

# Patrones de distribución espacial y temporal de floraciones de *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid) Balech 1985, en aguas interiores de la Patagonia noroccidental de Chile

Spatial and temporal distribution patterns of blooms of *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid) Balech 1985, on inland seas of northwest Patagonia, Chile

CARLOS MOLINET<sup>1-3</sup>, ALEJANDRA LAFON<sup>1</sup>, GEORGINA LEMBEYE<sup>2</sup>  
& CARLOS A. MORENO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitario de la Trapananda, Universidad Austral de Chile, Portales 73, Coyhaique; e-mail: cmolinet@uach.cl

<sup>2</sup>Subsecretaría de Pesca, Gobierno de Chile

<sup>3</sup>Instituto de Ecología y Evolución, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile

## RESUMEN

La presencia del dinoflagelado tóxico *Alexandrium catenella* en las aguas interiores de la Patagonia noroccidental, fue registrada en la década de los 90. A partir de 1995 se iniciaron programas de monitoreo de fitoplancton orientados al seguimiento de este dinoflagelado y sus efectos sobre los mariscos en la Décima y Undécima Región de Chile, financiados por distintas instituciones. Esto permitió recolectar una importante base de datos, aunque incompleta en muchos aspectos debido a la independencia de objetivos de los diferentes estudios. En esta revisión se agruparon todos los datos disponibles para buscar patrones que ayuden a la formulación de hipótesis sobre la dispersión e incidencia espacial y temporal de *A. catenella* en esta amplia zona y mucho más habitada que la Duodécima Región. Inicialmente se recolectaron muestras mensuales y desde fines de 2000 semanales tanto de fitoplancton como de mariscos en un número de estaciones que varió cada año. Desde fines de 1995 al 2002 se registraron cuatro floraciones de *A. catenella*, con intensidad y distribución variable, observándose una expansión de la distribución geográfica de esta especie hacia el norte (desde aproximadamente 45° 47' S en 1996 a 42° S, Chiloé en 2002). Las cuatro floraciones registradas fueron marcadamente estacionales, concentradas entre los meses de enero a marzo y coincidieron con los máximos registros del veneno paralizante de los mariscos. Los datos analizados sugieren que el origen de las floraciones de *A. catenella* en las aguas interiores de la región estaría asociada a la presencia de bancos de quistes, cuyo ciclo de vida se expresa con una variación bianual debido a la variación en condiciones ambientales que favorecen la germinación de estos organismos. La influencia de oscilaciones en el océano adyacente que estarían afectando las características de circulación general de las aguas interiores y las características de la columna de agua (e.g., temperatura), favorecerían o inhibirían el inicio de floraciones de *A. catenella*. El aumento de la distribución espacial de las floraciones de esta especie parece estar fuertemente influenciada por la deriva de aguas superficiales, originada principalmente por vientos y por las características de circulación de las aguas interiores.

**Palabras clave:** *Alexandrium catenella*, distribución, aguas interiores, sur de Chile.

## ABSTRACT

The presence of the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella* was first recorded during the early 1990s in the fjords and inland seas of the Chilean Northwest Patagonia. In 1995 regular phytoplankton monitoring programs were initiated with the financial support of different national institutions with the purpose of detecting these toxic dinoflagellates and assessing their effects on shellfish. During this period, an important but incomplete database was obtained, due mainly to the different work objectives of each monitoring program. In this paper we review the available data, searching for patterns that help us to gain insights into the temporal and spatial distribution of *A. catenella* in this region. During the early years (1995 to 1998) the sampling was undertaken monthly and since later 2000 onwards, samples were taken every week but in fewer sampling stations. Phytoplankton and shellfish samples were collected in the same stations but these varied in number every year. From late 1995 to 2002 four toxic algae blooms of *A. catenella* were recorded with different intensity and distribution patterns. However, a pattern became apparent when the distribution was expanding northwards (from 45° 47' S in 1996 to 42° S, Chiloé in 2002). All four algae blooms recorded were

highly seasonal (spanning from January to March) and were correlated with the highest paralytic shellfish poisoning (PSP) records. We suggest that benthic cyst beds are a very important factor in initiating toxic dinoflagellate blooms of *A. catenella* in the fjords and inland seas of southern Chile, whose life cycle shows a biannual occurrence, possibly due to variations in environmental conditions. This apparent cycle could be a response to oscillations in the neighbor ocean affecting general circulation patterns as well as water column features (e.g., temperature) of inland seas, favoring or inhibiting these toxic blooms. Expanding spatial distribution of *A. catenella* blooms seems to be strongly related to surface water drift driven by wind forcing as well as by circulation features of inland seas in northwest Patagonia in southern Chile.

**Key words:** *Alexandrium catenella*, distribution, inland seas, southern Chile.

## INTRODUCCIÓN

Los registros mundiales de ocurrencia y ampliación de la distribución geográfica de dinoflagelados tóxicos se ha incrementado notablemente desde 1970, año en que solo se registraban floraciones tóxicas en aguas templadas de Europa, Norteamérica, Rusia, México y Japón. En la actualidad se ha reportado su presencia en aguas del hemisferio sur incluyendo Sudáfrica, Australia, Nueva Zelanda, India, Tailandia, Filipinas, Nueva Guinea, Brunei, Corea, Argentina y Chile (Park & Kim 1967, Lembeye 1981a, Hallegraeff 1995, Cortés et al. 1996, Lembeye et al. 1996<sup>1</sup>, Matthews & Pitcher 1996, Piumsomboon et al. 2001, Guzmán et al. 2002, Orlova et al. 2002).

En Chile, las mareas rojas tóxicas, están asociadas principalmente a los dinoflagelados *A. catenella* y *Dinophysis acuta* Ehrenberg 1839. Ambos tipos han sido reportados en los ecosistemas de canales y fiordos de la Patagonia chilena (Guzmán et al. 1975, 1993, 1997, 1998, Lembeye 1981a, 1981b, Lembeye et al. 1975, 1993, 1997, 1998, Lembeye & Sfeir 1996, Uribe 1988, Muñoz et al. 1992, Molinet et al. 1998, Guzmán et al. 2002). Los primeros registros de *A. catenella* en Chile fueron hechos en 1972 en la zona sur de Magallanes (Guzmán et al. 1975, Lembeye et al. 1975), posteriormente se registraron floraciones de esta especie en 1981 y 1989 (Lembeye 1981a, Uribe 1988) y desde 1991 a la fecha (Guzmán et al. 2002), ampliando su distribución de sur a norte.

En las aguas interiores de la Patagonia noroccidental (región que comprende las aguas al interior de la línea de base entre el Seno Reloncaví por el Norte y la Península de Taitao por el

sur) el primer registro del dinoflagelado *A. catenella* se realizó en 1992 (Muñoz et al. 1992). Posteriormente Uribe et al. (1995) detectaron bajas concentraciones de *A. catenella* entre enero y mayo de 1994 y a partir de septiembre y hasta diciembre del mismo año.

La presencia de este organismo ha provocado la muerte de ocho personas y más de 100 intoxicados a marzo de 2002. El daño a las economías locales de Chiloé y Aysén ha sido importante, afectando la extracción de mariscos en bancos naturales y la cosecha en cultivos de bivalvos (Mitílidae) principalmente. A nivel mundial, el origen de las floraciones algales nocivas ha sido ampliamente discutido y existe un consenso en que su aparición está estrechamente relacionada con condiciones óptimas para el crecimiento poblacional y/o germinación de quistes de las especies involucradas, como temperatura, salinidad, nutrientes, estratificación térmica, influencia de vientos y corrientes (Guzmán et al. 1975, Anderson & Wall 1978, Franks & Anderson 1992, Jellet 1993, Anderson 1999, Vila et al. 2001, Amorín et al. 2002). En muchos lugares, las floraciones tienden a ser fenómenos costeros que co-ocurren con la disminución de la salinidad por descarga fluvial, lluvia y desahúe de terrenos (Weise et al. 2002), sin embargo, a menudo se producen brotes en salinidades relativamente elevadas (Haltead & Schantz 1984, Dahl & Johannessen 2001).

Desde 1996 a 2002 se han registrado cuatro afloraciones de *A. catenella* en la Patagonia noroccidental, con intensidad y distribución variables (Lembeye et al. 1997, 1998, Molinet et al. 1998, Guzmán et al. 2002, Molinet & Lafón 2002). Sin embargo, se han observado patrones de estacionalidad y variabilidad interanual hasta ahora no registrados en la literatura. En el presente trabajo se agruparon todos los datos disponibles para buscar patrones que ayuden a la formulación de hipótesis sobre la dispersión e incidencia espacial y temporal de *A. catenella* en las aguas interiores de la Patagonia noroccidental y contribuir en futuros estudios sobre el tema.

<sup>1</sup> LEMBEYE G, D COMPAGNON, C MOLINET, N MARCOS & A SFEIR (1996) Presence of paralytic shellfish poisoning in mollusks *Concholepas concholepas* y *Argobuccinum ranelliformis*. Congreso de Malacología, Universidad de Chile. Journal of Medical and Applied Malacology 18: 27.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La información presentada en este trabajo fue recolectada de estudios realizados por seis proyectos de investigación y de monitoreo entre 1995 y 2002: (1) FIP 95/23b "Monitoreo de la marea roja en las aguas interiores de la Décima y Undécima Región" (Fondo de Investigación Pesquera); este monitoreo se realizó entre octubre de 1995 y diciembre de 1996, con 13 estaciones de muestreo de fitoplancton, mariscos y factores abióticos entre 42° S y 45° 47' S, aproximadamente. (2) FIP 97/49 "Seguimiento de la toxicidad de recursos pesqueros de importancia comercial en la Décima y Undécima Región" (Fondo de Investigación Pesquera). (3) "Seguimiento de la marea roja en el recurso loco (FNDR, Gobierno Regional de Aysén); este proyecto y el anterior se realizaron entre marzo de 1997 y mayo de 1998, con 32 estaciones de muestreo de fitoplancton, mariscos y factores abióticos, entre aproximadamente 42° S y 45° 47' S. (4) "Programa Chile Austral" (Unión Europea-Gobierno de Chile) y "Desarrollo de la acuicultura en cuatro localidades" (F.N.D.R. Gobierno Regional de Aysén); desde mayo de 1997 a 2002, ha permitido mantener tres estaciones fijas en Raúl Marín Balmaceda, Santo Domingo y Puerto Gala. (5) "Programa de monitoreo de mariscos del Servicio de Salud Aysén (F.N.D.R.-Gobierno Regional de Aysén); este programa data de 1991, fecha desde la que se ha recolectado y analizado muestras de mariscos con periodicidad aproximadamente mensual. (6) Programa sanitario de moluscos bivalvos

(PSMB) del Servicio Nacional de Pesca (financiado por empresas privadas); este programa abarca las zonas de cultivo y bancos naturales desde el extremo sur de la Isla de Chiloé hasta el Seno de Reloncaví. Para esta revisión solo se consideraron los datos del año 2002.

*Expediciones y áreas de muestreo*

En la Tabla 1 se muestra el número de expediciones y estaciones visitadas mensualmente por cada expedición entre 1995 y 2002. La mayor regularidad observada entre octubre de 1995 y mayo de 1998 se debe al financiamiento de los proyectos del Fondo de Investigación Pesquera y F.N.D.R.- Gobierno Regional de Aysén, durante ese período. Posterior a esa fecha no ha existido financiamiento directo para monitoreo de fitoplancton o seguimiento oceanográfico en la Undécima Región, mientras que en la Décima Región se ha mantenido un programa permanente de monitoreo de fitoplancton a través de el PSMB del SERNAPESCA.

*Recolección de muestras*

Para este trabajo se consideraron las muestras de fitoplancton recolectadas entre octubre de 1995 y mayo de 2002 con red de 30 µm. En todos los casos se utilizaron redes de 35 cm de diámetro de boca y 1 m de longitud. Entre 1995 y 1998 se realizaron dos colectas verticales por sector de muestreo (distantes 100 a 200 m) desde 30 a 0 m de profundidad. El volumen total del agua filtrada (2.886 L) de los dos lan-

TABLA 1

Número de expediciones por mes y número de estaciones muestreadas por mes (en paréntesis) entre octubre 1995 a mayo de 2002 en la aguas interiores de la Patagonia noroccidental, Chile.

En los espacios en blanco no hubo recolección de muestras

Number of monitoring expeditions and stations sampled per month (in parenthesis) on inland seas off northwest Patagonian, Chile from October 1995 to May 2002. Empty cells indicate no sampling

Mes	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Enero		1 (22)		1 (29)	1 (1)	3 (6)	4 (3)	4 (47)
Febrero		1 (22)		1 (33)	1 (1)	2 (4)	4 (3)	4 (40)
Marzo		1 (22)	1 (19)	1 (33)	1 (1)	1 (3)	4 (3)	4 (8)
Abril		1 (22)	1 (33)	1 (33)		2 (1)	4 (3)	4 (5)
Mayo		1 (22)	1 (33)	1 (33)			4 (3)	4 (4)
Junio		1 (22)			1 (3)	1 (1)	4 (3)	
Julio			1 (33)				4 (3)	
Agosto		1 (22)	1 (33)			2 (3)	4 (3)	
Septiembre						2 (2)	4 (4)	
Octubre	2 (22)	1 (22)	1 (33)		2 (2)	4 (3)	4 (4)	
Noviembre	1 (22)	1 (22)	1 (33)		2 (2)	4 (3)	4 (4)	
Diciembre	1 (22)	1 (22)	1 (33)		2 (2)	4 (3)	4 (4)	

ces se llevó a un volumen de 1 L y la muestra se fijó con lugol para su posterior análisis. Entre 1999 y 2002 se aplicó la misma metodología antes descrita, aunque utilizando botellas de 500 mL para el almacenamiento de las muestras. Las muestras se observaron en un microscopio Olympus BH2 con contraste de fase y Carl Zeiss. Para la estimación de la abundancia se contaron cinco alícuotas de 1 mL en celdas Sedgewick-Rafter, utilizando un aumento de 100x y/o 200x. Los resultados se expresaron en número de células por litro, promedio integrado de la columna de agua. Para el cálculo de la abundancia, el valor promedio de los conteos se multiplicó por el factor 0,346 (1000 volumen muestra/2886 volumen total filtrado) ó 0,173 (500 volumen muestra/2886 volumen total filtrado).

Entre el año 1997 y 1998 se recolectaron muestras estratificadas utilizando una botella Ruttner vertical. Estas muestras fueron tomadas en superficie, 5, 10, 15, 20 y 30 m de profundidad, las que fueron almacenadas en botellas de 150 mL y fijadas con lugol. Para la observación y cuantificación de estas muestras se utilizó un microscopio Olympus con contraste de fase en cubetas Sedgewick-Rafter de 1 mL. En los casos de escasa abundancia de las especies tóxicas pesquisadas, se concentró por filtración de la muestra, haciéndola pasar primero por una malla de 10  $\mu$ m, efectuando luego nuevamente el conteo de estos taxa.

La metodología utilizada por el PSMB consiste en una muestra integrada de 0 a 15 m con manguera, razón por la que estos datos fueron transformados utilizando una función red -botella en estrato. Para esto se promedió las muestras de superficie a 20 m del año 1998 y se

las correlacionó con las de red de los mismos períodos y estaciones. De esta forma se obtuvo una relación que explicó el 89 % de la variación y que permitió transformar los datos cuantitativos, del PSMB, a cualitativos.

Los mariscos fueron recolectados por buceo autónomo y analizados por el método de bioensayo con ratón (AOAC 1990). Los resultados de los análisis presentados en este trabajo fueron obtenidos en el Laboratorio de Marea Roja del Servicio de Salud Aysén.

Para esta revisión solo se consideraron los registros de temperatura y salinidad obtenidos entre 1995 y 1998, con un analizador de agua YSI 30 en todas las estaciones de muestreo. Información sobre la variación mensual de la dirección y velocidad del viento para los años 1996, 1998 y 2002 fue obtenida de la Dirección Meteorológica de Chile, Estación Quellón.

#### Análisis de datos

Para la elaboración de mapas de distribución espacio temporal de *A. catenella* se utilizó el programa Surfer 7.0 (Golden Software), utilizando el algoritmo de mínima curvatura, que fue el que se ajustó mejor a los datos, a través de un ajuste por mínimos cuadrados. Finalmente, se evaluó la relación de la temperatura y la abundancia de *A. catenella* en los períodos en que esta especie floreció. Para la estandarización de una escala de abundancia de *A. catenella* en las muestras integradas se estableció una escala basada en la propuesta por Guzmán et al. (2002), con modificaciones debido a las diferencias en los órdenes de magnitud de las abundancias registradas en la Undécima Región para la recolección de muestras con red (Tabla 2).

TABLA 2

Escala de abundancia de *A. catenella* para recolecciones de red entre 30 y 0 m de profundidad, obtenidas como promedio de cinco conteos de 1 mL en cámara Sedgewick-Rafter, multiplicado por el factor 0,346 ó 0,173 para su expresión en células L<sup>-1</sup>

Standardized abundance scale of *A. catenella* for net collections from 30 to 0 m depth, obtained by averages of five counts of 1 mL in Sedgewick-Rafter camera and multiplied by the 0.346 or 0.173 factors

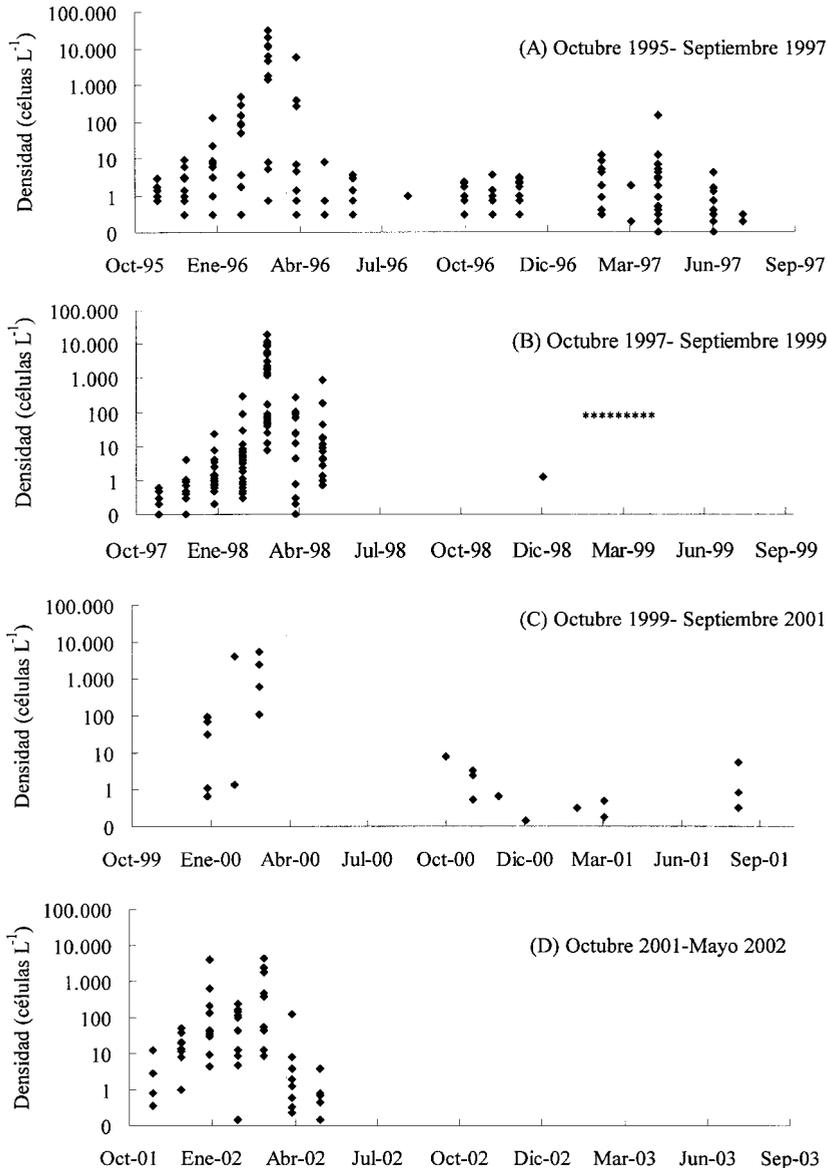
Escala nominal	Escala ordinal	Células L <sup>-1</sup>
Ausente	0	0
Raro	1	0,1-1
Escaso	2	1,1-10
Regular	3	11-100
Abundante	4	101-1.000
Muy abundante	5	1.001-10.000
Extremadamente abundante	6	> 10.000

## RESULTADOS

*Distribución y abundancia temporal de Alexandrium catenella*

Entre octubre y diciembre de 1995 *A. catenella* se registró en abundancia rara a escasa (Fig. 1A). En enero de 1996 la abundancia fue regu-

lar en la estación extremo sur ubicada en 45° 47' S (Fig. 2A.1). En febrero del mismo año se observó registros abundantes y muy abundantes en el sur del área de estudio con límite en aproximadamente 45° 10' S (Fig. 2B.1). A comienzos de marzo registros muy abundantes a extremadamente abundantes se mantuvieron aproximadamente entre 45° 47' y 45° 10' (Fig.



*Fig. 1:* Distribución temporal de las floraciones de *A. catenella* registradas en la Patagonia noroccidental entre octubre de 1995 y mayo de 2002 en muestras de red de 0 a 30 m de profundidad: (A) octubre de 1995 a septiembre de 1997, (B) octubre de 1997 a septiembre de 1999, (C) octubre de 1999 a septiembre de 2001, (D) octubre de 2001 a mayo de 2002. El eje Y está expresado en escala logarítmica; (\*) indica que no se recolectaron muestras.

Temporal distribution of *A. catenella* algae bloom in northwest Patagonian from 1995 to 2002 in net samples (0-30 m): (A) October 1995 to September 1997, (B) October 1997 to September 1999 (C) October 1999 to September 2001, (D) October 2001 to May 2002. The Y axis is expressed in logarithmic scale; asterisks (\*) indicate no data collected.

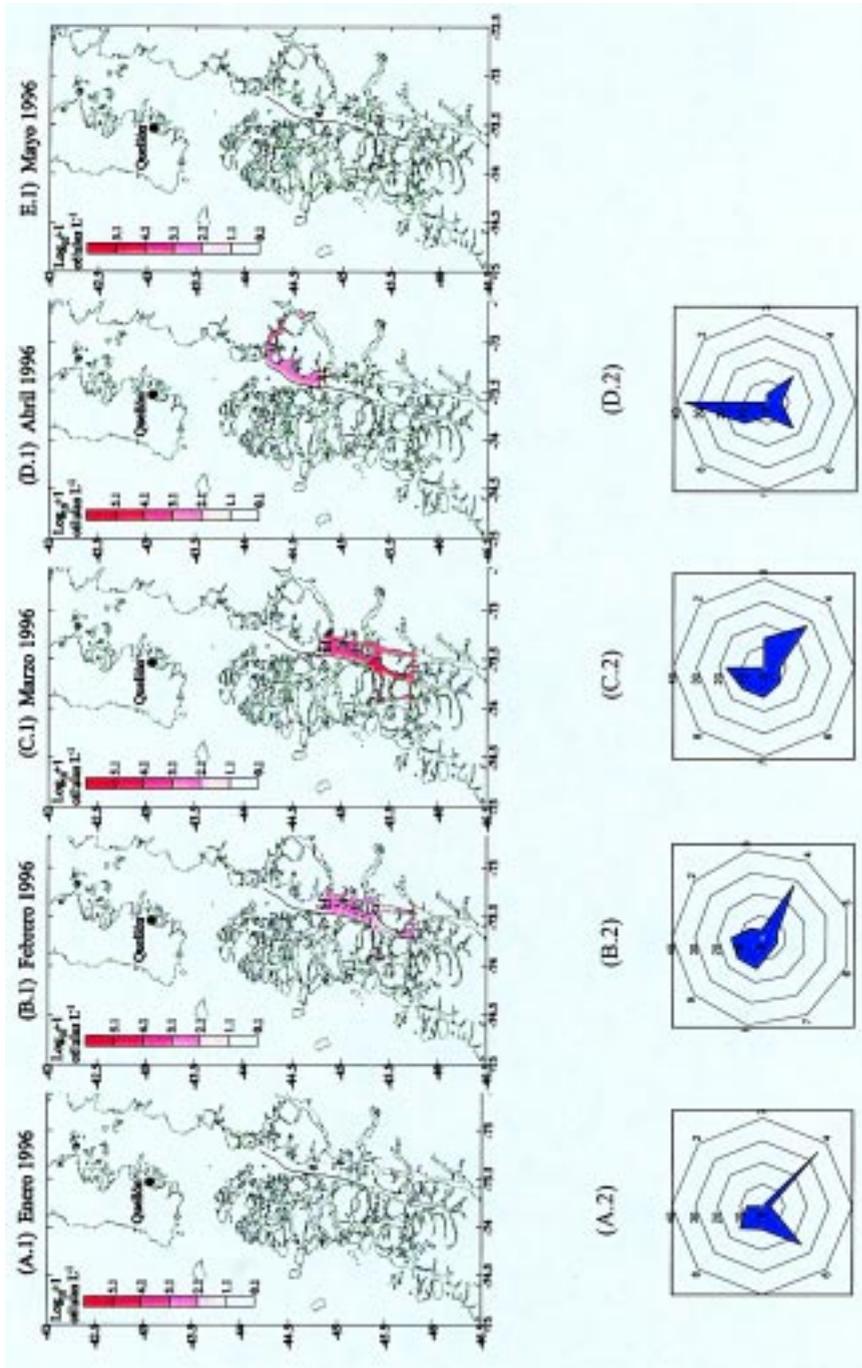


Fig. 2: Distribución de *A. catenella* registrada durante la floración de 1996 en muestras de red en el área de estudio y vientos predominantes en el mes. La abundancia de *A. catenella* está expresada en  $\text{Log}_{10}+1$  de células  $\text{L}^{-1}$ . Los vientos están expresados en porcentaje de la componente en el período. La componente de vientos está dividida en ocho direcciones: (1) Norte, (2) Noreste, (3) Este, (4) Sureste, (5) Sur, (6) Suroeste, (7) Oeste, y (8) Noroeste; (A) enero, (B) febrero, (C) marzo, (D) abril, (E) mayo. Para el mes de Mayo no se obtuvo la componente de viento. El círculo lleno muestra la ubicación de la Estación Meteorológica de Quellón (Chiloé).

Monthly distribution of *A. catenella* and predominant wind direction during the 1996 algal bloom in net samples. *A. catenella* abundance is shown logarithmic scale of cells  $\text{L}^{-1}$ . Wind direction is shown as a percentage during month. Key to wind direction is (1) North, (2) Northeast, (3) East, (4) Southeast, (5) South, (6) Southwest, (7) West, and (8) Northwest; (A) January, (B) February, (C) March, (D) April, (E) May. No data for wind direction during May is available. Filled circle shows the location of Meteorological Station of Quellón, southern Chiloé.

2C.1) con máximos de alrededor de 31.000 células L<sup>-1</sup> (Fig. 1A). En abril la registros regulares a abundantes se observaron en el centro del área de estudio, mientras que en el Sur estos fueron ausentes a raros (Fig. 2D.1). En mayo *A. catenella* no fue registrada (Fig. 2E.1), tal como sucedió en las estaciones de Chiloé durante todo el período de estudio. Desde junio a septiembre los registros fueron escasos y solo en el sector Sur del área de estudio (Fig 1A). Entre octubre y diciembre de 1996 se registraron raras y escasas muestras con *A. catenella* en la mayor parte de las estaciones. Desde marzo a junio de 1997 los registros fueron escasos a regulares, cuyo máximo valor registrado fue de 140 células L<sup>-1</sup>.

Desde octubre a diciembre de 1997 se registró un patrón similar a los años anteriores, con raros y escasos registros de *A. catenella* (Fig 1B). En enero de 1996 se observaron muestras regulares en el sur (Fig 3A.1), mientras que en febrero se registró *A. catenella* entre 45° 47' y 43° 47' S en muestras muy abundantes en el sur disminuyendo gradualmente hacia el norte, hasta raro y ausente en el extremo norte del área de estudio (Fig. 3B.1). En marzo los registros fueron abundantes a extremadamente abundantes (alrededor de 22.000 células L<sup>-1</sup> en muestras de red y unas 3.500 células mL<sup>-1</sup> en muestras de botella) (Fig. 1B y Fig 3C.1) hasta aproximadamente 44° S. En abril se observó abundancia regular a escasa y solo en el sector centro norte (Fig. 3D.1). En este período el límite norte de la distribución de *A. catenella* fue registrada en 43° 10' S (sur-este de Isla Chiloé). En mayo la abundancia de esta microalga disminuyó y solo se registró de escasa a regular alrededor del canal Jacaf (Fig. 3E). En 1999 *A. catenella* fue escasa en las muestras de plancton, mientras que en enero de 2000 fue muy abundante (alrededor de 5.000 células L<sup>-1</sup> en muestras de red) (Fig. 1B y 1C).

Durante 2001 los registros fueron escasos. La baja densidad de puntos en algunos períodos entre 2000 y 2001 se debe a que no se registró *A. catenella* en esa época (Fig. 1C).

Desde octubre a diciembre de 2001 se registraron abundancias raras a escasas. En el año 2002, la mayor abundancia inicial de *A. catenella* se observó en el Canal Jacaf (44° 20') a partir de la primera semana de enero (Fig 1.D). A fines de enero se registró en toda la zona Centro Norte del área de estudio (Fig. 4A.1). En febrero *A. catenella* fue abundante a muy abundante y aumentó su distribución hasta el extremo sur de Chiloé (Fig. 4B.1), mientras que en marzo de 2002 se registró en las cercanías de Dalcahue (aproximadamente 42° 10' S) (Fig.

4C.1). En este período pareció alcanzar su límite de distribución norte, ya que en abril y mayo la abundancia fue de regular a escasa y no se registraron células de *A. catenella* al norte de 42° 10' S (Fig. 4D.1 y 4E.1). La floración observada durante 2002 se registró más temprano en el verano y se observaron dos modas de abundancia, una en enero y otra en marzo. El patrón de estacionalidad se mantuvo, declinando la floración hacia comienzo de otoño

#### Alexandrium catenella y VPM

Los registros más altos de veneno paralizante de los mariscos son coincidentes con los períodos en que se registraron las mayores abundancias de *A. catenella* (Tabla 3). Los máximos registros corresponden a los años 1996, 1998, 2000 y 2002, mientras que los registros más bajos se obtuvieron en los años intermedios (1997, 1999 y 2001), principalmente en la zona sur del área de trabajo.

#### Distribución vertical de las floraciones

La distribución vertical de la floración de *A. catenella* en un transecto sur norte (Fig. 5A) durante 1998, muestra la distribución estratificada de esta con dos focos iniciales, uno en el extremo Sur del área de estudio y el otro en la zona centro-norte (Fig. 5B). Durante febrero se observó un aumento de la abundancia de *A. catenella* hacia el norte, manteniendo una marcada estratificación entre 0 y 30 m de profundidad (Fig. 5C). En marzo, se registra la mayor densidad en el extremo sur del área de estudio con alrededor de 3.500 células mL<sup>-1</sup>, mientras que la densidad en profundidades mayores se mantuvo uno o dos órdenes de magnitud más baja (Fig. 5D). En abril y mayo la distribución de *A. catenella* está confinada al sector de canal Jacaf, ya en baja densidad (Fig. 5E y 5F).

#### Vientos predominantes

Para el período enero-abril de 1996, los vientos registrados muestran predominio de la componente sur en enero (sureste, suroeste) durante más de la mitad del mes (Fig. 2A.2). En febrero, predominó la componente sur, con una componente norte difusa (Fig. 2B.2), mientras que en marzo, vientos sur este y noroeste fueron los más frecuentes del período (Fig. 2C.2). En abril la componente norte fue predominante (Fig. 2D.2). En enero de 1998, no se aprecia un marcado predominio de los vientos aunque fueron más frecuentes vientos del sur este y noroeste (Fig. 3A.2). En febrero predominó la compo-

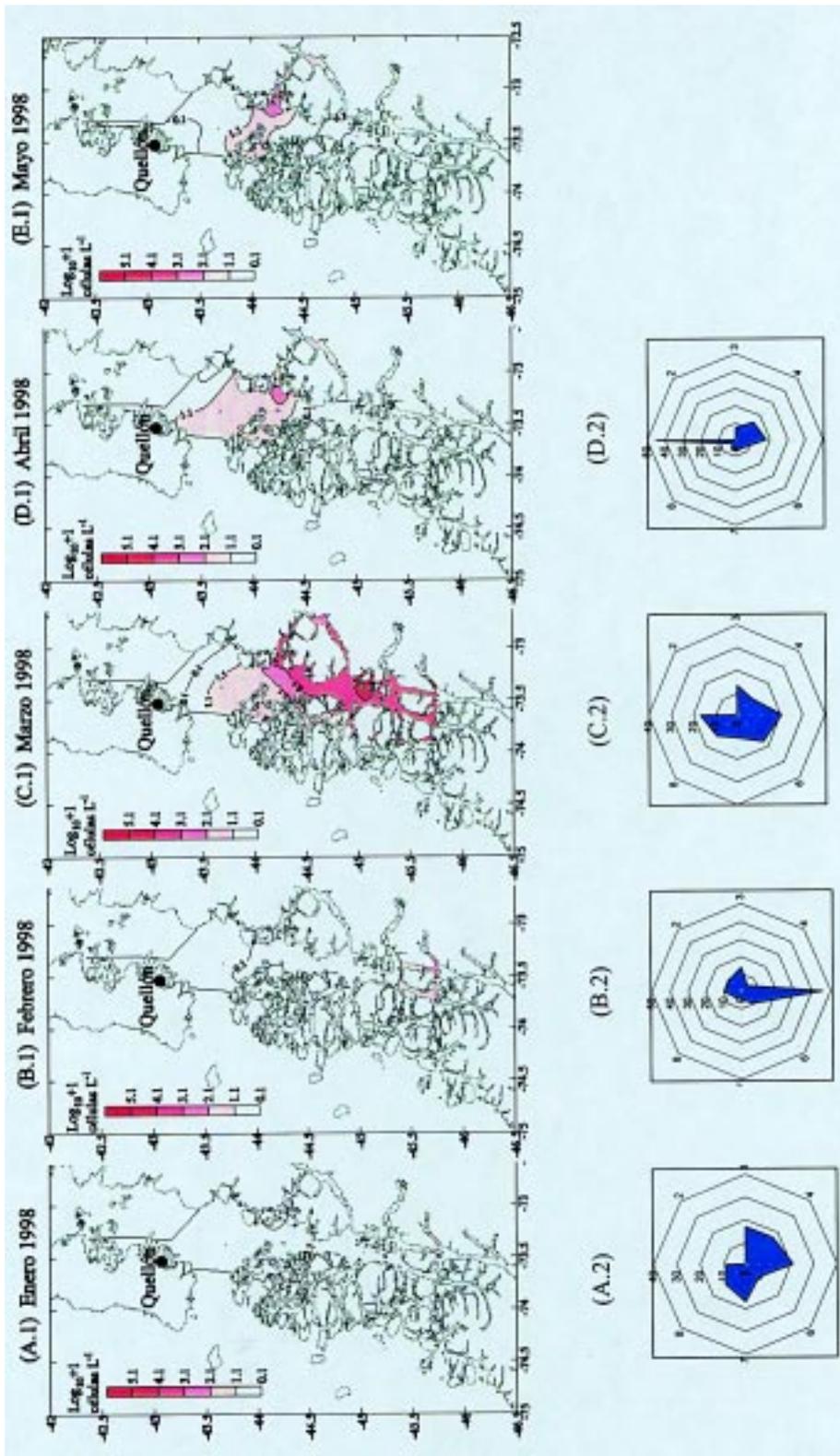


Fig. 3: Distribución de *A. catenella* registrada durante la floración de 1998 en muestras de red en el área de estudio y vientos predominantes para cada mes. La abundancia de *A. catenella* está expresada en  $\text{Log}_{10} + 1$  de células  $\text{L}^{-1}$ . La componente de vientos está dividida en ocho direcciones: (1) Norte, (2) Nor-este, (3) Este, (4) Sureste, (5) Sur, (6) Suroeste, (7) Oeste, y (8) Noroeste. (A) enero, (B) febrero, (C) marzo, (D) abril, (E) mayo. Para el mes de Mayo no se obtuvo la componente de viento.

Monthly distribution of *A. catenella* and predominant wind direction during the algal bloom of 1998 in net samples. The abundance of *A. catenella* is shown in a logarithmic scale of cells  $\text{L}^{-1}$ . Key to wind direction is (1) North, (2) Northeast, (3) East, (4) Southeast, (5) South, (6) Southwest, (7) West, and (8) Northwest; (A) January, (B) February, (C) March, (D) April, (E) May. No data for wind direction during May is available.

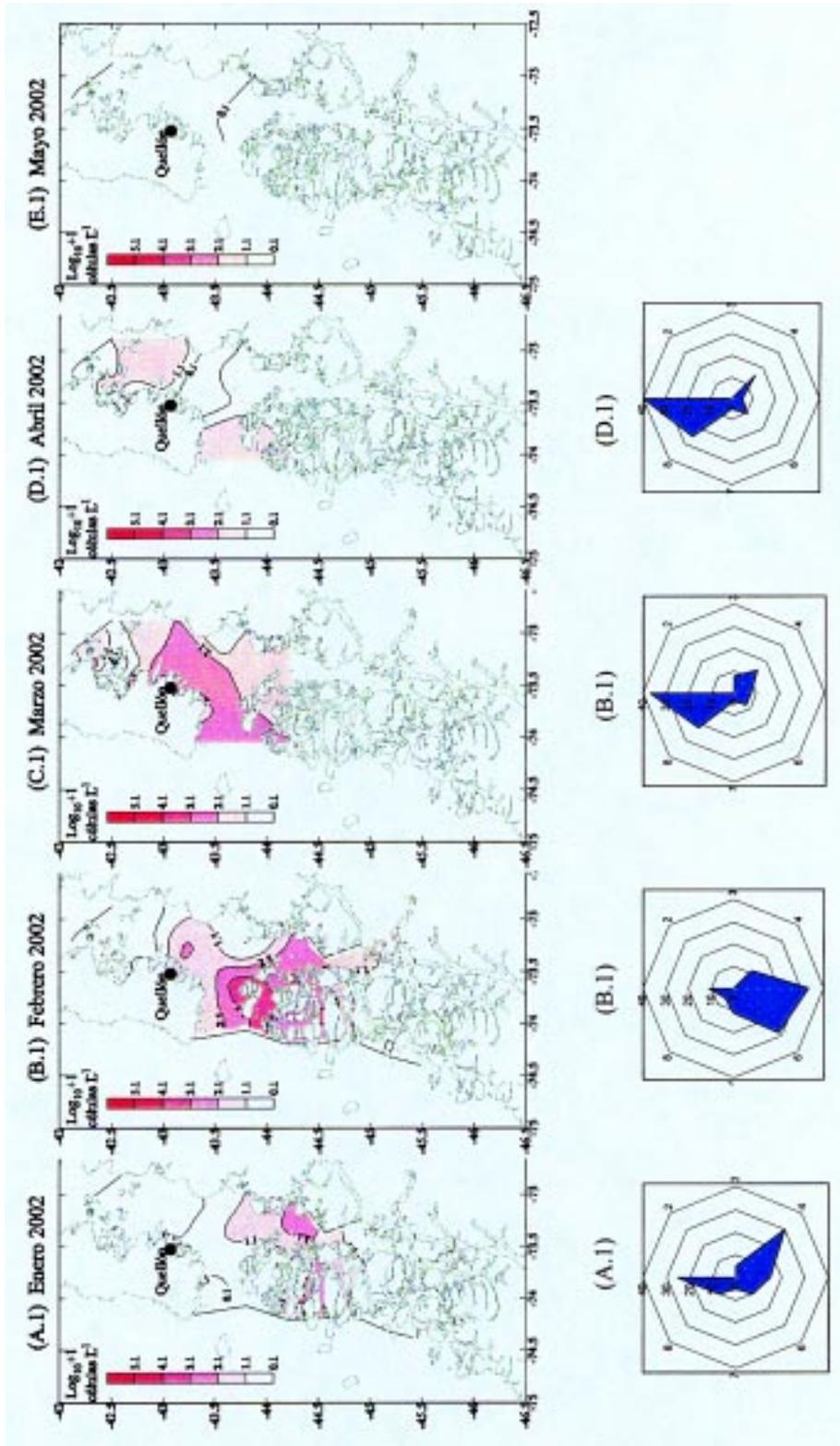


Fig. 4: Distribución de *A. catenella* registrada durante la floración de 2002 en muestras de red en el área de estudio y los vientos predominantes para el mes correspondiente. La abundancia de *A. catenella* está expresada en  $\text{Log}_{10} + 1$  de células  $\text{L}^{-1}$ . La componente de vientos está dividida en ocho direcciones: (1) Norte, (2) Noreste, (3) Este, (4) Sureste, (5) Sur, (6) Suroeste, (7) Oeste, y (8) Noroeste. (A) enero, (B) febrero, (C) marzo, (D) abril, (E) mayo. Para el mes de Mayo no se obtuvo la componente de viento.

Monthly distribution of *A. catenella* and wind direction during algal bloom of 2002 in net samples in study area. *A. catenella* abundance is shown in a logarithmic scale of cells  $\text{L}^{-1}$ . Wind direction is shown as a percentage during month. Key to wind direction is (1) North, (2) Northeast, (3) East, (4) Southeast, (5) South, (6) Southwest, (7) West, and (8) Northwest; (A) January, (B) February, (C) March, (D) April, (E) May. No data for wind direction during May is available.

TABLA 3

Máximos registros de veneno paralizante de los mariscos (VPM) entre los años 1996 a 2002 obtenidos por el Laboratorio de Marea Roja del Servicio de Salud de Aysén, utilizando el método de Bioensayo Ratón. Excepto para el año 2002, durante todos los años los registros máximos corresponden a la zona sur del área de estudio

Maximal records of paralytic shellfish poisoning (PSP) analyzed in the Laboratorio de Marea Roja del Servicio de Salud de Aysén, following the standard mouse bioassay method. Except for year 2002, the highest records of PSP were observed in the south of the study area

Año	Recurso	Latitud (sector)	VPM ( $\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ gr}^{-1}$ )
1996	Chorito	45° 15' S (Islas Huichas)	107.129
1997	Cholga	45° 47' S (Quitralco)	1.080
1998	Chorito	45° 47' S (Quitralco)	99.742
1999	Almeja	45° 45' Colonia Grande	1.428
2000	Cholga	45° 47' S (Quitralco)	22.170
2001	Almeja	45° 45' Colonia Grande	1.575
2002	Almeja	44° 10' S Isla Gala	≈ 22.000

nente sur del viento (70 %) (Fig. 3B.2), igual que en marzo pero con menor frecuencia de vientos de la componente sur (47 %) y con aportes de la componente norte (30 %) (Fig. 3C.2). En abril de 1998, dominó la componente norte de viento, similar a lo observado en 1996 (Fig. 3D.2).

Durante enero de 2002 se registraron vientos predominantes del sur este (55 %) y norte (35 %) (Fig. 4A.2), mientras que en febrero dominaron vientos del sur-suroeste (70 %) (Fig. 4B.2). En marzo y abril de 2002 predominaron vientos del norte-noroeste (70 %) (Fig. 4C.2 y 4D.2).

### Temperatura

De los registros obtenidos entre 1995 y 1998 se observa que la temperatura del área de estudio muestra un ciclo anual de mínimas de hasta 8.5 °C (en invierno) en agua de mar y máximas de hasta 18 °C en bahías protegidas (en verano). En 1996 se registraron variaciones de la temperatura en la columna de agua desde alrededor de 10 °C en noviembre a un promedio de 12 °C en enero. Este promedio siguió aumentando en febrero y comienzos de marzo disminuyendo en abril de 1996 a menos de 12 °C en la mayor parte del área de estudio. En mayo la temperatura fue menor que 11 °C. En el período noviembre de 1996-mayo de 1997 la temperatura registrada en el área de estudio fue más baja en alrededor de 1 °C en relación al período anterior.

En noviembre de 1997 se registraron temperaturas casi 1 °C más que en el período anterior, lo que se repitió en diciembre. Entre enero y

marzo de 1996 y 1998 la temperatura del agua en el área de estudio promedió alrededor de 12.5 a 13 °C entre 0 y 20 m, mientras que en abril y mayo descendió lentamente (Fig. 6). Se observó que la temperatura promedio del agua durante períodos con floraciones de *A. catenella*, fue mayor que en el período que esta no se registró. Sin embargo, un análisis de correlación no registró una relación entre *A. catenella* y la temperatura de agua, ( $R^2 = 0,0049$ ) (Fig. 7).

Entre febrero y marzo de 1998 se observaron las máximas variaciones en la abundancia de *A. catenella*, recolectada en muestras de botella en la zona sur del área de estudio. En este período la abundancia promedio aumentó de 2,66 células  $\text{mL}^{-1}$  a alrededor de 354 células  $\text{mL}^{-1}$  (Fig. 8). El período de incremento de la densidad de *A. catenella* en 1998, coincidió con un aumento en la temperatura de la columna de agua, aunque no se observó una relación directa entre estas dos variables (Fig. 8).

### DISCUSIÓN

#### *Dinámica de las floraciones de A. catenella*

Hasta ahora la dinámica de las floraciones de *A. catenella* en la Patagonia noroccidental ha seguido patrones generales que aún no han podido ser explicados. La distribución temporal de las floraciones ha sido estacional, concentrándose entre los meses de enero y marzo, declinando en abril. Este mismo patrón estacional ha sido observado en el mar Mediterráneo (Vila et

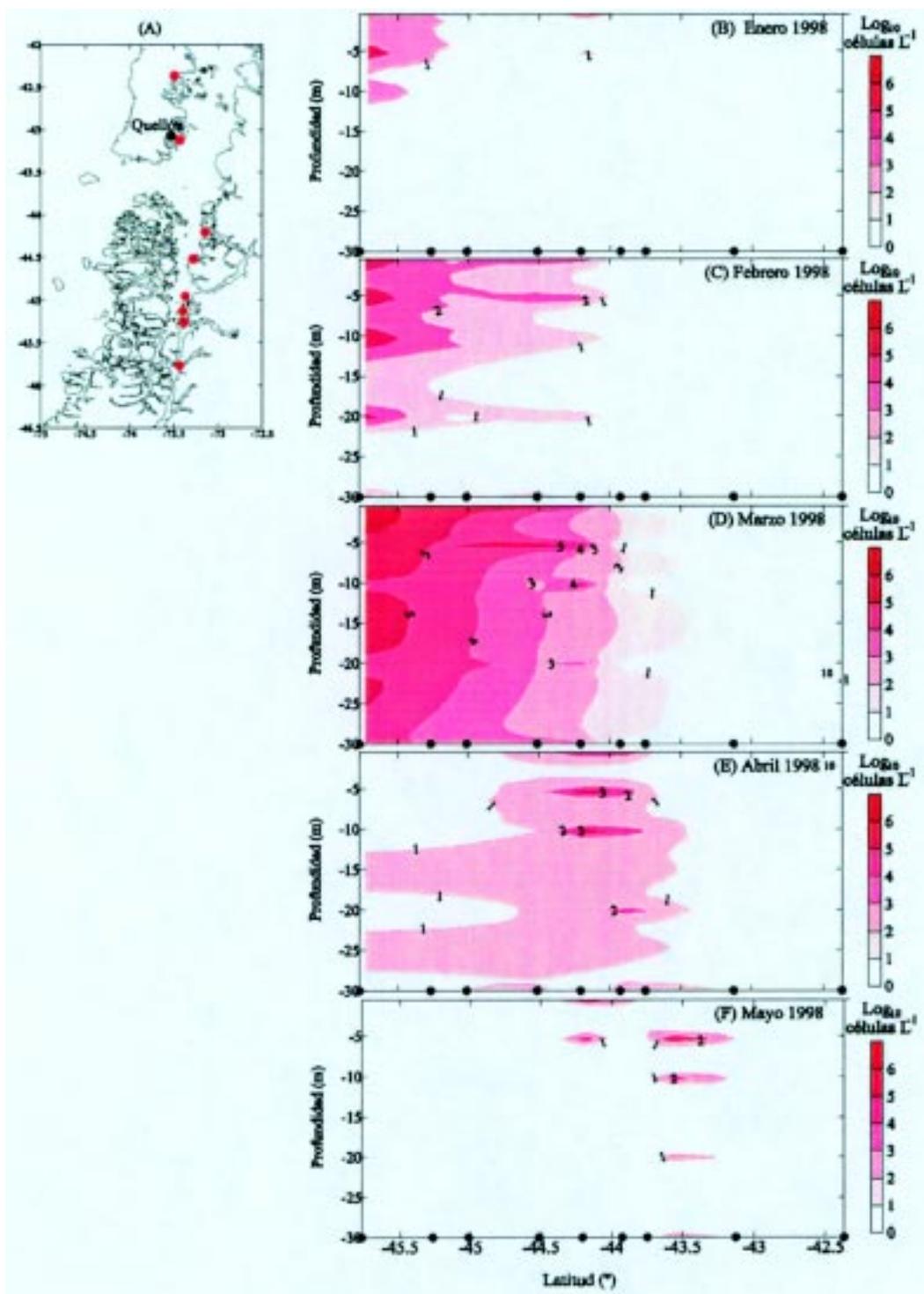


Fig. 5: Distribución vertical de *A. catenella* en un perfil Sur-Norte a lo largo del Canal Moraleda en 1998 de muestras recolectadas con botella a 0, 5, 10, 15, 20 y 30 m de profundidad. (A) Ubicación de las estaciones, (B-F) evolución de los registros de la floración entre enero y mayo de 1998. Los círculos en el eje X muestran la ubicación de las estaciones de muestreo en el perfil.

Vertical distribution of *A. catenella* throughout a south to north transect in the Moraleda Channel (1998); samples were taken at surface, 5, 10, 15, 20, and 30 m depth. (A) Station location, (B-F) monthly records of *A. catenella* from January to May. Solid circles in X axis shows station location along the transect.

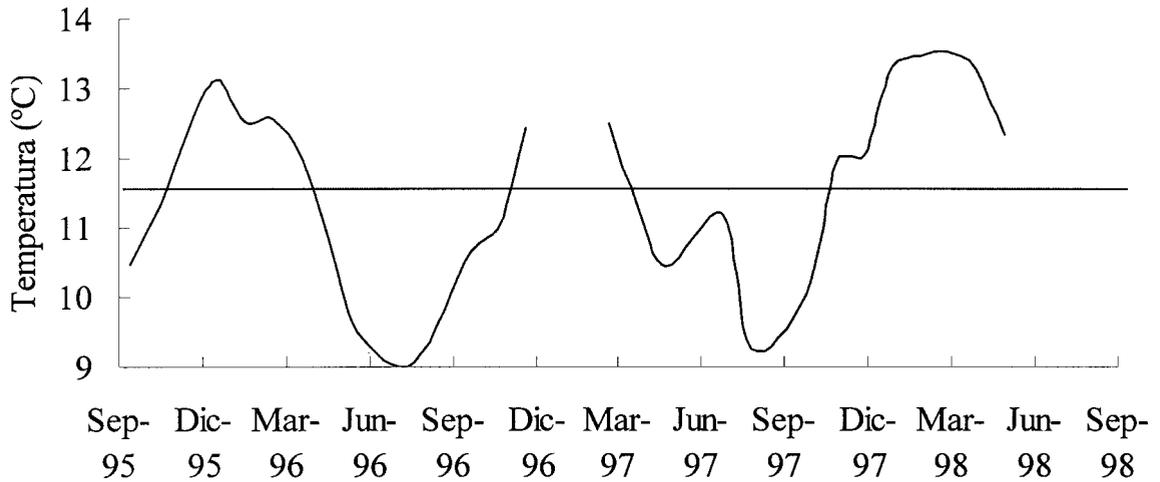


Fig. 6: Temperatura promedio de la columna de agua (0 a 30 m de profundidad) en el área centro-sur de la Patagonia noroccidental (44° S a 45° 47' S), entre octubre de 1995 y mayo de 1998. La línea en 11.5 °C se utiliza como punto de referencia que muestra el registro de las menores temperaturas durante el período estival 1996-1997, en el que no se registraron floraciones de *A. catenella*.

Mean water temperature between 0–30 m in the study area from October 1995 to May 1998. Line in 11.5 °C is a reference point that shows the lowest annual temperatures during summer time in 1996-1997.

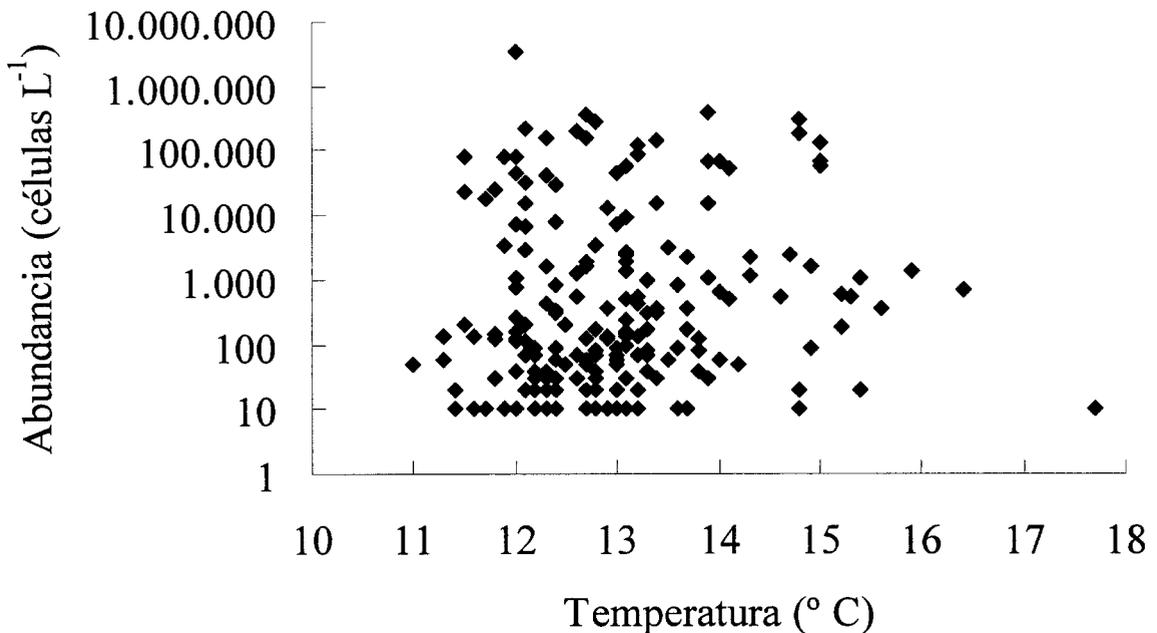


Fig. 7: Muestras de *A. catenella* recolectadas con botella y a diferentes temperaturas del agua durante el año 1998. El eje Y está expresado en escala logarítmica;  $R^2 = 0,049$ .

Relationship between the concentration of *A. catenella* (collected from bottle samples during 1998) and water temperature; Y axis shown in logarithmic scale;  $R^2 = 0.049$ .

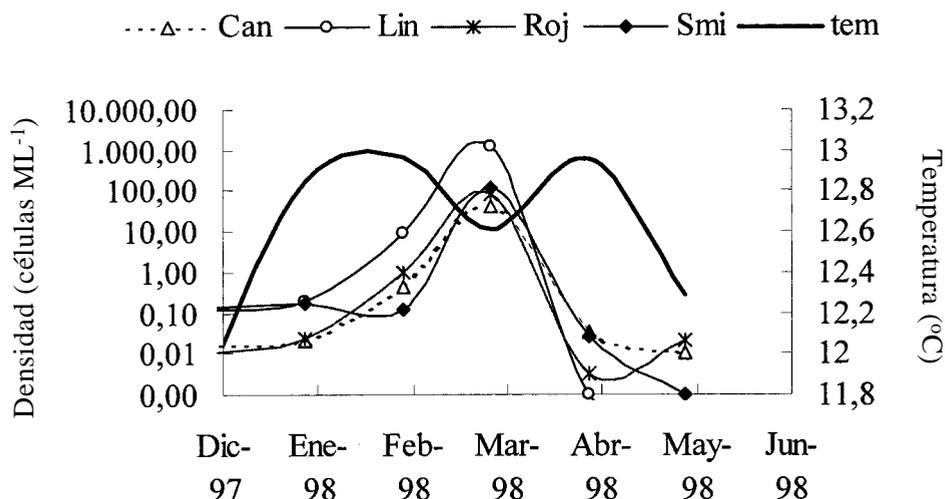


Fig. 8: Incremento de la abundancia de *A. catenella* para el período diciembre de 1997 a mayo de 1998 en muestras de botella en diferentes sitios del área de estudio. Canalad (Can), Punta Linch (Lin), Isla Rojas (Roj), Islas Smith (Smi) y temperatura promedio (Tem) de la columna de agua durante el mismo período.

Abundance increase of *A. catenella* from December 1997 to May 1998 in different locations of the study area: Canalad (Can), Linch Point (Lin), Rojas Islands (Roj), Smith Isles (Smi), and mean temperature of sea water (Tem) during the same period.

al. 2001), en Bahía Hiroshima (Itakura & Yamaguchi 2001), Columbia Británica (Weise et al. 2002) tanto para especies del género *Alexandrium*, como para otras especies de dinoflagelados tóxicos (Taylor & Haigh 1996). En algunos casos el rango de la estacionalidad es mayor, como lo que ocurre en Magallanes con períodos observados entre septiembre y mayo de algunos años (Guzmán et al. 2002). Entre 1996 y 2002 en las aguas interiores de la Patagonia noroccidental se registra *A. catenella* con un patrón bianual, sin explicaciones claras respecto del origen de este comportamiento.

En la literatura se describen floraciones con periodicidad anual (Dahl & Johannessen 2001, Vila et al. 2001, Tsujino et al. 2002) en algunos casos con saltos de hasta seis años (Amorín et al. 2002) y en otros casos de manera irregular como lo observado en Magallanes (Guzmán et al. 1975, Lembeye et al. 1975, Lembeye 1981a, Uribe 1988, Guzmán et al. 2002).

La dinámica poblacional de las especies del género *Alexandrium* y otras especies de dinoflagelados tóxicos ha sido relacionada con la presencia de bancos de quistes, los que serían responsables del aumento de las poblaciones (Anderson & Wall 1978, Anderson et al. 1983, Cembella et al. 1988, Frank & Anderson 1992, Hallegraeff et al. 1998, Itakura & Yamaguchi

2001, Tsujino et al. 2002). Estos aumentos poblacionales se producirían principalmente en la época de primavera-verano, en ventanas óptimas de temperatura (Itakura & Yamaguchi 2001) o en relación con un aumento de esta variable (Anderson & Wall 1978, Anderson et al. 1983, Lembeye et al. 1998, Vila et al. 2001, Amorin et al. 2002). Esto coincide con lo observado en este trabajo para *A. catenella* por lo que se estima que umbrales de temperatura deben ser alcanzados para que los quistes de esta especie germinen, lo que se habría observado durante 1996 y 1998.

En el caso de *Alexandrium* sp. se ha descrito que quistes de esta especie necesitan un período de dormancia antes de germinar. Cambios estacionales en la habilidad de germinación ocurren como resultado de "dormancia mandatoria" o un reloj anual endógeno (Itakura & Yamaguchi 2001). Hallegraeff et al. (1998) reportó que en temperaturas de 13 a 25 °C quistes producidos por cultivos aislados exhibieron períodos de dormancia entre 28 a 55 días a 17 °C, mientras que en poblaciones temperadas de *A. catenella* de Japón este período es de 97 días a 23 °C. Este mismo autor propone que diferencias en el aislamiento geográfico del mismo taxón pueden tener diferentes requerimientos de dormancia de quistes, los cuales juegan roles

ecológicos diferentes. Este período de dormancia podría estar relacionado con el patrón bi-anual de floraciones de *A. catenella* observado hasta ahora en la Patagonia noroccidental.

La aparente focalización del origen de las floraciones detectado en 1996, 1998 y 2002 y los valores de abundancia registrados en algunos sectores, sugieren que la dinámica de las poblaciones es altamente dependiente de la existencia de bancos de quistes y su proceso de germinación. Lo anterior debido al fuerte incremento de la abundancia de *A. catenella* generalmente entre febrero y marzo, lo que parece ser demasiado alto para explicar una floración solo por crecimiento vegetativo, considerando que Vila et al. (2001) cita tasas de crecimiento específico de 0,47 a 0,55 d<sup>-1</sup> para esta especie en condiciones óptimas de laboratorio. Lo anterior no descarta la hipótesis de acumulación mecánica sugerida por Lembeye et al. (1998). Eilertsen & Wyatt (1998) evaluaron un modelo de dinámica poblacional de *Alexandrium tamarense* (Lebour) Balech 1992, lo que mostró que la presencia de bancos de quistes es más importante que variaciones en las condiciones hidrológicas y meteorológicas para el éxito de una floración.

#### *Origen de las floraciones de A. catenella*

El origen de las floraciones registradas hasta ahora en la Patagonia noroccidental puede ser explicado por la hipótesis de que estas son iniciadas cerca de la costa, asociadas a bancos de quistes y advectadas a lo largo de esta por plumas de agua de menor densidad que pueden permanecer atrapadas en la costa (Franks & Anderson 1992, Amorin et al. 2002, Sordo et al. 2001). Esto se puede apreciar en el patrón general de inicio de las floraciones en los años 1996, 1998 y 2002 y los incrementos mensuales en la abundancia de *A. catenella* entre febrero y marzo principalmente.

Esta hipótesis implicaría la existencia de bancos de quistes en la zona, los que hasta ahora no han sido registrados en altas densidades (Lembeye & Sfeir 1997, Seguel et al. 2002) ya que el máximo número de quistes de *A. catenella* recolectados en el área de trabajo fue 35 quistes cm<sup>-3</sup> (Seguel et al. 2002). Estos valores son considerados bajos comparados a los registros de Itakura & Yamahuchi (2001) y Tsujino et al. (2002), con alrededor de 1.000 quistes cm<sup>-3</sup> de *Alexandrium* sp. en la Bahía Hiroshima y bahías vecinas.

Se estima que las áreas más apropiadas para la acumulación de quistes en Chile deben ser bahías o canales abiertos al norte, con áreas de

retención, como lo sugiere Tyler et al. (1982) para *Gymnodinium* y Tsujino et al. (2002) para especies del género *Alexandrium*. Por otro lado, al observar las áreas de distribución de *A. catenella* al final de cada floración, estas coinciden con las áreas donde se han obtenido los primeros registros en el siguiente evento.

El aumento de la radiación ultravioleta debido al debilitamiento de la capa de ozono ha sido citado como un elemento de impacto sobre la fotosíntesis y ADN de fitoplancton marino (Helbling et al. 2001) y por lo tanto podría ser relevante en los eventos de floraciones de *A. catenella*, sin embargo hasta ahora no se cuenta con información de este tipo la que podría ser incorporada en futuros estudios, dada su relevancia y su posible relación con cambios de escala global.

#### *Dispersión de las floraciones de A. catenella*

Los patrones de dispersión observados los años 1996, 1998 y 2002 sugieren que las características de circulación general de las aguas interiores de la Patagonia noroccidental, propuesta por Silva et al. (1995, 1997, 1998) y la deriva de aguas superficiales producida por vientos, han sido los principales responsables de la distribución que ha alcanzado *A. catenella* en 2002, sobre todo si se considera que esta especie registra sus mayores abundancias entre 0 y 15 m de profundidad (Molinet et al. 1998, Lembeye et al. 1998). Esto coincide con lo propuesto para algunas especies del género *Alexandrium* (Parkhill & Cembella 1999) y *D. Acuta* (Ghode et al. 2002).

En el año 1996 la floración de *A. catenella*, iniciada en la zona sur del área de estudio, se expandió hacia el norte de su primer registro, y luego permaneció aparentemente atrapada al sur de la Constricción de Meninea (45°16'S, 73°38' O) hasta la primera semana de marzo. Esta constricción, descrita por Silva et al. (1995) separaría el "Sistema de Canales del Moraleda" en dos cuencas, una norte y una sur y bajo ciertas condiciones oceanográficas y meteorológicas limitaría el transporte neto hacia el norte (Salinas et al. 2002).

Los registros de vientos, obtenidos para este período, no muestran una relación clara entre la dispersión de *A. catenella* y la dirección predominante del viento. En las floraciones de 1998 y 2002 la dirección de los vientos predominantes coincide con la dispersión de estas; en 1998 hacia el norte de la región de Aysén y en 2002 hacia el mar interior de Chiloé y posteriormente acumulando la floración en la costa centro-oriental del área de estudio, lo que a la vez

explicaría las dos modas observadas durante 2002. Las variables meteorológicas han sido citadas como importantes moduladoras de la dispersión de floraciones algales y/o acumulación mecánica de las microalgas, como lo ha sugerido Lembeye et al. (1998). El rol que juegan los vientos en el desplazamiento de las masas de aguas superficiales ha sido documentado (Fraga et al. 1993, Sordo et al. 2001, Godhe et al. 2002, Weise et al. 2002), indicando que las floraciones algales se dispersan por los vientos predominantes o plumas de aguas costeras.

#### *Circulación general asociada a las floraciones de A. catenella*

La estructura de la columna de agua en la Patagonia noroccidental descrita por Silva et al. (1995, 1997, 1998), permite plantear que las floraciones de *A. catenella* hasta ahora registradas, se originarían entre las aguas superficiales subantárticas mezcladas (ASSAM) y aguas superficiales subantárticas (ASSA) y que su dispersión se realizaría por la primera capa, la que a su vez se vería influenciada por la deriva ocasionada por vientos. Entre estas dos capas debería ocurrir una interacción u oscilación que explique los patrones de ocurrencia de las floraciones, posiblemente relacionadas con oscilaciones en el océano adyacente que incluirían la Corriente de Deriva del Oeste (Strub et al. 1998) y la Onda Circumpolar Antártica, OCA (White & Peterson 1996). Esta última afecta la temperatura superficial del mar, la presión y la profundidad de la pycnoclina, provocando variación interanual que podría dar cuenta de variaciones en las aguas interiores que expliquen las floraciones de *A. catenella*.

Guzmán et al. (2002) proponen que en la zona de Magallanes las floraciones de *A. catenella* estarían asociadas a eventos de un pre-Niño Oscilación del Sur (ENSO) de alta intensidad. Reid et al. (2001) proponen que pulsos oceanográficos interdecadales y ondas de agua cálida superficial afectarían la composición de especies del plancton en el Atlántico norte. Esto coincide con observaciones de anomalías extratropicales de la temperatura superficial media en el Pacífico sur y la existencia de ondas que se propagarían desde el Pacífico Ecuatorial Occidental hacia el Pacífico Sur Oriental, afectando a las aguas interiores del sur de Chile (M. Cáceres comunicación personal).

La existencia de una oscilación bianual de la circulación atmosférica al nivel de la estratósfera, también podría estar relacionada con el patrón bianual hasta ahora registrado en el área de estudio. Esta es la llamada "oscilación casi-

bianual" (Quasi Biennial Oscillation (QBO)). Descrita por Reed (1961) y Veryard & Edbon (1961) (en Heaps et al. (2002), que da cuenta por las oscilaciones en la dirección del viento en la estratósfera sobre el Ecuador (Heaps et al. 2002, Holton 2002). Se ha demostrado que el viento en la estratósfera cambia de dirección sobre un promedio aproximado de 26 meses y que la alternancia de vientos este u oeste desciende con el tiempo. La fase de la QBO afecta a los huracanes en el Atlántico y en el Pacífico y es ampliamente usada como un pronóstico de huracanes, de lluvias y monzones. Ya sea a través de ENSO, OCA o QBO existe la probabilidad de que alguna de estas oscilaciones, o una interacción entre ellas, esté relacionada con oscilaciones en el océano adyacente de aguas interiores de la Patagonia noroccidental y que esto pueda explicar el patrón de registro bianual de floraciones de *A. catenella* que se han observado hasta ahora.

#### CONCLUSIONES

La distribución geográfica de *A. catenella* ha aumentado progresivamente hacia el Norte en cada floración; desde aproximadamente 45° 47' S en 1995 a 42° S, Chiloé, en 2002. Considerando los patrones mostrados en este trabajo en las aguas interiores y las características hidrodinámicas del sector, existe una alta probabilidad de que en los próximos años esta especie amplíe aún más su rango de distribución hacia el norte. Las floraciones de *A. catenella* en la Patagonia noroccidental muestran un patrón estacional, con registros muy abundantes y extremadamente abundantes entre enero y marzo de los años en que se registran floraciones. Entre 1995 y 2002 los registros de abundante a extremadamente abundante se han observado cada dos años lo que parece estar asociado a oscilaciones en la temperatura de las aguas interiores. De mantenerse este patrón, registros abundantes a extremadamente abundantes de *A. catenella* debieran observarse entre diciembre de 2003 a abril de 2004. El origen de las floraciones se encontraría asociado a la presencia de bancos de quistes, los que debieran ser ubicados principalmente en zonas de retención de partículas, en los que se obtuvieron los últimos registros de *A. catenella*. La predicción de esta hipótesis indicaría que una nueva floración tendría origen en la zona centro norte del área de trabajo, aproximadamente entre 43° 10' y 44° 30' hacia la costa este.

La dispersión, acumulación y duración de nuevas floraciones estará en directa relación

con los vientos predominantes durante el período que esta se produzca. Las oscilaciones bi-anales en las abundancias de *A. catenella* en las aguas interiores de la Patagonia noroccidental podrían ser explicadas por oscilaciones en el océano adyacente que afecten las características de estas aguas y generen condiciones apropiadas para la germinación masiva de quistes.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Fondo de Investigación Pesquera, Gobierno Regional de Aysén, Laboratorio de Marea Roja del Servicio de Salud Aysén, Programa Chile Austral y SERNAPESCA por permitir recolectar la información presentada en este trabajo. Se agradece a Tim Wyatt y Beatriz Reguera y Humberto González por su aporte en comentarios y apoyo en la escritura de este artículo. Finalmente se agradece Rodrigo Hucke y Neli-da Köhler por sus correcciones. Se agradece a los asistentes de campo de Puerto R. Marín Balmaceda, Puerto Santo Domingo, Melimoyu y Puerto Gala, por su apoyo en la recolección de muestras en cada área. Carlos Molinet es becario de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología en el Programa de Doctorado en Ciencias (mención Sistemática y Ecología) de la Universidad Austral de Chile. Este artículo ha sido elaborado como parte de su estadía en este programa.

#### LITERATURA CITADA

- AMORIN A, B DALE, R GODINHO & V BROTA (2002) *Gymnodinium catenatum*-like cyst (Dinophyceae) in recent sediments from coast of Portugal. *Phycologia* 40: 572-582.
- ANDERSON DM (1999) ECOHAB-GOM: the ecology and oceanography of toxic *Alexandrium* blooms in the Gulf of Maine. En: Martin JL & K Haya (eds) Proceedings of the Sixth Canadian Workshop on Harmful Marine Algae: 88-89. Department of Fisheries and Oceans, Saint Andrews, Nebraska, USA.
- ANDERSON D M & D WALL (1978) Potential importance of benthic cyst of *Gonyaulax tamarensis* and *G. excavata* in initiating toxic dinoflagellate blooms. *Journal of Phycology* 14: 224-234.
- ANDERSON DM, SW CHISHOLM & CJ WATRAS (1983) Importance of life cycle events in the population dynamics of *Gonyaulax tamarensis*. *Marine Biology* 76: 179-189.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (1980) Standard mouse bioassay for paralytic shellfish toxins. En: Horwitz W (ed) Official methods of analysis. Thirteenth edition: 298-299. Association of Official Analytical Chemists, Washington, District of Columbia, USA.
- CORTÉS R, D HERNÁNDEZ & R LUNA-SORIA (1996) Red tides in México: a review. En: Yasumoto T, Y Oshima & Y Fukuyo (eds) Harmful and toxic algal blooms: 101-104. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Sendai, Japan.
- CEMBELLA A, J TURGEON, JC THERRIAULT & P BELAND (1988) Spatial distribution of *Protogonyaulax tamarensis* resting cysts in nearshore sediments along the north coast of the lower ST. Lawrence Estuary. *Journal of Shellfish Research* 7: 597-609.
- DAHL E & T JOHANNESSEN (2001) Relationship between occurrence of *Dinophysis* species (Dinophyceae) and shellfish toxicity. *Phycologia* 40: 223-227.
- EILERTSEN H & T WYATT (1998) A model of *Alexandrium* population dynamics. En: Reguera B, J Blanco, ML Fernández & T Wyatt (eds) Harmful algae: 196-199. Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Vigo, Spain.
- FRAGA S, I BRAVO & B REGUERA (1993) Poleward surface current at the shelf break and blooms of *Gymnodinium catenatum* in Ria de Vigo (NW Spain). En: Smayda TJ & Y Shimizu (eds) Toxic phytoplankton blooms in the sea. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands.
- FRANKS PJS & DM ANDERSON (1992) Toxic phytoplankton blooms in the southwestern Gulf of Maine: testing hypotheses of physical control using historical data. *Marine Biology* 112: 165-174.
- GHODE A, S SVENSSON & A REHNSTAM-HOLM (2002) Oceanographic settings explain fluctuations in *Dinophysis* spp. and concentrations of diarrhetic shellfish toxin in the plankton community within a mussel farm area on the Swedish West coast. *Marine Ecology Progress Series* 240: 71-83.
- GUZMAN L, I CAMPODÓNICO & M ANTUNOVIC (1975) Estudios sobre un florecimiento tóxico causado por *Gonyaulax catenella* en Magallanes. IV. Distribución y niveles de toxicidad del veneno paralizante de los mariscos. *Anales del Instituto de la Patagonia (Chile)* 6: 229-223.
- GUZMAN L, H PACHECO, G PIZARRO & C ALARCÓN (2002) *Alexandrium catenella* y veneno paralizante de los mariscos en Chile. En: Sar EA, ME Ferrario & B Reguera (eds) Floraciones algales nocivas en el cono sur americano: 235-255. Instituto Español de Oceanografía, Vigo, Spain.
- HALTEAD W & EJ SCHANTZ (1984) Paralytic shellfish poisoning. WHO Offset Publication No. 79, Geneva, Switzerland. 59 pp.
- HALLEGRAEFF G (1995) Harmful algal blooms: A global overview. En: Hallegraeff GM, DM Anderson & AD Cembella (eds) Manual on harmful marine microalgae: 1-22. IOC Manuals and Guides N° 33, UNESCO, Paris, France.
- HALLEGRAEFF GM, JA MARSHALL, J VALENTINE & S HARDIMAN (1998) Short cyst-dormancy period of an Australian isolate of the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella*. *Marine and Freshwater Research* 49: 415-420.
- HELBLING EW, AGJ BUMA, MK DE BOER & VE VILLAFANE (2001) In situ impact of solar ultraviolet radiation on photosynthesis and DNA in temperate marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series* 211: 49-23
- HOLTON JR (2002) The role of the quasi-biennial oscillation in stratospheric dehydration. A Half Century of Progress in Meteorology: the Richard Reed Symposium. <http://ams.confex.com/ams/annual2002/Reed2002>.
- HEAPS A, W LAHOZ & A O'NEILL (2002) Quasi-biennial zonal wind oscillation (QBO). Center for Global Atmospheric Modeling, Department of

- Meteorology, University of Reading, United Kingdom. 9 pp.
- ITAKURA S & M YAMAHUCHI (2001) Germination characteristics of naturally occurring cyst of *Alexandrium tamarense* (Dinophyceae) in Hiroshima bay, Inland Sea of Japan. *Phycologia* 40: 263-267.
- JELLET JF (1993) Phycotoxins and shellfish aquaculture. *World Aquaculture* 24: 32-44.
- LEMBEYE G (1981a) Segunda aparición del veneno parálítico de los mariscos (VPM) asociado a *Gonyaulax catenella* en Magallanes (Chile), 1981. *Anales del Instituto de la Patagonia (Chile)* 12: 273-276.
- LEMBEYE G (1981b) Estructura del fitoplancton asociado a la presencia del veneno parálítico de los mariscos en seno Unión y áreas adyacentes (Magallanes, Chile). *Anales del Instituto de la Patagonia (Chile)* 12: 277-288.
- LEMBEYE G & A SFEIR (1996) Distribución de quistes de *Alexandrium catenella* y otros dinoflagelados en sedimentos de canales y fiordos someros entre los 47° y 52° S. *Resultados del Crucero CIMAR-Fiordo* 2: 64-69.
- LEMBEYE G & A SFEIR (1997) Distribución del quiste *Alexandrium catenella* y otros dinoflagelados en sedimentos recolectados entre el Estrecho de Magallanes y el Cabo de Hornos. *Resultados del Crucero Cimar-Fiordo* 3: 73-78.
- LEMBEYE G, L GUZMÁN & I CAMPODÓNICO (1975) Estudios sobre un florecimiento tóxico causado por *Gonyaulax catenella* en Magallanes. III Fitoplancton asociado. *Anales del Instituto de la Patagonia (Chile)* 6: 197-208.
- LEMBEYE G, C MOLINET, N MARCOS, ASFEIR, A CLEMENT & X ROJAS (1997) Monitoreo de la Marea Roja en las aguas interiores de la X y XI regiones. Informe Final Proyecto FIP 95/23b. Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Chile. 62 pp
- LEMBEYE G, N MARCOS, A SFEIR, C MOLINET & F JARA (1998) Seguimiento de la toxicidad en recursos pesqueros de importancia comercial en la X y XI región. Informe Final Proyecto FIP 97/49. Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Chile. 89 pp.
- MATTHEWS S & G PITCHER (1996) Worst recorded marine mortality on the South African coast. En: Yasumoto T, Y Oshima & Y Fukuyo (eds) *Harmful and toxic algal blooms*: 89-92. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.
- MOLINET C & A LAFON (2002) Monitoreo de fitoplancton litoral de Aysén y relación con VPM y VDM. Informe Final Proyecto Fondo Nacional de Desarrollo Regional, Universidad Austral de Chile, Coyhaique, Chile. 20 pp.
- MOLINET C, G LEMBEYE & C GONZÁLEZ (1998) Análisis y monitoreo de la marea roja en el recurso loco (*Concholepas concholepas*) en el litoral de Aysén. Informe Final Proyecto Fondo Nacional de Desarrollo Regional, Universidad Austral de Chile, Coyhaique, Chile. 45 pp.
- MUÑOZ P, S AVARIA, H SIEVERS & R PRADO (1992) Presencia de dinoflagelados tóxicos del género *Dinophysis* en el Seno Aysén, Chile. *Revista de Biología Marina (Chile)* 27: 187-212.
- ORLOVA TY, GV KONOVALOVA, IK STONIK, MS SELINA, TV MOROZOVA & O SHEVCHENKO (2002) Harmful algal blooms on the eastern coast of Russia. En: Max FJ, R Taylor & L Vera (eds) *Harmful algal blooms in the Pices region of the North Pacific* 23: 47-58. Pices Scientific Report, Sidney, Australia.
- PARK JS & JD KIM (1967) A study on the red-water, caused at Chinhae Bay. *Bullet in Fisheries Research Development Agency (Korea)* 1: 63-79.
- PARKHILL JP & AD CEMBELLA (1999) Effects of salinity, light and organic nitrogen on growth and toxigenicity of the marine dinoflagellate *Alexandrium tamarense* from Northeastern Canada. *Journal of Plankton Research* 215: 939-955.
- PIUMSOMBOON A, C SONGROOP, A KUNGSUWAN & P POLPUNTHIN (2001) Species of the dinoflagellate genus *Alexandrium* (Gonyaulacales) in the Gulf of Thailand. En: Hallegraef G, SI BlacKburn, CJ Bolch & RJ Lewis (eds) *Harmful algal blooms 2000*: 12-15. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris, France.
- REID PC, NP HOLLIDAY & T J SMITH (2001) Pulses in the eastern margin current and warmer water off the North West European shelf linked to North Sea ecosystem changes. *Marine Ecology Progress Series* 215: 283-287.
- SALINAS S, J FIERRO, M CASTILLO & J LETELIER (2002) Tiempo de residencia y proceso de mezcla en la cuenca al sur de la construcción de Meninea: 33-37. *Resultados Crucero CIMAR 7 Fiordos*, Informes preliminares, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, Valparaíso, Chile.
- SATINELLI N, V SASTRE & JL ESTÉVEZ (2002) Episodios de algas nocivas en la Patagonia argentina. En: Sar EA, ME Ferrario & B Reguera (eds) *Floraciones algales nocivas en el cono sur americano*: 199-208. Instituto Español de Oceanografía, Vigo, Spain.
- SEGUEL M, MA TOCORNAL & A SFEIR (2002) Evaluación de la toxicidad en moluscos, quistes y microalgas productoras de toxinas en la XI región: 91-99. *Resultados Crucero CIMAR 7 Fiordos*, Informes preliminares, Comité Oceanográfico Nacional, Valparaíso Chile.
- SILVA N, H SIEVERS & R PRADO (1995) Características oceanográficas y una proposición de circulación para algunos canales australes de Chile entre 41°20'S y 46°40'S. *Revista de Biología Marina (Chile)* 30: 207-254
- SILVA N, C CALVETE & H SIEVERS (1997) Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre Pto. Montt y laguna San Rafael (Crucero CIMAR-Fiordo 1). *Ciencia y Tecnología del Mar, Comité Oceanográfico Nacional (Chile)* 20: 23-106
- SILVA N, C CALVETE & H SIEVERS (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, Comité Oceanográfico Nacional (Chile)* 22: 17-47.
- SORDO I, ED BARTON, JM COTOS & Y PAZOS (2001) An inshore poleward current in NW of the Iberian peninsula detected from satellite images, and its relation with *G. catenatum* and *D. acuminata* blooms in the Galician Rias. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 54: 787-799.
- STRUB PT, JM MESIAS, V MONTECINO & J RUTLANT (1998) Coastal ocean circulation off western south America. En: Robinson AR & KH Brink (eds) *The sea, Volume 11*: 273-313. John Wiley & Sons, Inc., New York, New York, USA.
- TSUJINO M, T KAMIYAMA, T UCHIDA, M YAMAGUCHI & S ITAKURA (2002) Abundance and germination capability of resting cyst of *Alexandrium spp.* (Dinophyceae) from faecal pellets of macrobenthic organisms. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 271: 1-7.

- TYLER MA, DW COATS & DM ANDERSON (1982) Encyst in dynamic environment: deposition of dinoflagellate cyst by a frontal convergence. *Marine Ecology Progress Series* 7: 163-182.
- TAYLOR FJR & R HAIGH (1996) Spatial and temporal distributions of microplankton during the summers of 1992-1993 in Barkley Sound, British Columbia, with emphasis on harmful species. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 53: 2310-2322.
- URIBE JC (1988) Antecedentes de un tercer brote de veneno paralizante de los mariscos (VPM) en la Región de Magallanes. *Anales del Instituto de la Patagonia (Chile)* 18: 97-101.
- URIBE JC, L GUZMÁN, S JARA (1995) Monitoreo mensual de la marea roja en la XI y XII regiones. Proyecto FIP 93/16, Informe Final, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile. 93 pp.
- VILA M, E GARCÉS, M MASÓ & J CAMP (2001) Is the distribution of the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella* expanding along NW Mediterranean coast? *Marine Ecology Progress Series* 222: 73-83.
- WEISE AM, M LEVASSEUR, FJ SAUCIER, S SENNEVILLE, E BONNEAU, S ROY, G SAUVE, S MICHAUD & J FAUCHOT (2002) The link between precipitation, river runoff, and blooms of the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* in the St. Lawrence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 464-473.
- WHITE B & RG PETERSON (1996) An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent. *Nature* 380: 699-702.

*Editor Asociado: Iván Gómez*

*Recibido el 30 de abril de 2003; aceptado el 26 de agosto de 2003*