** Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico.

**FNDR:** Fondo Nacional de Desarrollo Regional.

**FONDECYT:** Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico.

## LÁMINAS

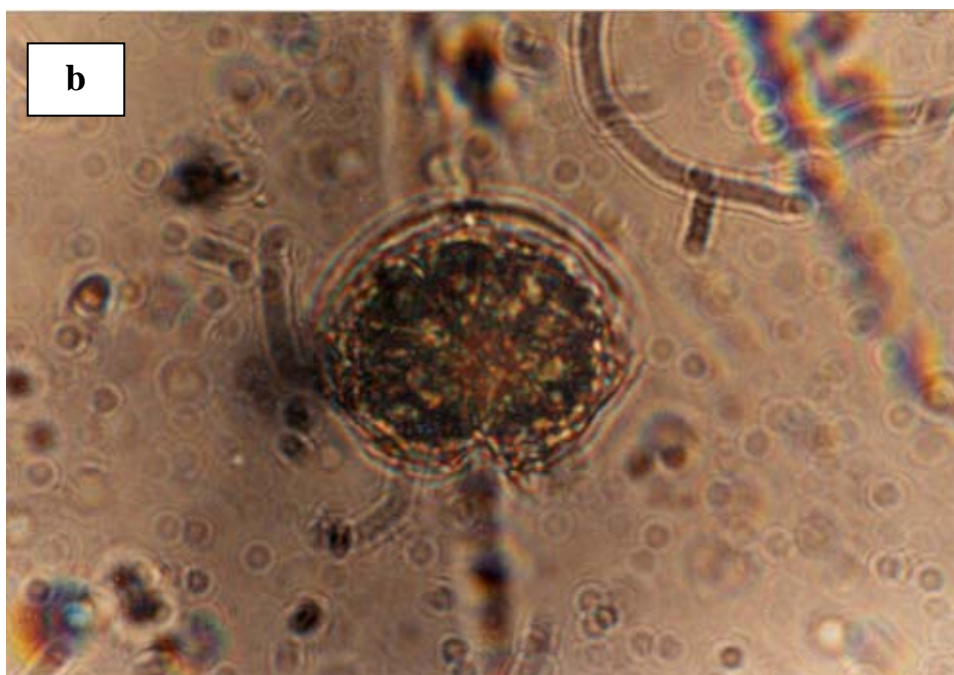
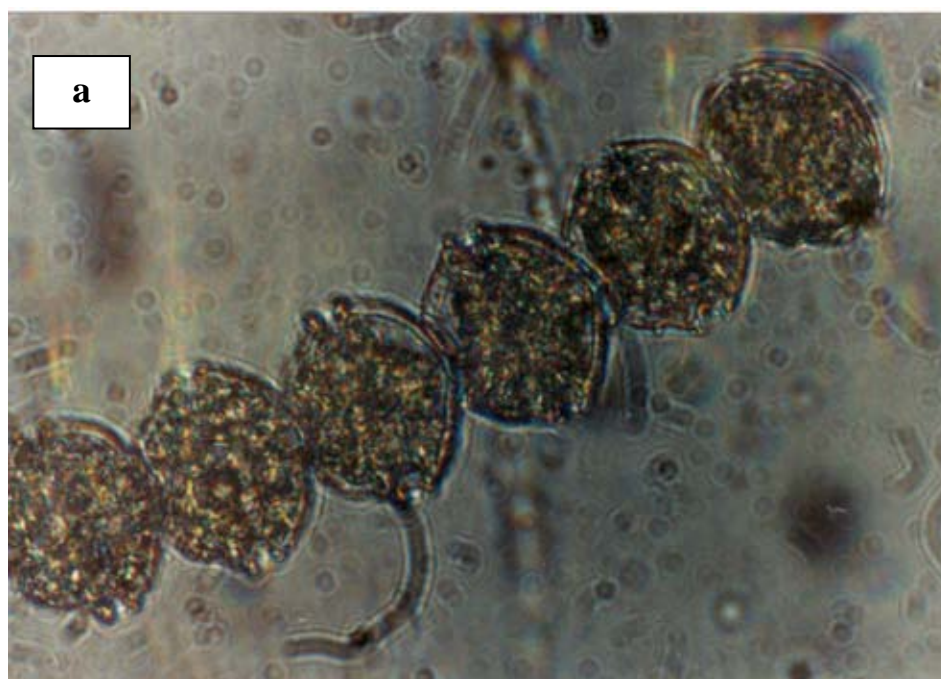


Lámina 1. a) *Alexandrium Catenella* cadena de seis células; b) *Alexandrium catenella* célula libre.

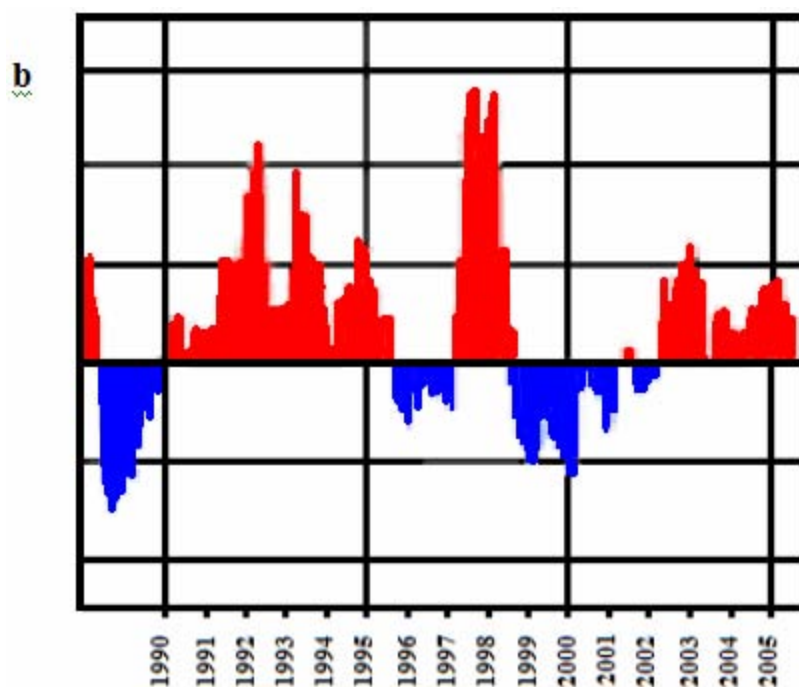
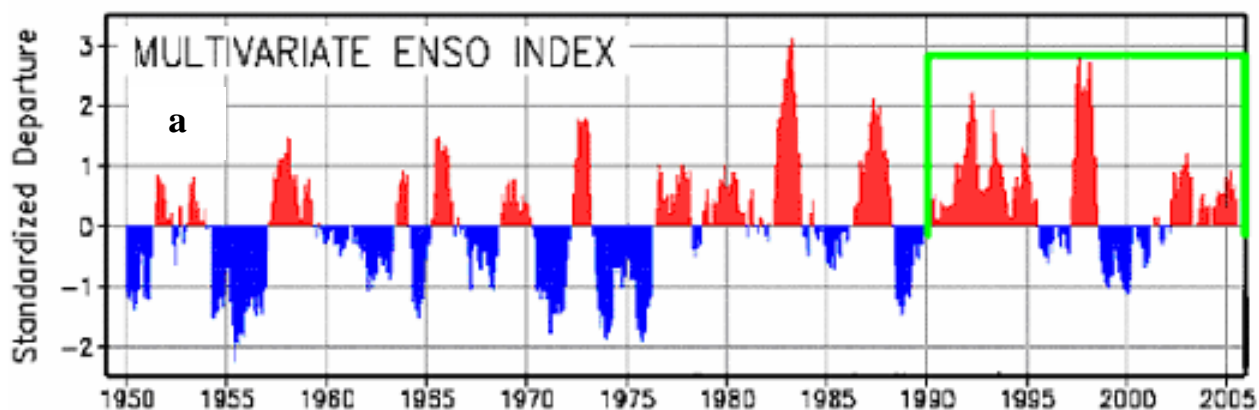


Lámina 2. a) Registro de los eventos “El Niño” (anomalía térmica positiva) y “La Niña” (anomalía térmica negativa) (fuente: NOAA) desde 1950 hasta 2005; b) periodo coincidente con la serie de tiempo analizada en “Nueva Hammerfest”, XI Región.



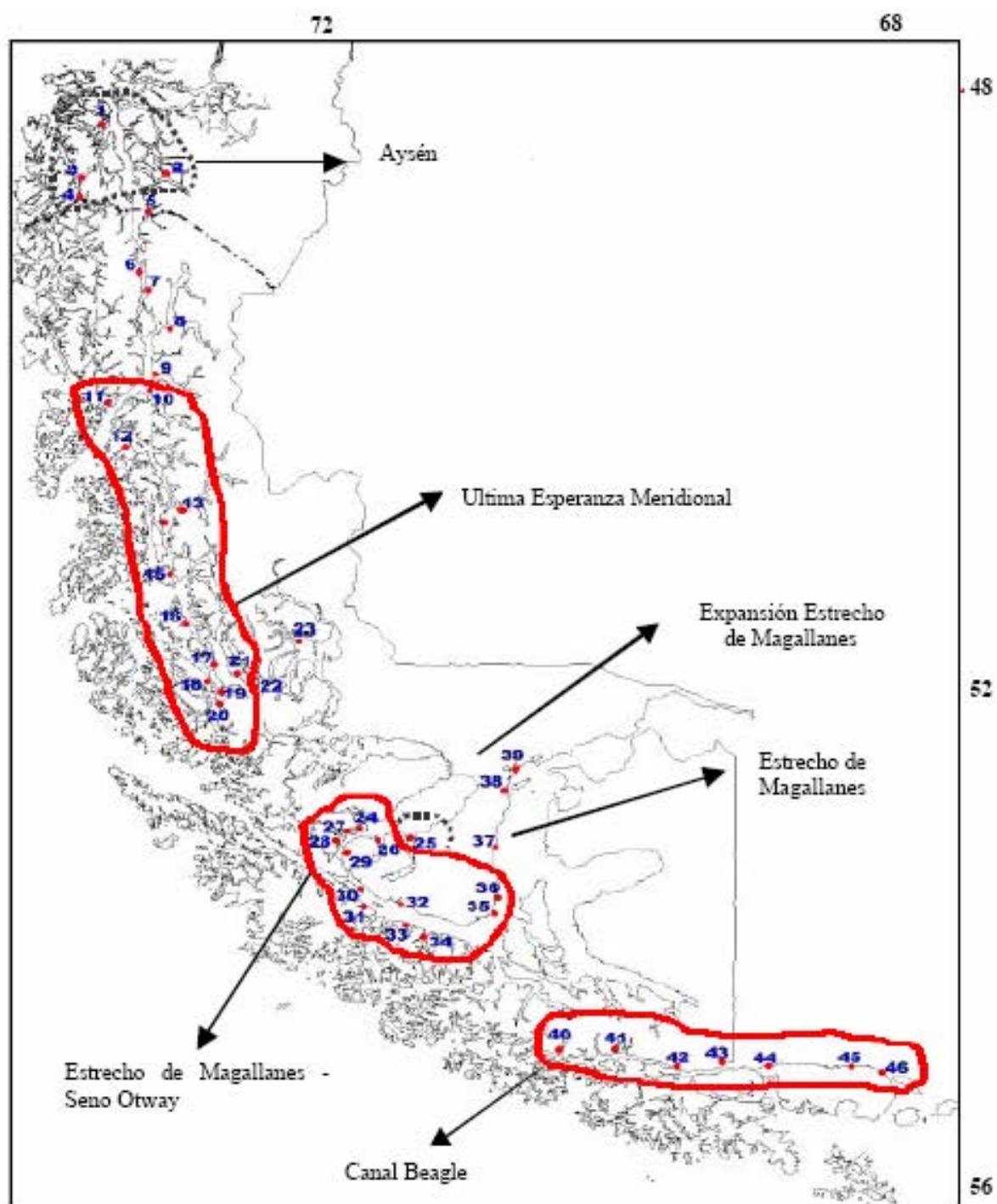


Lámina 3. Núcleos de Toxicidad propuestos por Guzmán *et al.* (2002).

## **ANEXOS**

Anexo 1. Índices de Abundancia Relativa de *Alexandrium catenella* en la serie de tiempo (1993 - 2005) en la estación fija “Nueva Hammerfest”, XI Región.

fecha	IAR <i>Alexandrium catenella</i>	Temperatura superficial (° C)
09/02/1993	0	s.d.
21/02/1993	0	s.d.
08/03/1993	0	s.d.
22/03/1993	U	s.d.
04/04/1993	0	s.d.
18/04/1993	0	s.d.
10/05/1993	0	s.d.
23/05/1993	0	s.d.
06/06/1993	0	s.d.
20/06/1993	0	s.d.
01/06/1993	0	s.d.
15/06/1993	0	s.d.
31/08/1993	0	s.d.
05/09/1993	U	s.d.
12/09/1993	0	s.d.
27/09/1993	0	s.d.
10/10/1993	0	s.d.
14/11/1993	0	s.d.
06/12/1993	0	s.d.
22/12/1993	0	s.d.
06/02/1994	0	11,8
28/02/1994	0	15,0
14/03/1994	0	15,2
26/03/1994	U	13,5
14/04/1994	0	11,5
24/04/1994	0	14,2
10/05/1994	0	14,0
24/05/1994	0	16,2
12/06/1994	0	12,1
30/06/1994	0	12,1
10/07/1994	0	14,2
24/07/1994	0	15,1
07/08/1994	0	14,2
24/08/1994	0	14,0
17/09/1994	0	7,4
02/10/1994	3	7,5
16/10/1994	0	8,2
30/10/1994	0	14,1
14/11/1994	0	14,1
29/11/1994	0	15,0
10/12/1994	0	13,1
25/12/1994	0	15,1
08/01/1995	0	15,1
15/01/1995	0	15,1
05/02/1995	0	15,2



(Continuación)

fecha	IAR <i>Alexandrium catenella</i>	Temperatura superficial (° C)
19/02/1995	0	15,2
05/03/1995	2	13,5
19/03/1995	0	13,1
02/04/1995	0	13,0
17/04/1995	0	12,1
07/05/1995	0	11,2
11/05/1995	0	5,2
28/05/1995	0	9,1
25/06/1995	0	6,0
10/07/1995	0	6,0
24/07/1995	0	6,0
07/08/1995	0	6,5
20/08/1995	0	6,0
04/09/1995	0	7,0
17/09/1995	0	6,0
01/10/1995	0	9,8
16/10/1995	0	9,1
29/10/1995	0	10,2
12/11/1995	0	13,2
27/11/1995	0	13,0
10/12/1995	4	12,2
26/12/1995	0	13,2
09/01/1996	0	8,2
04/02/1996	0	13,5
18/02/1996	0	14,4
05/03/1996	0	14,8
17/03/1996	0	11,8
02/04/1996	0	11,2
17/04/1996	0	10,2
04/05/1996	0	11,2
16/05/1996	0	8,8
31/05/1996	0	6,6
16/06/1996	0	8,2
30/06/1996	0	7,2
14/07/1996	0	8,2
29/07/1996	0	7,2
11/08/1996	0	7,2
25/08/1996	0	5,2
08/09/1996	0	6,8
24/09/1996	0	7,8
10/10/1996	0	6,2
20/10/1996	0	7,1
03/11/1996	0	6,2
18/11/1996	0	7,3

(Continuación)

fecha	IAR <i>Alexandrium catenella</i>	Temperatura superficial (° C)
02/12/1996	0	8,1
15/12/1996	0	9,2
29/12/1996	0	9,0
12/01/1997	0	11,5
25/01/1997	0	14,6
10/02/1997	2	12,5
20/02/1997	3	13,8
09/03/1997	0	14,8
30/03/1997	0	12,2
11/04/1997	2	11,0
27/04/1997	0	11,2
12/05/1997	0	11,0
29/05/1997	0	11,2
08/06/1997	0	7,8
25/06/1997	0	7,1
07/07/1997	0	6,8
18/07/1997	0	6,7
03/08/1997	0	6,9
31/08/1997	0	5,3
27/09/1997	0	9,2
12/10/1997	0	9,3
04/11/1997	0	10,0
16/11/1997	0	10,9
30/11/1997	0	11,4
14/12/1997	0	11,6
29/12/1997	0	12,9
11/01/1998	0	14,6
24/01/1998	0	12,8
10/02/1998	0	16,2
22/02/1998	0	14,8
09/03/1998	5	11,2
24/03/1998	3	12,9
05/04/1998	0	14,1
17/04/1998	0	12,1
02/05/1998	0	11,2
15/05/1998	0	10,9
01/06/1998	0	8,9
14/06/1998	1	9,3
29/06/1998	0	7,2
26/07/1998	0	7,0
08/08/1998	0	6,1
21/08/1998	0	5,9
07/09/1998	0	8,5
04/10/1998	0	10,6

(Continuación)

fecha	IAR <i>Alexandrium catenella</i>	Temperatura superficial (° C)
18/10/1998	0	10,3
01/11/1998	0	11,6
15/11/1998	0	12,5
30/11/1998	0	12,7
13/11/1998	0	12,8
30/12/1998	0	15,6
10/01/1999	0	16,4
23/01/1999	0	16,1
09/02/1999	0	14,6
25/02/1999	0	14,2
07/03/1999	0	13,1
17/03/1999	0	14,0
03/04/1999	0	12,7
18/04/1999	0	12,1
03/05/1999	0	9,9
14/05/1999	0	9,7
29/05/1999	0	8,3
12/06/1999	0	8,5
29/06/1999	0	7,1
11/07/1999	0	6,9
27/07/1999	0	5,8
07/08/1999	0	5,5
22/08/1999	1	5,3
06/09/1999	0	8,2
20/09/1999	0	6,0
08/02/2000	0	13,1
22/02/2000	0	15,1
07/03/2000	0	15,8
18/03/2000	0	12,9
05/04/2000	0	11,9
16/04/2000	0	11,3
01/05/2000	0	8,5
15/05/2000	0	8,1
04/06/2000	0	6,8
16/06/2000	0	6,0
02/07/2000	0	6,2
16/07/2000	0	6,9
25/07/2000	0	6,9
13/08/2000	0	7,1
28/08/2000	0	7,9
10/09/2000	0	7,3
22/09/2000	0	7,4
15/10/2000	0	7,5
29/10/2000	0	7,9

(Continuación)

fecha	IAR <i>Alexandrium catenella</i>	Temperatura superficial (° C)
12/11/2000	0	12,0
27/11/2000	0	11,7
04/12/2000	0	11,1
26/12/2000	0	11,1
07/01/2001	0	11,1
07/02/2001	0	11,7
25/02/2001	0	13,1
11/03/2001	0	12,0
24/03/2001	0	11,7
07/04/2001	0	12,7
22/04/2001	0	12,2
05/05/2001	0	9,2
26/05/2001	0	5,8
10/06/2001	0	6,1
24/06/2001	0	6,1
09/07/2001	0	5,5
21/07/2001	0	6,6
06/08/2001	0	7,0
21/10/2001	0	11,0
05/11/2001	0	11,2
18/11/2001	0	11,3
02/12/2001	0	11,0
23/12/2001	0	11,0
20/01/2002	0	16,2
03/02/2002	0	16,2
18/02/2002	0	16,0
25/03/2002	4	10,5
08/04/2002	2	10,2
01/05/2002	0	10,1
26/05/2002	0	7,5
02/07/2002	0	6,9
22/07/2002	0	6,2
03/08/2002	0	5,9
23/08/2002	0	6,2
08/09/2002	0	7,5
21/09/2002	0	9,2
20/10/2002	0	8,5
03/11/2002	0	9,5
17/11/2002	0	9,2
30/11/2002	0	9,5
18/12/2002	0	9,5
29/12/2002	0	11,2
23/01/2003	0	11,2
11/02/2003	0	13,5

(Continuación)

fecha	IAR <i>Alexandrium catenella</i>	Temperatura superficial (° C)
10/03/2003	0	12,5
30/03/2003	0	12,3
15/04/2003	0	12,9
30/04/2003	0	10,2
11/05/2003	0	9,9
30/05/2003	0	7,5
29/06/2003	0	7,4
20/07/2003	0	7,0
04/08/2003	0	7,0
18/08/2003	0	7,0
01/09/2003	0	7,1
12/09/2003	0	8,2
06/10/2003	0	11,2
01/11/2003	0	11,5
16/11/2003	0	10,9
01/12/2003	0	10,5
20/12/2003	0	11,1
11/01/2004	0	11,2
28/03/2004	0	12,6
14/04/2004	0	10,2
26/04/2004	0	9,2
12/05/2004	0	8,9
30/05/2004	0	8,9
13/06/2004	0	9,0
11/07/2004	0	5,5
23/07/2004	0	6,3
02/08/2004	0	6,3
08/08/2004	0	6,4
18/09/2004	0	9,2
10/10/2004	0	9,5
08/11/2004	0	11,4
29/11/2004	0	9,1
19/12/2004	0	9,5
02/01/2005	0	9,8
24/01/2005	0	12,9
13/02/2005	0	20,0
27/02/2005	3	16,5
13/03/2005	0	12,9
28/03/2005	0	12,5
10/04/2005	0	8,9
23/04/2005	0	8,9
07/05/2005	0	8,2
04/06/2005	0	7,5
17/06/2005	0	5,2
04/07/2005	0	4,9



Anexo 4. Modelo esquemático de la circulación general horizontal de la capa superficial en los fiordos de la XI Región (gentileza Dr. Mario Cáceres, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada).



Anexo 5. Modelo esquemático de la circulación general horizontal en el nivel superficial (0- 30 m), de las aguas subantárticas modificadas y estuarinas en la zona de Puerto Montt a Laguna San Rafael (Silva *et al.*, 1998).

