



**“DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y VARIACIÓN
INTERANUAL DEL GÉNERO PSEUDO-NITZSCHIA
(BACILLARIOPHYCEAE) EN AGUAS DE LA
PLATAFORMA DEL MAR ARGENTINO Y ANTÁRTIDA”**

Trabajo para optar por el grado de
Doctor en Ciencias Naturales

2008



Autor
GASTON OSVALDO ALMANDOZ

Directores
Martha E. Ferrario y Gustavo A. Ferreyra

A mis padres, Nélica y Petete
a quienes nunca terminaré de agradecer

AGRADECIMIENTOS

A mis directores, Martha Ferrario y Gustavo Ferreyra, les agradezco infinitamente por su confianza al incluirme en sus proyectos de investigación y por ser la guía y el sostén imprescindibles para el desarrollo de esta tesis.

A todas las personas con quienes compartí los imborrables meses de campaña vividos a bordo del Irizar, les quiero expresar mi agradecimiento por su permanente ayuda con las tareas de campo y su calidez personal. Gracias, entre otros, a Damián López, Gustavo Thompson, Claudio Franzosi, Silvia Rodriguez, Leo Cantoni, Hernán Sala, Eduardo Calviño, Héctor Ochoa, Lila Bertolín, Pitu Iturrart, Juan Dileo, Marcela Charo, Carlos Balestrini, Alejandro Bianchi, Alba Puig y, muy especialmente a Raúl Codina y Alejandro Ulrich, mis padrinos y asesores personales desde el primer día arriba del rompehielos.

A mis compañeros del departamento de Ficología del Museo de La Plata, quienes me ayudaron a combatir la monotonía del microscopio y estuvieron siempre dispuestos a compartir sus experiencias y darme buenos consejos para enfrentar los problemas cotidianos e inquietudes de todo tesista. Muchísimas gracias a Ricardo Echenique, Silvia Sala, Andrés Boltovskoy, Eugenia Sar, José María Guerrero, María Elicia Mac Donagh, Gabriela Cano, María Adela Casco, Laura Scafati, Nilda Malacalza, el Doctor Guarrera, Adrián Atencio, Adrián Cefarelli y muy especialmente a Inés Sunesen, quien, dueña de una bondad y paciencia muy especiales, fue víctima repetida de mis innumerables pedidos de favores y consultas.

Quiero agradecer también a las distintas personas que brindaron sus datos, los cuales permitieron un notable enriquecimiento de esta tesis: a Ana Dogliotti por las estimaciones satelitales de la concentración de cobertura de hielo; a Volfango Rupolo por los perfiles verticales de temperatura; a José Luis Esteves, Flavio Papparazzo, Miriam Solis y Mónica Gil por los análisis de nutrientes, a Alejandro Ulrich por los análisis de clorofila y a Irene Schloss, directora del proyecto ARGAU, por incorporarme y coordinar mi participación dentro de este grupo de trabajo y por su colaboración en la revisión de los artículos derivados de esta tesis.

También a Arturo Kehr, John Jairo Ramírez Restrepo e Irene Garibotti, por su valiosísima ayuda con el tratamiento estadístico e interpretación de los datos y a Patricia Sarmiento, por su buena predisposición en las tardes al MEB.

Finalmente, quiero agradecer muy especialmente a mis padres, hermanas, sobrinas, cuñados y amigos, por tanto afecto y comprensión desde siempre; y también a mi novia Eli, por su apoyo constante y por la lectura crítica de las distintas versiones de este manuscrito.

Este estudio pudo realizarse gracias al apoyo financiero del Instituto Antártico Argentino, el Servicio de Hidrografía Naval, el Centro Nacional Patagónico y el Laboratorio de Biogeoquímica y Química Marina de la Universidad Pierre y Marie Curie de París. También obtuvo financiación a través de los subsidios PIP-5603 CONICET, PICT 25509 ANPCyT y GEF PNUD ARG 02/018 DON 28385 AR obtenidos por M. Ferrario y PEI-2001 CONICET y PICTO 6524/1108/03-ANPCyT 01-11563 a nombre de I. Schloss. Por último, quiero agradecer al CONICET por las becas otorgadas durante el desarrollo del presente trabajo de tesis y a la Facultad de Ciencias Naturales y Museo por el lugar de trabajo.

| | |
|---|----------|
| Resumen en español | Pág. 5 |
| Resumen en inglés | Pág. 7 |
| Capítulo 1: Introducción General | Pág. 9 |
| Capítulo 2: Materiales y Métodos | Pág. 15 |
| 2.1 Trabajos de terreno, recolección de muestras y obtención de datos | Pág. 16 |
| 2.2 Tratamiento de las muestras para su análisis microscópico | Pág. 19 |
| 2.3 Análisis cualitativos | Pág. 21 |
| 2.4 Análisis cuantitativos | Pág. 22 |
| Capítulos 3: Especies de <i>Pseudo-nitzschia</i> analizadas en el área de estudio | Pág. 24 |
| 3.1 Introducción | Pág. 25 |
| 3.2 Resultados y consideraciones generales | Pág. 27 |
| 3.3 Conclusiones | Pág. 54 |
| Capítulo 4: Distribución del género <i>Pseudo-nitzschia</i> en el Mar Argentino | Pág. 57 |
| 4.1 Introducción | Pág. 58 |
| 4.2 Análisis de datos | Pág. 60 |
| 4.3 Resultados | Pág. 61 |
| 4.4 Discusión y conclusiones | Pág. 75 |
| Capítulo 5: Distribución del género <i>Pseudo-nitzschia</i> en el Mar de Weddell | Pág. 82 |
| 5.1 Introducción | Pág. 83 |
| 5.2 Análisis de datos | Pág. 84 |
| 5.3 Resultados | Pág. 86 |
| 5.4 Discusión y conclusiones | Pág. 109 |
| Capítulo 6: Discusión y Conclusiones Generales | Pág. 120 |
| Referencias | Pág. 125 |
| Anexos | Pág. 141 |

Pseudo-nitzschia es un género de diatomeas marinas ampliamente distribuido a nivel mundial. Comprende 30 especies y 2 variedades, casi todas de hábitat exclusivamente planctónico y muchas de ellas, habituales formadoras de floraciones. En los últimos años, los estudios sobre este género se han incrementado considerablemente a partir del descubrimiento de que varias de sus especies están implicadas en la producción de ácido domoico (AD), una toxina que puede ocasionar la mortandad de personas, aves y mamíferos marinos.

En la presente tesis se abordó el estudio de la composición, abundancia y distribución del género *Pseudo-nitzschia* en dos grandes regiones geográficas, el Mar Argentino (~38–55°S) y el Mar de Weddell (~61–77°S). Mediante el empleo de microscopía óptica y electrónica de barrido, se analizaron muestras cuali- y cuantitativas de fitoplancton colectadas en superficie durante las campañas antárticas de los años 2003 y 2004, realizadas a bordo del rompehielos "Almirante Irizar".

Un total de once especies de *Pseudo-nitzschia* fueron identificadas y caracterizadas morfológicamente para el área de estudio: *P. americana*, *P. australis*, *P. sp. cf. calliantha/pseudodelicatissima*, *P. fraudulenta*, *P. heimii*, *P. lineola*, *P. prolongatoides*, *P. pungens*, *P. subcurvata*, *P. turgidula* y *P. turgiduloides*. De éstas, *P. americana*, *P. heimii*, *P. lineola* y *P. turgiduloides* representan nuevos registros para el Mar Argentino. Los datos morfométricos y las características generales de los especímenes analizados fueron mayormente consistentes con los suministrados por otros autores para diferentes regiones geográficas.

El género *Pseudo-nitzschia* mostró una amplia distribución en el Mar Argentino. Sin embargo, sus densidades fueron bajas en la mayor parte de las muestras, observándose como un componente menor de las asociaciones fitoplanctónicas, las cuales estuvieron principalmente dominadas por pequeños fitoflagelados ($\leq 5\mu\text{m}$). *P. pungens* y *P. australis* fueron las especies mejor representadas en esta región, especialmente en aguas más cálidas y con baja concentración de nutrientes. Por el contrario, *P. heimii*, *P. lineola*, *P. turgidula* y *P. turgiduloides* mostraron una distribución más restringida, observándose principalmente en aguas frías y ricas en nutrientes durante el otoño. Por su parte, *P. cf. calliantha/pseudodelicatissima* y *P. americana*, esta última epífita sobre *Odontella sinensis* y setas de *Chaetoceros sp.*, solo fueron observadas durante la primavera.

En el Mar de Weddell, el género *Pseudo-nitzschia* estuvo presente en todas las muestras analizadas, observándose en elevadas abundancias y representando una fracción significativa del total de diatomeas, las cuales con frecuencia fueron el grupo dominante del fitoplancton. *P. prolongatoides* y *P. subcurvata* fueron las especies de *Pseudo-nitzschia* mejor representadas en esta región. La primera se observó en forma de floración en la zona de confluencia Weddell-Scotia (ZCWS), predominando principalmente hacia el norte del frente de talud antártico, en sitios más cálidos y menos salinos, alejados del borde de hielo y con elevada biomasa. Por su parte, *P. subcurvata* mostró un patrón opuesto al de *P. prolongatoides*, alcanzando sus mayores abundancias en la Zona Nerítica del Mar de Weddell, en sitios más fríos y salinos, cercanos al borde de hielo, con poca biomasa y en condiciones de fotoperíodo largo. *P. turgiduloides* y *P. lineola* se distribuyeron de manera más o menos uniforme en el área de estudio, predominando generalmente en zonas oceánicas de latitudes superiores, en sitios más fríos y salinos, cercanos al borde de hielo, con poca biomasa y en condiciones de fotoperíodo corto. Finalmente, *P. turgidula* y *P. heimii* mostraron una distribución principalmente restringida a la ZCWS, en sitios con temperaturas más elevadas y salinidades más bajas, alejados del borde de hielo y con altas concentraciones de biomasa.

Los resultados de esta tesis representan el primer intento de elucidar los patrones de distribución de las distintas especies del género *Pseudo-nitzschia* a lo largo de una extensa área del Mar Argentino y el Mar de Weddell. Del total de especies identificadas en ambas regiones, *P. australis*, *P. fraudulenta*, *P. pungens* y *P. turgidula* son conocidas como productoras de AD en distintas partes del mundo. Resulta evidente que los registros sobre este género en relación con su potencial toxicidad en el Océano Atlántico Sudoccidental y Austral son limitados, principalmente para esta última región, donde los pocos análisis llevados a cabo no han detectado la producción de AD.

Pseudo-nitzschia is a marine diatom genus widespread in all oceans of the world. It comprises 30 species and 2 varieties almost all exclusively planktonic and, many of them, regular bloom-producers. In the last years, studies focused on this genus have globally increased since the discovery that several of the species are implicated in domoic acid (DA) production, a toxin that can be responsible for sea birds, marine mammals and human's mortality.

This thesis investigated the composition, abundance and distribution of the genus *Pseudo-nitzschia* in two extensive regions, the Argentine Sea (~38–55°S) and the Weddell Sea (~61–77°S). Qualitative and quantitative surface phytoplankton samples collected during 2003–2004 Antarctic Expeditions on board the icebreaker “Almirante Irizar” were observed by light and electron microscopy.

A total of eleven *Pseudo-nitzschia* species were identified and morphologically described in the study area: *P. americana*, *P. australis*, *P. sp. cf. calliantha/pseudodelicatissima*, *P. fraudulenta*, *P. heimii*, *P. lineola*, *P. prolongatoides*, *P. pungens*, *P. subcurvata*, *P. turgidula* and *P. turgiduloides*. Of these, *P. americana*, *P. heimii*, *P. lineola* y *P. turgiduloides* are new records for the Argentine Sea. The general morphology and specific morphometric data of the *Pseudo-nitzschia* species observed during the present study fitted well with descriptions provided by other authors for different regions.

The genus *Pseudo-nitzschia* showed a wide distribution along the Argentine Sea. However, it was present at low densities throughout almost all samples analyzed and appeared as a minor component of the phytoplankton assemblages, which were numerically dominated by tiny phytoflagellates ($\leq 5\mu\text{m}$). In one hand, *P. pungens* and *P. australis* were widely distributed and reached high densities, especially in waters with warmer temperatures, higher salinities and low nutrients concentrations. On the other hand, *P. heimii*, *P. lineola*, *P. turgidula* and *P. turgiduloides* showed a more restricted distribution, with lower densities in colder and nutrient-rich waters during autumn. *P. cf. calliantha/pseudodelicatissima* and *P. americana*, the latter observed as epiphyte on *Odontella sinensis* and on the setae of *Chaetoceros* sp., were found only during spring.

In the Weddell Sea, the genus *Pseudo-nitzschia* was present in all samples analyzed, showing high densities and a significant contribution to the total diatom density, which were frequently the dominant phytoplankton group. *P. prolongatoides* and *P. subcurvata* were

commonly found well represented in this region. The first one was observed in bloom conditions at the Weddell Scotia Confluence Zone (WSCZ), generally predominating northward of the Antarctic slope front, in warmest and less saline waters far from the ice edge and with higher phytoplankton biomass. In contrast, *P. subcurvata* reached its highest densities in the neritic Weddell Sea zone, in colder and more saline sites, near the ice-edge and in conditions of long photoperiod. *P. turgiduloides* and *P. lineola* were regularly distributed in the study area, but mainly predominated in high latitude oceanic zones in colder and more saline waters, closer to the ice border, with low phytoplankton biomass and in conditions of short photoperiod. Finally, *P. turgidula* and *P. heimii* were mostly restricted to the WSCZ, in warmest and less saline waters far from the ice edge and with higher biomass values.

This thesis represents the first attempt to elucidate the species-specific distribution patterns of the genus *Pseudo-nitzschia* in a vast zone of the Argentine Sea and the Weddell Sea. From the species found in both regions, *P. australis*, *P. fraudulenta*, *P. pungens* and *P. turgidula* are known as DA producers around the world. It seems evident that there is scarce information on the potential toxicity of the genus *Pseudo-nitzschia* in the Southwestern Atlantic and Austral Ocean, especially in this last region, where as far as we could ascertain, there are no records of DA production.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Capítulo 1

Las diatomeas, con al menos 285 géneros descritos y unas 10.000–12.000 especies reconocidas, representan uno de los grupos más diversos dentro de las algas y se destacan entre los organismos acuáticos eucariotas como uno de los grupos más abundantes del planeta (Round et al. 1990; Graham & Wilcox 2000; Fryxell & Hasle 2004). Consideradas como organismos ubicuos, habitan en ambientes marinos, estuarinos y continentales (dulceacuícolas y salobres) desde regiones ecuatoriales a polares, donde pueden encontrarse como formas planctónicas, bentónicas, epífitas, epizoicas y endozoicas (Bold & Wynne 1985).

En los ambientes marinos, donde contribuyen aproximadamente con el 40% de la producción primaria de los océanos y cumplen un papel clave en el ciclo biogeoquímico del carbono, son consideradas como uno de los grupos más importantes del fitoplancton (Sarhou et al. 2005). Asimismo, al constituir una importante fuente de alimentación para moluscos bivalvos filtradores (ostras, mejillones, vieiras, almejas), larvas de crustáceos y peces de importancia económica, sus proliferaciones masivas (comúnmente denominadas floraciones) son generalmente beneficiosas para la acuicultura y las actividades de recolección artesanal (Hallegraeff 2004).

Sin embargo, en algunas ocasiones sus floraciones pueden tener efectos nocivos sobre el medio ambiente, la economía regional y la salud humana (Hallegraeff 2004). Estos efectos se encuentran principalmente vinculados con la presencia de apéndices espinosos en los frústulos que producen daños físicos en las branquias de los peces, con la segregación de mucílago que afectan el sistema filtrador/branquial de los organismos y provocan la acumulación de espuma en las playas, así como con el agotamiento de oxígeno y la producción de potentes toxinas (Reguera 2002; Fryxell & Hasle 2004). En relación a este último efecto, el conocimiento acerca de la capacidad de las diatomeas para generar toxinas es relativamente reciente, a diferencia de los dinoflagelados, conocidos como el primer grupo de microalgas productoras de ficotoxinas (Balech 2002).

El primer episodio reconocido de intoxicación vinculado con una floración de diatomeas tuvo lugar en Canadá en 1987, donde 3 personas murieron y más de 100 presentaron síntomas agudos de envenenamiento a consecuencia del consumo de bivalvos (Bates et al. 1989). A raíz de este episodio, se pudo identificar a la neurotoxina denominada ácido domoico (AD) como el agente contaminante en el mejillón azul (*Mytilus edulis*) y a la especie hoy conocida con el nombre de *Pseudo-nitzschia multiseries* como su productora. En un principio, el

reconocimiento del AD como una toxina fue tratado con cierto escepticismo, dado que en bajas concentraciones este aminoácido tricarboxílico hidrosoluble y termoestable era conocido en Japón como una medicina popular para el tratamiento de niños con infecciones parasitarias intestinales (Bates et al. 1998). Hasta entonces, el AD sólo había sido purificado a partir de unas pocas algas rojas de la familia Rhodomelaceae, entre ellas *Chondria armata*, de cuyo nombre popular en japonés (“domoi”) proviene su denominación (Skov et al. 1999).

Los principales síntomas del envenenamiento por AD suelen manifestarse dentro de las 24–48 hs de su consumo e incluyen confusión, náuseas, vómitos, gastroenteritis, calambres, diarrea, dolor de cabeza y, en los casos más severos, ataxia, dificultades al respirar, pérdida de la memoria a corto plazo en forma permanente y coma (Mos 2001). El mecanismo de acción fisiológica del AD reside en su similitud estructural con el ácido glutámico, un neurotransmisor excitatorio del sistema nervioso central. El AD actúa como agonista del receptor del ácido glutámico acoplado al canal de calcio en la membrana celular, originando la despolarización masiva de las neuronas y finalmente su muerte. El daño neuronal producido se localiza en el hipocampo y se encuentra asociado con la pérdida de la memoria típica del envenenamiento por AD (Lagos 2002).

El AD ingresa a la cadena alimentaria a través de organismos herbívoros que consumen a las especies tóxicas de *Pseudo-nitzschia* y acumulan la toxina, entre ellos bivalvos, krill, copépodos, cangrejos, cefalópodos y peces (Bates & Trainer 2006). Posteriormente, al ser consumidos por predadores de mayor tamaño, estos vectores transfieren la toxina a los niveles tróficos superiores, pudiendo ocasionar mortandades masivas de aves (Work et al. 1993; Sierra Beltrán et al. 1997) y mamíferos marinos (Lefebvre et al. 1999; Scholin et al. 2000; Anderson et al. 2006).

En la actualidad, el género *Pseudo-nitzschia* es considerado como el principal responsable de la producción de toxinas entre las diatomeas (Lundholm & Moestrup 2006), y al menos 11 de sus especies han sido confirmadas como productoras de AD (Tabla 1.1). No obstante, la presencia de cepas tóxicas y no tóxicas de una misma especie ha sido observada en la mayoría de ellas (Bates & Trainer 2006, Lundholm et al. 2006). Solo otras dos especies de diatomeas, *Amphora coffeaeformis* y *Nitzschia navis-varingica*, han sido mencionadas como productoras de AD (Maranda et al. 1990; Kotaki et al. 2000; Kotaki et al. 2004).

Pseudo-nitzschia es un género marino y planctónico (Hasle & Syvertsen 1997; Fryxell & Hasle 2004) y casi un tercio de sus especies se encuentran ampliamente distribuidas a nivel

mundial. Tal es el caso de la mayoría de las especies toxígenas (Ej. *P. pungens*, *P. multiseriis*, *P. calliantha*, *P. delicatissima* y *P. fraudulenta*), las cuales han sido señaladas como cosmopolitas, a pesar de que algunas de ellas no han sido observadas en regiones polares (Hasle 2002; Lundholm et al. 2003, 2006). Asimismo, existen especies de *Pseudo-nitzschia* mencionadas como típicas de aguas cálidas o cálido-templadas (Ej. *P. brasiliana*, *P. galaxiae*, *P. micropora*, *P. sinica* y *P. subpacificae*), otras restringidas a regiones de agua fría o frío-templadas en el hemisferio norte (*P. obtusa* y *P. seriata*) y de agua fría en el hemisferio sur (*P. prolongatoides*, *P. subcurvata* y *P. turgiduloides*). Para otras tantas especies, debido a su descripción reciente y a la falta de datos, aún no se ha podido establecer su distribución general (Hasle & Syvertsen 1997; Hasle 2002; Priisholm et al. 2002; Lundholm et al. 2002, 2003, 2006; Hasle & Lundholm 2005; Hernández-Becerril & Díaz-Almeyda 2006).

| Especie | Referencias |
|-------------------------------|----------------------|
| <i>P. australis</i> | Fritz et al. 1992 |
| <i>P. calliantha</i> | Martin et al. 1990* |
| <i>P. cuspidata</i> | Bill et al. 2005 |
| <i>P. delicatissima</i> | Smith et al. 1990 |
| <i>P. fraudulenta</i> | Rhodes et al. 1998 |
| <i>P. galaxiae</i> | Cerino et al. 2005 |
| <i>P. multiseriis</i> | Bates et al. 1989 |
| <i>P. multistriata</i> | Rhodes et al. 2000 |
| <i>P. pseudodelicatissima</i> | Pan et al. 2001** |
| <i>P. pungens</i> | Rhodes et al. 1996 |
| <i>P. seriata</i> | Lundholm et al. 1994 |
| <i>P. turgidula</i> | Rhodes et al. 1996 |

Tabla 1.1: Especies de *Pseudo-nitzschia* documentadas como productoras de ácido domoico. De acuerdo a Lundholm et al. (2003), las cepas productoras de AD analizadas en Martin et al. (1990)* como *P. pseudodelicatissima* corresponden a *P. calliantha* y las determinadas por Pan et al. (2001)**, podrían ser identificadas como *P. pseudodelicatissima* o *P. cuspidata*.

Un rasgo que caracteriza prácticamente a todas las especies de *Pseudo-nitzschia* es la formación de colonias escalariformes, lo cual hace que este género sea fácilmente reconocible al microscopio óptico. Sin embargo, no sucede lo mismo con la identificación a

nivel de especie, dado que es más compleja y en muchos casos requiere de la observación de rasgos ultraestructurales que solo pueden ser revelados con el empleo de microscopía electrónica (Villac et al. 1993; Hasle et al. 1996; Skov et al. 1999; Lundholm et al. 2003).

Resulta evidente que el estudio de las floraciones algales nocivas está recibiendo cada vez más atención desde el punto de vista científico y social (Hallegraeff 2004). En tal sentido, la cantidad de estudios sobre la taxonomía, ecología y toxicidad del género *Pseudo-nitzschia* realizados en los últimos años son buenos ejemplos de su relevancia. Cabe mencionar que en los últimos seis años, se han descrito 10 nuevas especies de *Pseudo-nitzschia* (Lundholm & Moestrup 2002; Priisholm et al. 2002; Lundholm et al. 2002, 2003, 2006; Hasle & Lundholm 2005; Hernández-Becerril & Díaz-Almeyda 2006) y se han multiplicado los esfuerzos por revelar su presencia y distribución, las condiciones ambientales bajo las cuales ocurren y su potencial toxicidad en diferentes regiones del planeta, con especial énfasis en el hemisferio norte (Ej. Orsini et al. 2002; Cusack et al. 2004; Lundholm et al. 2004; Caroppo et al. 2005; Cerino et al. 2005; Fehling et al. 2005, 2006; Thessen et al. 2005; Kaczmarska et al. 2005, 2007; Quiroga 2006; Schnetzer et al. 2007; Besiktepe et al. 2008; Casteleyn et al. 2008).

Los estudios previos sobre el género *Pseudo-nitzschia* realizados en el Océano Atlántico Austral y Sudoccidental han indicado la presencia de varias especies (Hasle 1964, 1965; Negri & Inza 1998; Ferrario et al. 1999, 2002; Sastre et al. 2001; Negri et al. 2004; Ferrario & Licea 2006; Sar et al. 2006). No obstante, la mayor parte de ellos han estado acotados a zonas puntuales o han enfatizado su enfoque en la descripción morfológica de las especies, sin profundizar sobre los patrones de distribución, abundancia o su relación con los factores ambientales. El acceso a un extenso muestreo oceanográfico realizado en el marco de un proyecto de investigación más amplio destinado al estudio de los flujos de CO₂ entre el mar y la atmósfera, brindó la posibilidad de obtener información original y de analizar en forma sinóptica la presencia del género *Pseudo-nitzschia* en dos grandes regiones del Océano Atlántico Austral y Sudoccidental. En este sentido, el presente trabajo de tesis doctoral tiene como **objetivo general** estudiar la abundancia, composición, y distribución del género *Pseudo-nitzschia* en aguas de superficie del Mar Argentino y del Mar de Weddell (Antártida).

Entre los objetivos particulares se destacan:

- Identificar y caracterizar morfológicamente a las especies del género *Pseudo-nitzschia* presentes en el área de estudio.

- ☑ Estimar la densidad de *Pseudo-nitzschia* y conocer su contribución relativa en el contexto de la composición general del fitoplancton y particularmente dentro del grupo de las diatomeas.
- ☑ Detectar patrones en la distribución de las distintas especies de *Pseudo-nitzschia* observadas en la plataforma del Mar Argentino y conocer su variación estacional durante el verano-otoño.
- ☑ Detectar patrones en la distribución de las distintas especies de *Pseudo-nitzschia* observadas en el Mar de Weddell y conocer su variación interanual en el período estival.
- ☑ Interpretar los patrones de distribución de las especies de *Pseudo-nitzschia* observados en el Mar Argentino y en el Mar de Weddell en relación con los parámetros ambientales disponibles.

Estructura General de la tesis:

En el **capítulo 2** se describe la metodología general de trabajo utilizada en este estudio. Se detalla información sobre los trabajos de campo, la recolección de muestras y la obtención de datos, la preparación de las muestras para su análisis microscópico y los análisis microscópicos propiamente dichos.

En el **capítulo 3** se estudia desde el punto de vista taxonómico a todas las especies de *Pseudo-nitzschia* identificadas durante este estudio, tanto en el Mar Argentino como en el Mar de Weddell. Se presentan descripciones de sus caracteres morfológicos distintivos, datos morfométricos, comentarios taxonómicos e ilustraciones.

En los **capítulos 4 y 5** se aborda el estudio de la distribución y abundancia de las especies de *Pseudo-nitzschia* en el Mar Argentino y en el Mar de Weddell respectivamente, y su relación con los factores ambientales más conspicuos.

Por último, en el **capítulo 6** se presentan la discusión y conclusiones generales, brindando una visión integrada de los principales resultados obtenidos para las dos zonas estudiadas.

En forma complementaria se agregan una serie de **anexos** donde se presentan datos de las estaciones de muestreo (latitud, longitud y fecha de muestreo), una lista de las especies incluidas en el manuscrito con sus respectivos autores y las referencias de los artículos derivados de esta tesis.

MATERIALES Y MÉTODOS

Capítulo 2

2.1. - TRABAJOS DE TERRENO, RECOLECCIÓN DE MUESTRAS Y OBTENCIÓN DE DATOS

El desarrollo de esta tesis se llevó a cabo en el marco de un proyecto multidisciplinario, con la participación de oceanógrafos físicos, químicos y biológicos, denominado “*Rol de la dinámica y de los procesos biológicos sobre el balance del dióxido de carbono en el Océano Atlántico Austral y Sudoccidental*” (Balestrini et al. 2000; Schloss et al. 2007). Este proyecto se desarrolló entre los años 2000 y 2005, a través de un convenio de cooperación internacional entre el Instituto Antártico Argentino (IAA), el Laboratorio de Biogeoquímica y Química Marina de la Universidad Pierre y Marie Curie de París (LBCM, Francia), el Servicio de Hidrografía Naval de la Armada de la República Argentina (SHN) y el Centro Nacional Patagónico (CENPAT). Esta cooperación, denominada ARGAU (Projet de Coopération avec l'**ARG**entine pour l'étude de l'Océan Atlantique Sud-**AU**stral), permitió la obtención de los datos propios y también de aquellos complementarios utilizados para el estudio realizado en esta tesis.

Los datos y muestras analizadas en el presente trabajo fueron obtenidos durante dos campañas (años 2003 y 2004), realizadas a bordo del Rompehielos A.R.A “Almirante Irizar”. Este tipo de campañas, organizadas por el IAA bajo la denominación “Campañas Antárticas de Verano, CAV”, tienen una duración aproximada de cuatro meses, y se desarrollan desde diciembre/enero hasta marzo/abril. Partiendo desde Bs. As., el buque recorre las aguas del Mar Argentino y atraviesa el Pasaje Drake hasta llegar a la Antártida, donde visita las distintas bases argentinas transitando los Mares de Scotia, Weddell y Bellingshausen (Fig. 2.1).

Para la toma de agua de mar se utilizó un sistema de bombeo en continuo, cuya entrada de agua se ubicó en la parte anterior del casco del buque, a 9 metros de profundidad. El agua de mar proveniente de este sistema, fue transferida hacia el laboratorio oceanográfico (Fig. 2.2a), donde diferentes sensores registraron en forma continua parámetros físicos y químicos durante toda la navegación, tales como salinidad, temperatura, dióxido de carbono (CO₂), oxígeno disuelto y fluorescencia. Simultáneamente, se registraron la temperatura del aire, la velocidad y dirección de los vientos y la concentración de CO₂ atmosférico (Balestrini et al. 2000). Esta información fue adquirida cada 10 segundos y los datos disponibles corresponden a promedios de 10 minutos. Cada promedio puntual fue localizado geográficamente con un posicionador GPS (Global Positioning System).

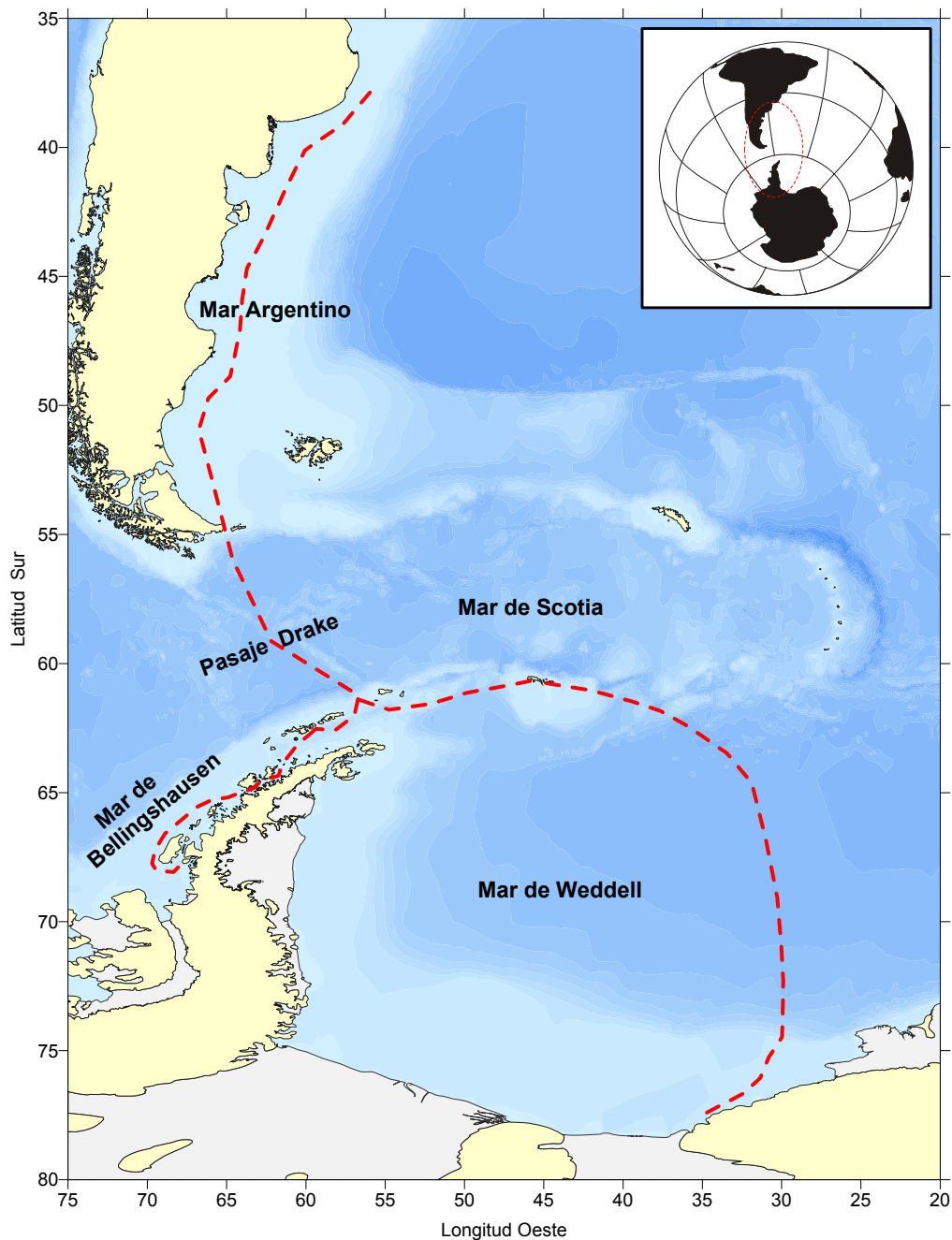


Figura 2.1: Esquema representativo de la derrota aproximada del rompehielos “Alte. Irizar” durante las Campañas Antárticas de Verano 2003-2004.

Una segunda derivación proveniente del sistema de bombeo en continuo proveyó agua de mar ininterrumpidamente a un laboratorio húmedo, donde se tomaron muestras cualitativas y cuantitativas de fitoplancton (Fig. 2.2c). Las muestras cuantitativas fueron tomadas directamente desde el sistema de bombeo en frascos de 250 ml y las cualitativas con redes de 20 μm de apertura de malla (Fig. 2.2c–d). Ambos tipos de muestra fueron fijadas con

Lugol y mantenidas en oscuridad a temperatura ambiente hasta el momento de su observación.



Figura 2.2: a) Laboratorio oceanográfico a bordo del rompehielos “Alte Irizar” (b); c) Recolección de muestras cualitativas mediante red y manguera proveniente del sistema de bombeo en continuo; d) Transvase del material concentrado a los envases plásticos para su conservación y almacenamiento.

Simultáneamente, de dos a cuatro litros de agua de mar fueron filtrados (filtros Whatman GF/F) y almacenados en frascos de 250 ml para los análisis de nutrientes (nitratos, nitritos, fosfatos y silicatos), a la vez que los filtros fueron utilizados para la determinación de clorofila *a*. Ambos tipos de muestra fueron congeladas en cámara a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para su conservación hasta el momento de su análisis.

La frecuencia de muestreo fue fijada generalmente cada tres horas, aunque los intervalos de tiempo fueron adaptados de acuerdo a la zona geográfica y velocidad de navegación. Muestreos adicionales fueron realizados en caso de registrarse picos de fluorescencia entre dos estaciones de muestreo programadas. En este caso se agregó un subíndice alfabético para diferenciarlas de las anteriores (Ej. E20b, E80b). A fin de facilitar la interacción de los distintos grupos de trabajo del proyecto ARGAU, la numeración de las estaciones de muestreo empleada en esta tesis responde a la denominación original asignada durante las campañas de muestreo.

Las determinaciones de clorofila *a* fueron realizadas en el Instituto Antártico Argentino (IAA), en el transcurso de un mes desde la finalización de las campañas. La absorbancia de los extractos de clorofila *a* obtenidos con acetona al 90% fue leída con un espectrofotómetro Beckman DU 650, y corregida para feopigmentos. Las concentraciones fueron calculadas de acuerdo a Strickland & Parsons (1972). Los análisis de nutrientes fueron realizados en el Centro Nacional Patagónico (CENPAT), dentro de los dos meses siguientes a la finalización de cada campaña. La concentración de nitratos, nitritos y silicatos fue medida con un analizador automático (Auto-analizador Technicon II®), mientras que los fosfatos fueron determinados en forma manual, de acuerdo a la metodología descrita en Strickland & Parsons (1972).

Adicionalmente, se observaron 11 muestras de fitoplancton de red obtenidas durante la primera campaña oceanográfica del Proyecto GEF Patagonia, realizada entre los días 8 y 28 de octubre de 2005 a bordo del buque ARA "Puerto Deseado". Estas muestras, colectadas con igual metodología a la explicada anteriormente, se utilizaron exclusivamente para complementar el estudio morfológico que se describe en el capítulo 3, pero no fueron incluidas en los análisis de distribución de los capítulos posteriores. La localización geográfica y fecha de obtención de las mismas se resumen en el anexo 1c.

2.2- TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS PARA SU ANÁLISIS MICROSCÓPICO

El primer paso en las tareas de laboratorio consistió en el procesamiento de las muestras a fin de obtener una colección de preparados fijos. Para esto se siguió el protocolo general explicado en Ferrario et al. (1995), con las particularidades que se describen en las secciones siguientes. Un total de 278 preparados fijos fueron realizados, la mitad de estos provenientes del material tratado y el resto sin tratar (algunos en duplicado). Estos fueron ingresados a la colección y registro informático sobre diversidad biológica existente en el Departamento Científico Ficología, Museo de La Plata.

2.2.1- ELABORACIÓN DE LOS PREPARADOS

2.2.1.1.- Lavado del material

Una fracción de las muestras cualitativas fue succionada del fondo de los envases plásticos con pipetas de 3 ml y depositada en tubos de ensayo. Los tubos se llenaron hasta completar su volumen con agua destilada y fueron llevados a centrifuga a 2500 rpm durante 30–45 minutos, para asegurar la sedimentación de los frústulos más livianos. A fin de eliminar el preservante, este proceso se repitió al menos seis veces, removiendo el sobrenadante y completando con agua destilada antes de la siguiente centrifugación.

2.2.1.2.- Montaje del material para observación al microscopio óptico (MO)

Una vez finalizados los lavados, parte del material fue montado en preparados permanentes utilizando Naphrax (resina con alto índice de refracción), de acuerdo a la metodología descrita en Ferrario et al. (1995). Los preparados fueron secados en plancha térmica, rotulados y guardados en cajas herméticas hasta el momento de su observación.

2.2.1.3.- Eliminación de la materia orgánica

El resto del material lavado fue sometido posteriormente a un tratamiento oxidativo para remover la materia orgánica. Este procedimiento de oxidación, que es requisito para una mejor observación de las estructuras de las valvas de diatomeas (estrías, fíbulas, interespacio central, etc), se llevó a cabo mediante dos técnicas alternativas. Para el tratamiento de las muestras del Mar Argentino se utilizó peróxido de hidrógeno, de acuerdo al procedimiento descrito en Prygiel & Coste (2000), cuyo protocolo se sintetiza a continuación:

- Colocar la muestra, libre de preservantes, en tubo de centrifuga.
- Agregar 9 ml de peróxido de hidrógeno de 100 volúmenes por cada ml de muestra.
- Llevar a ebullición en estufa. El tiempo de exposición dependerá de la cantidad de materia orgánica de la muestra (en nuestro caso varió entre 3 y 6hs). Para el caso de las muestras que contengan materiales muy frágiles o poco silicificados, no llevar a ebullición.
- Agregar gotas de ácido clorhídrico al 10% a la muestra para remover el peróxido de hidrógeno remanente y degradar carbonatos.
- Centrifugar la muestra, descartar el sobrenadante y agregar agua destilada. Repetir la operación hasta alcanzar pH 6.

Las muestras correspondientes al Mar de Weddell, fueron tratadas para su oxidación con hipoclorito de sodio, técnica utilizada habitualmente para desmembrar tecas y aclarar el protoplasma en los estudios de dinoflagelados (Boltovskoy 1995). Con su aplicación se lograron resultados similares a los obtenidos con la técnica de Prygiel & Coste (2000), con la ventaja de que el tiempo requerido de tratamiento fue considerablemente menor.

A fin de comprobar la eficacia de este método, una serie de 12 muestras por duplicado fueron tratadas con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio, controlando el grado de limpieza del material durante el proceso al microscopio de luz. De esta forma, se pudo estimar la cantidad de hipoclorito de sodio y el tiempo de exposición necesario para la eliminación de la materia orgánica. El procedimiento seguido fue el siguiente:

- Colocar la muestra, libre de preservante (lavada), en un tubo de ensayo. El volumen trasvasado depende de la concentración de la muestra, en general de 3 a 6 ml.
- Añadir entre 1 a 3 gotas de solución de hipoclorito de sodio (55 g Cl/I).
- Dejar actuar unos minutos (entre 2 y 6 min.) agitando el tubo para facilitar su mezcla.
- Cuando la muestra comienza a aclarar, completar el volumen del tubo con agua destilada.
- Realizar entre 4 y 6 lavados a fin de remover los restos de hipoclorito de sodio.

Una vez finalizado el procedimiento de eliminación de la materia orgánica se procedió al montaje del material tratado en preparados fijos, con la misma metodología indicada anteriormente.

2.2.1.4.- Montaje del material para observación al microscopio electrónico de barrido (MEB)

Las muestras sin tratar y tratadas, fueron montadas sobre porta especímenes de vidrio y secadas bajo lámpara o en plancha térmica. A continuación, cada muestra se fijó sobre un taco metálico y se metalizó con oro-paladio.

2.3- ANÁLISIS CUALITATIVOS

A fin de realizar un análisis preliminar de la composición taxonómica del fitoplancton, algunas muestras vivas fueron observadas a bordo del rompehielos durante el desarrollo de las campañas. Posteriormente, en el laboratorio se observaron preparados transitorios y fijos correspondientes a cada una de las estaciones de muestreo. Para esto se utilizó un microscopio Wild M20 con contraste de fases, al cual se le adosó una cámara digital Canon

A70, y ocasionalmente un microscopio Leica DM 2500 (con contraste de fases) equipado con una cámara digital Leica DFC 420 C.

Para los análisis ultraestructurales se utilizaron los microscopios electrónicos de barrido Jeol JSM-T100 y Jeol JSM-6360 LV, del Servicio de Microscopía Electrónica de Barrido del Museo de La Plata. Los ejemplares de *Pseudo-nitzschia* fotografiados digitalmente, fueron medidos utilizando el software Corel Draw 10. Para cada ejemplar se registró el largo, ancho, cantidad de fíbulas y estrías en 10 μm , cantidad de poroides en 1 μm , cantidad de hileras de poroides y presencia/ausencia de interespacio central. La terminología general utilizada para la descripción de los frústulos de *Pseudo-nitzschia* corresponde a la propuesta en Anonymous (1975), Barber & Haworth (1981) y Hasle et al. (1996).

2.4- ANÁLISIS CUANTITATIVOS

Una vez efectuado el análisis cualitativo y conociendo la composición taxonómica del fitoplancton, se continuó con el análisis cuantitativo. El recuento celular se realizó según la técnica de Utermöhl (1958) utilizando un microscopio invertido con contraste de fase Iroscope SI-PH. Dependiendo de la concentración de las muestras, se dejaron sedimentar 50 o 100 ml de agua de mar durante 24 hs. Posteriormente, los organismos fueron contados en dos etapas. En primer lugar se analizó la composición general del fitoplancton, contando todos los organismos presentes en campos de visión elegidos al azar, hasta alcanzar un mínimo de 100 individuos del taxón más abundante. La identificación taxonómica de las diatomeas se realizó a nivel de especie y en algunos casos sólo a nivel de género. El resto de los organismos algales fueron determinados generalmente a nivel de género o clase.

Debido a que los fitoflagelados son en su mayoría formas desnudas, por lo general pierden sus flagelos cuando se les adiciona fijador a las muestras (Thronsen 1997). Por consiguiente, aquellas células flageladas o no de tamaño reducido que no pudieron ser identificadas, fueron incluidas en un solo grupo denominado “fitoflagelados” y clasificadas por rango de tamaño ($\leq 5 \mu\text{m}$, 6–15 μm).

A fin de obtener una mayor precisión en la estimación de la densidad de *Pseudo-nitzschia*, se continuó examinando la muestra en una “segunda etapa” hasta registrar un mínimo de 100 individuos de la especie más abundante del género y un individuo de cada una de las especies registradas en los análisis cualitativos. De acuerdo a la densidad celular, los mínimos preestablecidos se alcanzaron sucesivamente mediante la observación de un número adicional de campos al azar, el análisis por transectas o el examen de la mitad o la

superficie total de la cámara de sedimentación. Las células sin contenido fueron diferenciadas y no se incluyeron en los resultados.

ESPECIES DE *PSEUDO-NITZSCHIA* ANALIZADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Capítulo 3

ESPECIES DE *PSEUDO-NITZSCHIA* ANALIZADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Capítulo 3

3.1- INTRODUCCIÓN

El género *Pseudo-nitzschia* fue erigido por H. Peragallo en el año 1900 (Peragallo & Peragallo 1897-1908) con el fin de agrupar a algunas especies del género *Nitzschia* Hassall de posición taxonómica incierta, de hábitat exclusivamente planctónico, valvas fusiformes y rafe fibulado, comúnmente observadas en colonias escalariformes. Este autor basó la descripción original del género en tres especies: *Nitzschia seriata*, *N. fraudulenta* y *N. sicula*, sin designar una especie tipo. Posteriormente, Fryxell et al. (1991) seleccionaron como lectotipo del género a *N. seriata*.

Muchos años después de la descripción original de *Pseudo-nitzschia*, Hustedt (1958) redujo su estatus taxonómico, considerándolo como una sección del género *Nitzschia*. Este criterio fue adoptado por los diatomólogos de la época y condujo a que numerosas especies, hoy conocidas como *Pseudo-nitzschia*, fueran descritas o transferidas al género *Nitzschia*. Tal es el caso entre otros de Hasle (1965), quien incluyó dentro de la sección *Pseudo-nitzschia* a unas 15 especies, delimitadas según su ancho valvar en dos grandes grupos denominados complejo "*Nitzschia seriata*" ($\geq 4 \mu\text{m}$) y complejo "*Nitzschia delicatissima*" ($\leq 3\mu\text{m}$).

Finalmente, Hasle (1993, 1994) restablece a *Pseudo-nitzschia* como un género independiente de *Nitzschia* y *Fragilariopsis*. Los principales caracteres en los cuales la autora se basa para enmendar la descripción genérica son la formación de colonias escalariformes que resultan de la corta superposición de los extremos valvares entre las células contiguas, la forma celular extremadamente alargada, generalmente linear-lanceolada, la estructura simple del sistema del rafe el cual está ubicado a nivel de la superficie valvar y no posee poroides en su pared externa, la presencia o no de interespacio central y la estructura de las estrías, las cuales están formadas por una o varias hileras de poroides. Finalmente, caracteriza a la célula por la presencia de dos cloroplastos en forma de placa, ubicados en su parte central.

En la actualidad se reconocen un total de 32 especies y 2 variedades de *Pseudo-nitzschia* (Tabla 3.1). Hasle & Syvertsen (1997) y Fryxell & Hasle (2004), consideran que las principales características que permiten diferenciar a las especies de este género son: el

| Espece |
|---|
| 1) <i>P. americana</i> (Hasle) Fryxell in Hasle 1993 |
| 2) <i>P. australis</i> Frenguelli 1939 |
| 3) <i>P. brasiliana</i> Lundholm, Hasle & Fryxell in Lundholm et al. 2002 |
| 4) <i>P. caciaantha</i> Lundholm, Moestrup & Hasle in Lundholm et al. 2003 |
| 5) <i>P. calliantha</i> Lundholm, Moestrup & Hasle in Lundholm et al. 2003 |
| 6) <i>P. cuspidata</i> (Hasle) Hasle emend. Lundholm, Moestrup & Hasle in Lundholm et al. 2003 |
| 7) <i>P. decipiens</i> Lundholm & Moestrup in Lundholm et al. 2006 |
| 8) <i>P. delicatissima</i> (Cleve) Heiden in Heiden & Kolbe 1928 |
| 9) <i>P. dolorosa</i> Lundholm & Moestrup in Lundholm et al. 2006 |
| 10) <i>P. fraudulentata</i> (Cleve) Hasle 1993 |
| 11) <i>P. galaxiae</i> Lundholm & Moestrup 2002 |
| 12) <i>P. granii</i> (Hasle) Hasle 1993 |
| 13) <i>P. granii</i> var. <i>curvata</i> (Hasle) Hasle in Hasle & Syvertsen 1997 |
| 14) <i>P. heimii</i> Manguin 1957 |
| 15) <i>P. inflatula</i> (Hasle) Hasle 1993 |
| 16) <i>P. linea</i> Lundholm, Hasle & Fryxell in Lundholm et al. 2002 |
| 17) <i>P. lineola</i> (Cleve) Hasle 1993 |
| 18) <i>P. micropora</i> Priisholm & Moestrup in Priisholm et al. 2002 |
| 19) <i>P. multiseriata</i> (Hasle) Hasle 1995 |
| 20) <i>P. multistriata</i> (Takano) Takano 1995 |
| 21) <i>P. obtusa</i> (Hasle) Hasle & Lundholm 2005 |
| 22) <i>P. prolongatoides</i> (Hasle) Hasle 1993 |
| 23) <i>P. pseudodelicatissima</i> (Hasle) Hasle emend. Lundholm, Hasle & Moestrup in Lundholm et al. 2003 |
| 24) <i>P. pungens</i> (Grunow ex Cleve) Hasle 1993 |
| 25) <i>P. pungens</i> (Grunow ex Cleve) Hasle var. <i>cingulata</i> Villac in Villac & Fryxell 1998 |
| 26) <i>P. pungiformis</i> (Hasle) Hasle 1993 |
| 27) <i>P. roundii</i> Hernández-Becerril in Hernández-Becerril & Díaz-Almeyda 2006 |
| 28) <i>P. seriata</i> (Cleve) H. Peragallo in H. & M. Peragallo 1897-1908 |
| 29) <i>P. sinica</i> Qi & Wang in Qi et al. 1994 |
| 30) <i>P. subcurvata</i> (Hasle) Fryxell in Fryxell et al. 1991 |
| 31) <i>P. subfraudulentata</i> (Hasle) Hasle 1993 |
| 32) <i>P. subpacificata</i> (Hasle) Hasle 1993 |
| 33) <i>P. turgidula</i> (Hustedt) Hasle 1993 |
| 34) <i>P. turgiduloides</i> (Hasle) Hasle 1993 |

Tabla 3.1: Lista de especies y variedades del género *Pseudo-nitzschia* elaborada en base a Quiroga (2006) y modificada según Hasle (1993), Hasle & Lundholm (2005), Hernández-Becerril & Díaz-Almeyda 2006 y Lundholm et al. (2006).

grado de superposición de los extremos celulares en la colonia, la forma del contorno celular y de los extremos en vista valvar y cingular, el ancho valvar, el número de estrías y fíbulas en 10 µm y la presencia/ausencia de interespacio central. Otros caracteres diagnósticos, tales como la estructura de las bandas cingulares y el tipo de himen de los poroides, han sido incorporados para la diferenciación de algunas especies (Lundholm et al. 2003).

En este capítulo se describe la morfología de las especies de *Pseudo-nitzschia* halladas en el área de estudio, con los datos más distintivos obtenidos mediante el análisis al microscopio óptico y electrónico de barrido. Asimismo, se discuten sus semejanzas con las especies más afines, se brindan comentarios generales en relación a la distribución observada en el área de estudio (tratada en detalle en los capítulos 4 y 5) y se presenta una reseña bibliográfica sobre los antecedentes en la producción de ácido domoico.

3.2- RESULTADOS Y CONSIDERACIONES GENERALES

Pseudo-nitzschia americana (Hasle) Fryxell

Fig. 3.1 a-g

Fryxell in Hasle (1993): 318; Lundholm et al. (2002): 483-484, Figs 1-20; Orlova & Shevchenko (2002): 336-339, Fig. 1 a-f.; Kaczmarska et al. (2005): 4-7, Figs 2-13.

Basónimo: *Nitzschia americana* Hasle

Los especímenes se observaron exclusivamente solitarios, epifitos sobre *Odontella sinensis* y en setas de *Chaetoceros* sp. (Fig. 3.1a, d). Los frústulos son débilmente silicificados, lineares a lanceolados y con extremos ampliamente redondeados en vista valvar y truncados en vista cingular (Fig. 3.1a-d, f-g). El eje apical es de 13 a 25 µm y el eje transapical de 2,5 a 3,7 µm. Las fíbulas son muy silicificadas y se disponen regularmente espaciadas y en menor número que las estrías, 21–24 y 28–32 en 10 µm respectivamente (Fig. 3.1c, e). Cada estría está formada por dos hileras de poroides (8–10 en 1 µm), aunque algunas veces pueden presentar una tercera hilera incompleta, principalmente cerca del borde valvar (Fig. 3.1f-g). La valva no presenta interespacio central diferenciado (Fig. 3.1c). El cingulo está formado por tres bandas, de las cuales la valvocópula y la segunda banda son estriadas y la tercera es lisa (Fig. 3.1b).

Consideraciones generales: Hasle (1964) describe por primera vez a *P. americana* como *Nitzschia americana*. En esa oportunidad no le asigna holotipo, y es recién en 1974 cuando esta autora valida el nombre (Hasle 1974).

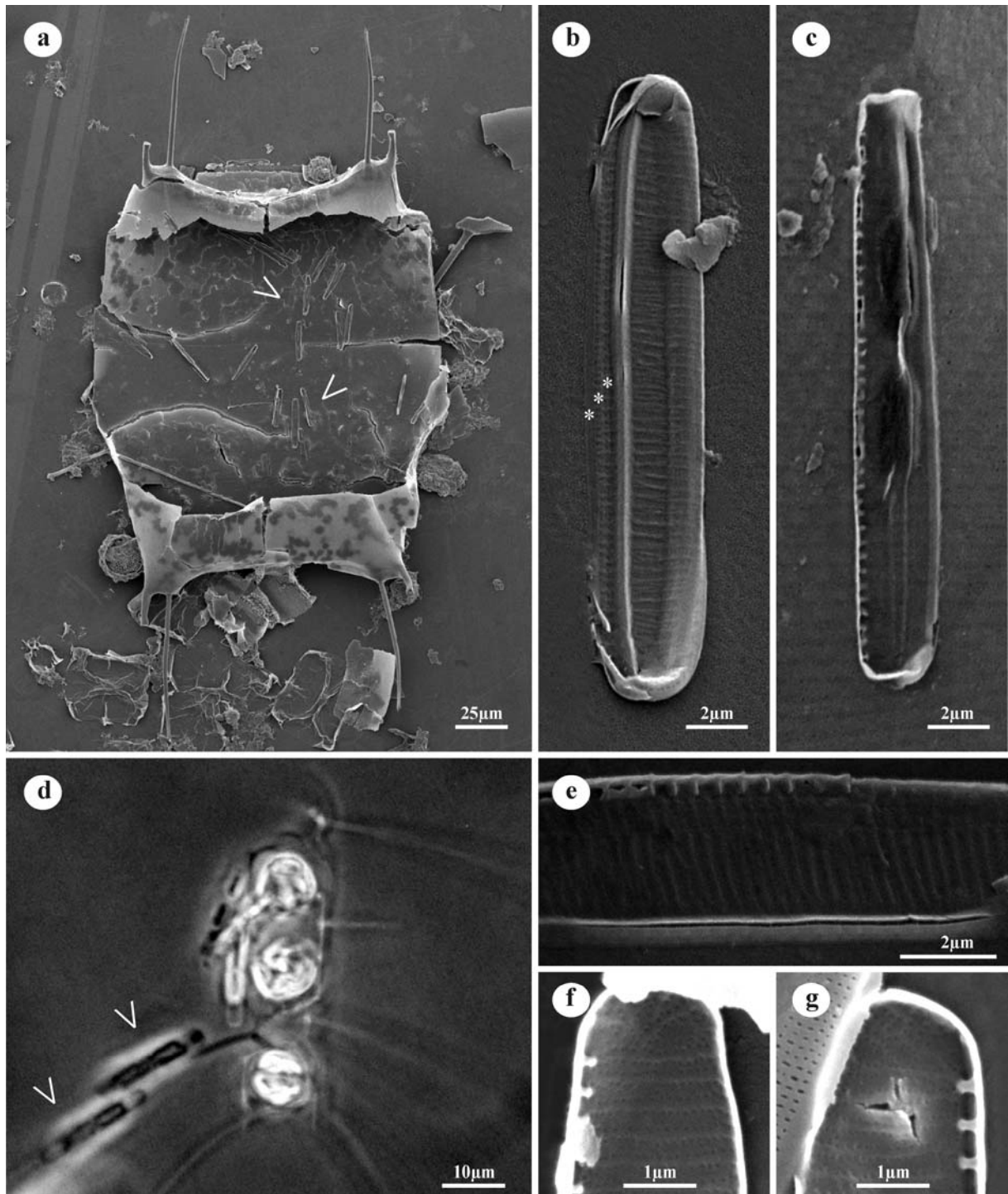


Figura 3.1: *P. americana*. a) organismos epifitos (flechas) sobre *Odontella sinensis* (MEB); b) Aspecto general de la valva y bandas cingulares (*) en vista externa (MEB); c) Aspecto general de la valva en vista interna (MEB); d) organismos epifitos (flechas) sobre setas de *Chaetoceros* sp., montajes en agua (MO); e) Detalle de la parte central de la valva mostrando la distribución de las estrías y de las fíbulas (MEB); f-g) Detalle de los dos extremos de una misma valva, en vista interna (MEB).

Esta especie es comúnmente observada como epífita de otras diatomeas, principalmente sobre *Odontella sinensis* y setas de *Chaetoceros* sp. y con menor frecuencia sobre

Bacteriastrum sp. (Lundholm et al. 2002). Sin embargo, también ha sido señalada como planctónica, formando las típicas colonias en cadenas que caracterizan al género (Kaczmarska et al. 2005). Este encuentro deja sin validez el carácter diferencial de no formación de colonias, atribuido para *P. americana* respecto a sus semejantes *P. brasiliiana* y *P. linea* (Lundholm et al. 2002).

Por el reducido tamaño del frústulo y sus extremos ampliamente redondeados en vista valvar, *P. americana* se asemeja a *P. turgidula*, de la cual se distingue fundamentalmente por la presencia en esta última de un interespacio central (Tabla 3.2).

Las diferencias morfológicas encontradas con otras de las especies relacionadas, *P. brasiliiana* y *P. linea*, son mucho menos evidentes y quedan restringidas principalmente a diferencias en la disposición de las estrías y fíbulas. En contraste con *P. americana*, *P. brasiliiana* posee estrías y fíbulas dispuestas en igual número (20–26 en 10 µm), mientras que *P. linea* se diferencia de las dos anteriores por presentar un mayor número de estrías (38–42 en 10 µm), (Lundholm et al. 2002). Por otro lado, *P. americana* y *P. brasiliiana* pueden distinguirse por las diferencias ultraestructurales de sus bandas. Según Lundholm et al. (2002), la valvocópula de *P. brasiliiana* posee una hilera de grandes poroides, mientras que en *P. americana* las estrías tienen dos poroides de ancho por tres de alto (poco evidente en la Fig. 3.1b). Las otras dos bandas son semejantes en ambas especies.

Los datos morfométricos registrados para *P. americana* en la plataforma del Mar Argentino, mostraron una buena correspondencia con los brindados por otros autores (Lundholm et al. 2002; Orlova & Shevchenko 2002; Kaczmarska et al. 2005) para distintas regiones (Tabla 3.2).

Material estudiado: E21 y E22 (Campaña GEF-1).

Distribución en el área de estudio: *P. americana* se observó exclusivamente en el Mar Argentino, registrándose en forma ocasional durante la primavera a los ~41°S.

Antecedentes en la producción de Ácido Domoico (AD): Análisis de AD en *P. americana*, realizados a partir de clones aislados en la Bahía de Monterey (EEUU), dieron resultados negativos (Villac et al. 1993).

Frenguelli (1939): 217, Pl.2, Fig. 13; Hasle (1965): 11-12, Pl. 4 Figs 3-4, Pl. 5 Figs 1-6, Pl. 6 Fig. 1; Sar et al. (1998): 183-185, Fig. 1; Ferrario et al. (1999): 134-137, Figs 2-10; Villac (1996): 97, Fig. 9 a-b, Fig. 33 a-e.

Sinónimo: *Nitzschia pseudoseriata* Hasle

Las células forman cadenas por superposición de los extremos en aproximadamente 1/3 del largo total (Fig. 3.2a). Los extremos celulares son agudos en vista cingular y ligeramente subrostrados en vista valvar (Fig. 3.2a, d). Las valvas son lanceoladas y en los organismos de menor talla, levemente asimétricas respecto al eje apical, con un lado suavemente recto y el otro levemente convexo (Fig. 3.2b-c). El eje apical es de 79 a 140 µm y el eje transapical es de 6 a 10 µm. La cantidad de estrías y fíbulas en 10 µm es aproximadamente la misma (12–19) y estas últimas no se encuentran interrumpidas por un interespacio central (Fig. 3.2e-f). Las estrías, dispuestas diagonalmente, están formadas por dos hileras de poroides circulares (4–5 en 1 µm) que dejan un marcado espacio liso entre ellas (Fig. 3.2d-f).

Consideraciones generales: *P. australis* fue descrita por Frenguelli (1939) sobre la base de material colectado en el Golfo San Matías, Río Negro. Sin embargo, a pesar de que el autor presenta la diagnosis en latín e ilustra adecuadamente a la nueva especie, omite la designación del holotipo. Por este motivo, Sar et al. (1998), basados en el Código Internacional de Nomenclatura Botánica (ICBN, Greuter et al. 2000), seleccionan la ilustración originalmente presentada por Frenguelli (1939, Pl. 2, Fig. 13) como holotipo de *P. australis* y designan al Golfo San Matías (42° 15'S, 62° 13'O) como su localidad tipo.

Entre las especies más semejantes a *P. australis* se encuentran *P. fraudulenta*, *P. heimii*, *P. seriata* y *P. obtusa*. *P. fraudulenta* y *P. heimii* se diferencian de *P. australis* fundamentalmente por la presencia de interespacio central, mientras que *P. seriata* se distingue por la ultraestructura de sus estrías. En *P. australis* cada estría esta formada por dos hileras de poroides, dispuestos de 4–6 en 1 µm y en *P. seriata* cada estría presenta de 3–5 hileras de poroides, en número de 7–8 en 1 µm (Skov et al. 1999).

P. obtusa, recientemente elevada al rango de especie por Hasle & Lundholm (2005), se diferencia de *P. australis* principalmente por la forma de los extremos valvares en vista cingular, los cuales son agudos en *P. australis* y truncados en *P. obtusa*. Asimismo, estas dos especies se diferencian por su ancho valvar, el cual es inferior en *P. obtusa* (2,9–5 µm),

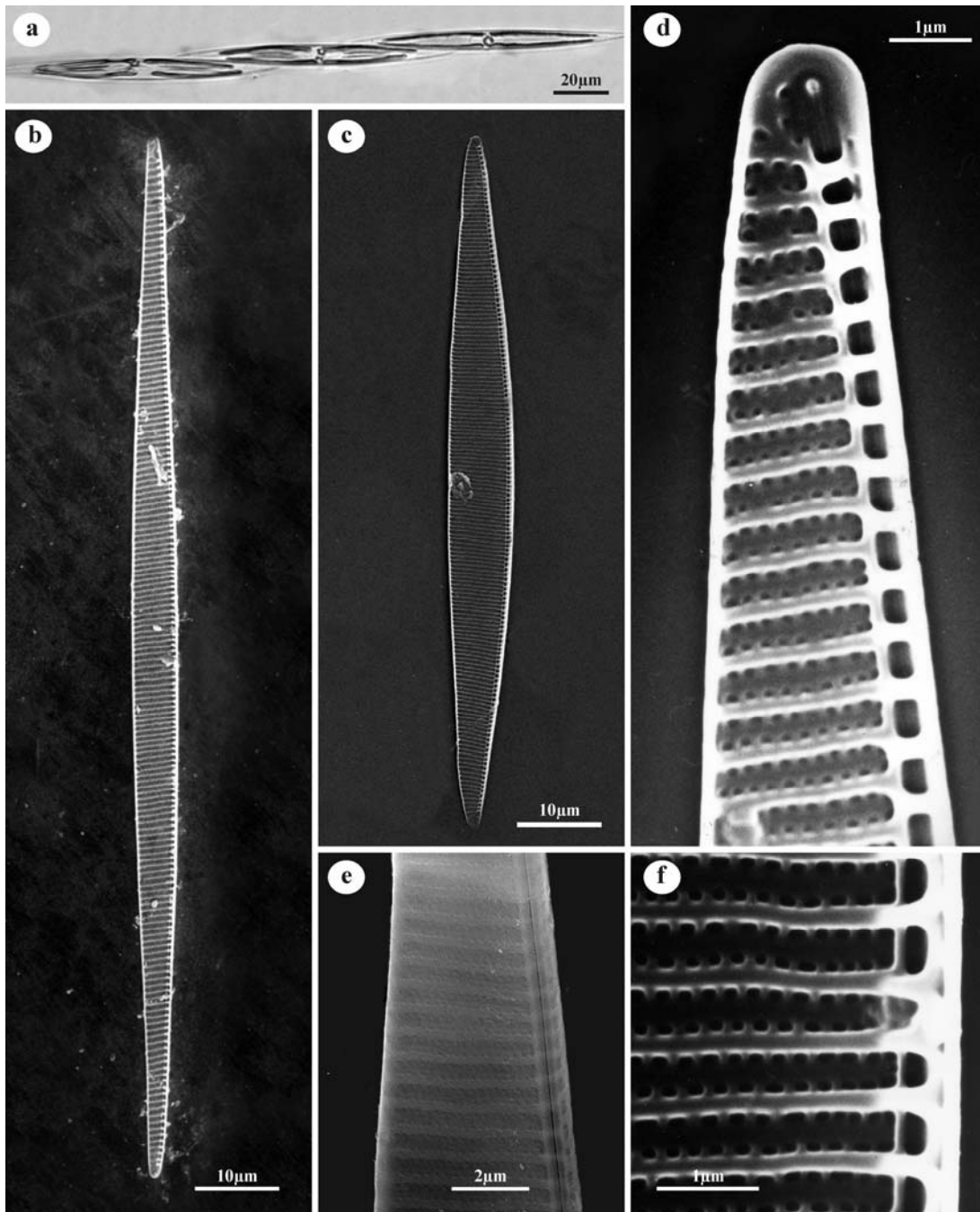


Figura 3.2: *P. australis*. a) Colonia de tres células en vista cingular (MO); b-c) Aspecto general de la valva en vista interna (MEB); d) Detalle del extremo valvar en vista interna, mostrando la distribución de las fíbulas y tipo de estrías (MEB); e) Detalle de parte de la valva en vista externa (MEB); f) Detalle de la parte central de la valva en vista interna (MEB).

así como por la presencia de un mayor número de poroides (6–8 en 1 μm) en las estrías de esta última especie (Tabla 3.2).

Material estudiado: E20b, E25, E305, E312 (Campaña ARGAU 3); E36 (Campaña GEF-1).

Distribución en el área de estudio: *P. australis* se observó solo en el Mar Argentino, registrándose en forma frecuente entre los ~38–54°S.

Antecedentes en la producción de Ácido Domoico: La producción de AD en *P. australis* fue detectada por primera vez en septiembre de 1991, durante un episodio de intoxicación en la Bahía de Monterey (EEUU) que ocasionó la mortandad masiva de pelícanos (*Pelecanus occidentalis*) y cormoranes (*Phalacrocorax penicillatus*) (Buck et al. 1992; Fritz et al. 1992; Garrison et al. 1992). Desde entonces, numerosos estudios han confirmado la producción de AD en cultivos de *P. australis* y mencionado su vinculación con episodios de intoxicación tanto en aves como en mamíferos marinos (Ej. Miguez et al. 1996; Fraga et al. 1998; Sierra-Beltrán et al. 1998; Scholin et al. 2000; Anderson et al. 2006; Schnetzer et al. 2007).

En el Cono Sur Americano, la presencia de AD y su relación con *P. australis* fue detectada por primera vez en Chile en muestras de almejas (*Venus antiqua*), (Ferrario et al. 2002). En Argentina, el primer registro de AD se produjo en julio de 2000, en aguas de la plataforma continental próximas a la ciudad de Mar del Plata. En aquella oportunidad, la presencia de AD fue detectada en muestras de fitoplancton, en mejillones (*Mytilus edulis*) y anchoitas (*Engraulis anchoita*), durante una floración de *Pseudo-nitzschia australis* (Negri et al. 2004).

***Pseudo-nitzschia fraudulenta* (Cleve) Hasle**

Fig. 3.3 a-g

Takano & Kuroki (1977): 43, Figs 3, 14-18; Hasle (1993): 318; Hasle et al. (1996): 144-146 Figs 17-19, 57-61; Villac (1996): 100: Fig. 35; Kaczmarek et al. (2005): 8-11, Figs 24-26.

Basónimo: *Nitzschia fraudulenta* Cleve

Sinónimo: *Pseudo-nitzschia seriata* var. *fraudulenta* (Cleve) H. Peragallo

Las células forman colonias por superposición de sus extremos en 1/5 a 1/7 del largo total. En vista conectival son linear-lanceoladas con extremos aguzados (Fig. 3.3a). Los frústulos son generalmente poco silicificados. Las valvas son lanceoladas, simétricas respecto al eje apical (Fig. 3.3b-c), con extremos aguzados (Fig. 3.3d, f). El eje apical es de 58 a 97 µm y el eje transapical de 5 a 7 µm. Las fíbulas (21–24 en 10 µm) se disponen en cantidad semejante a las estrías (23–25 en 10 µm), y delimitan un interespacio central grande, equivalente a 3–4 estrías (Fig. 3.3e, g). Las estrías están compuestas por dos hileras de poroides densamente ubicados (6 en 1 µm), sin dejar espacio libre entre ellos (Fig. 3.3d).

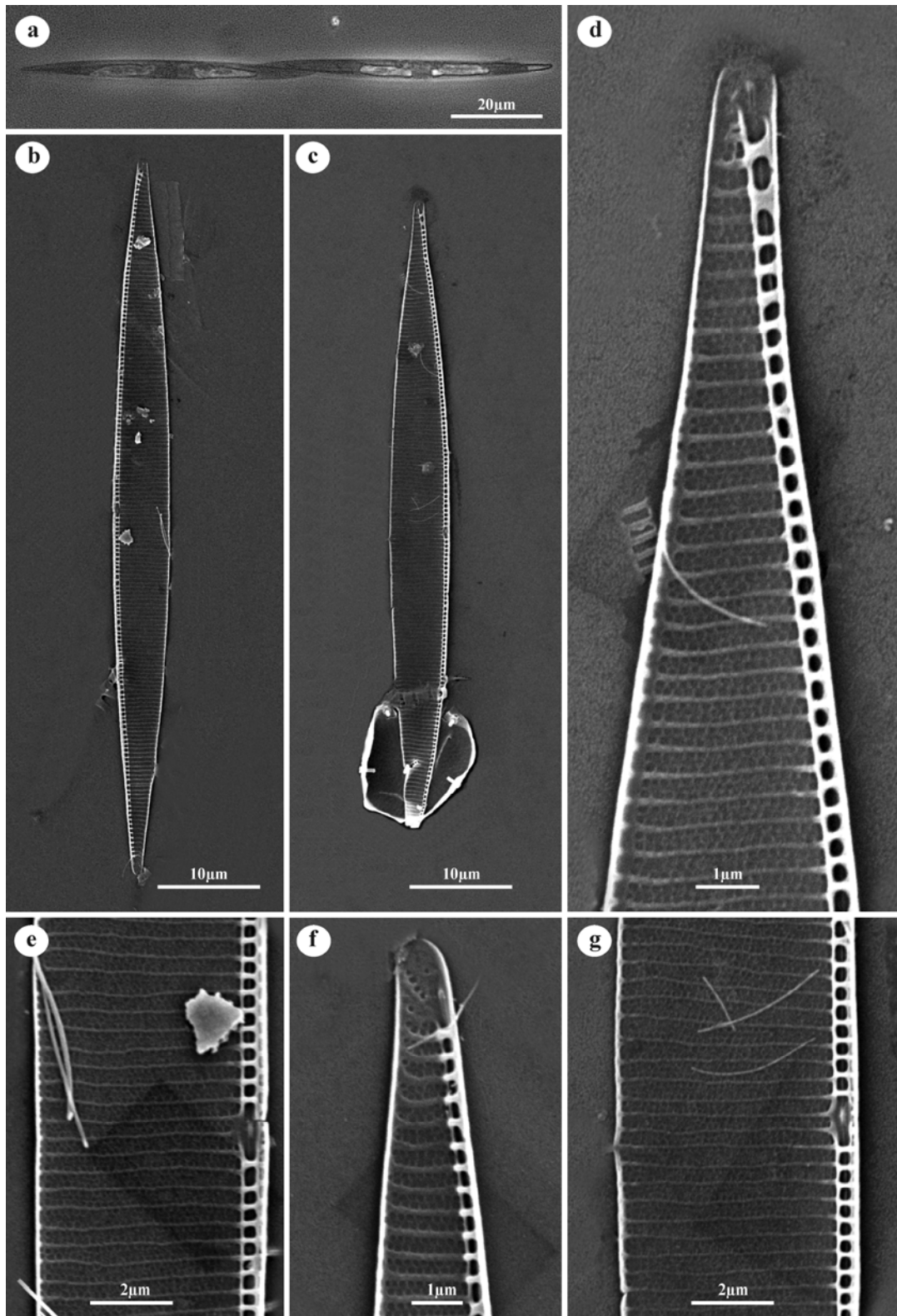


Figura 3.3: *P. fraudulentum*. a) Colonia de dos células en vista circular (MO); b-c) Aspecto general de la valva en vista interna (MEB); d, f) Detalle de diferentes extremos valvares en vista interna (MEB); e, g) Detalle de la parte central de la valva mostrando el interespacio central (MEB).

Consideraciones generales: *P. fraudulenta* fue descrita por Cleve (1897) bajo el nombre de *Nitzschia fraudulenta*. Más tarde Hasle (1993) transfirió a esta especie al género *Pseudo-nitzschia*.

P. fraudulenta es morfológicamente semejante a *P. australis*, *P. heimii* y *P. subfraudulenta*. De *P. australis* se diferencia fundamentalmente por la presencia de interespacio central y por sus frústulos menos silicificados, y de *P. heimii* por presentar un contorno valvar simétrico y una distribución de estrías y fíbulas en igual número (Tabla 3.2). A diferencia de *P. fraudulenta*, *P. subfraudulenta* presenta un contorno valvar con márgenes rectos a lo largo de la mayor parte del eje apical y una mayor densidad de estrías que de fíbulas (Fryxell & Hasle 2004).

Comparativamente, los ejemplares observados durante el desarrollo de esta tesis fueron relativamente más cortos (<100 µm) respecto a los registrados (hasta 160 µm) para algunos lugares de Irlanda y Estados Unidos (Cusack et al. 2004; Villac 1996).

Material estudiado: E301, E303 (Campaña ARGAU 3); E33 (Campaña GEF-1).

Distribución en el área de estudio: *P. fraudulenta* fue hallada únicamente en el Mar Argentino, observándose en forma ocasional entre los ~43–45°S.

Antecedentes en la producción de Ácido Domoico: A partir de cepas aisladas en aguas costeras de Nueva Zelanda, Rhodes et al. (1998) detectaron la producción de AD por primera vez en *P. fraudulenta*. Recientemente, Sastre et al. (2007) registraron la presencia de AD en muestras de fitoplancton colectadas en sitios costeros de la provincia de Chubut, Argentina. Los análisis microscópicos revelaron la presencia de dos especies de *Pseudo-nitzschia*, *P. fraudulenta* y *P. pungens*, ambas mencionadas como productoras de AD en otras regiones del planeta (Tabla 1.1). Sin embargo, solo *P. fraudulenta* fue observada en elevadas concentraciones en las muestras, por lo cual los autores infirieron que esta última podría ser la responsable de la producción de AD.

***Pseudo-nitzschia heimii* Manguin**

Fig. 3.4 a-g

Manguin (1957): 131, Pl. 6, Fig. 43a-c; Hasle (1965): 21-23, Pl. 1 Figs 6-7, Pl. 10 Figs 9-13, Pl. 11 Figs 1-7; Simonsen (1974): 51, Pl. 36, Figs 4-5; Hasle et al. (1996): 146-147, Figs 20, 65-69; Ferrario & Licea (2006): 3-5, Figs 2-9.

Sinónimo: *Nitzschia heimii* (Manguin) Hasle

Las células generalmente forman cadenas cortas (2–3 individuos), con una superposición de los extremos valvares de aproximadamente 1/4 del largo total (Fig. 3.4a). En vista cingular, los frústulos son algo sigmoideos con los extremos oblicuamente truncados (Fig. 3.4a). Las valvas son lanceoladas en vista valvar, levemente asimétricas respecto al eje apical, presentando un lado recto y el otro levemente convexo (Fig. 3.4b-c), y extremos redondeados a subrostrados (Fig. 3.4d-e). El eje apical es de 79 a 126 μm y el eje transapical de 4 a 6 μm . Sobre la superficie valvar las estrías están distribuidas en mayor densidad (19–24 en 10 μm) que las fíbulas (12–16 en 10 μm). Cada estría está formada por dos hileras de poroides regularmente distribuidos (4–7 in 1 μm), excepto en los extremos valvares donde pueden ser uniseriadas (Fig. 3.4d-e). Las fíbulas delimitan un interespacio central el cual se corresponde con tres a cinco estrías de la superficie valvar (Fig. 3.4f). El manto valvar posee poroides distribuidos irregularmente, generalmente dos poroides de ancho y dos de alto (Fig. 3.4g).

Consideraciones generales: *P. heimii* fue descrita por Manguin (1957) sobre la base de material recolectado en la Antártida.

Entre las especies de mayor similitud morfológica con *P. heimii* se encuentran *P. australis* y *P. seriata*, las cuales generalmente coinciden en sus dimensiones y en la leve asimetría del frústulo. Sin embargo, estas últimas se diferencian de *P. heimii*, principalmente por la ausencia de interespacio central.

Material estudiado: E68, E290, (Campaña ARGAU 3); E1, E5, E15 (Campaña ARGAU 4).

Distribución en el área de estudio: *P. heimii* fue observada en forma ocasional en las dos regiones analizadas, registrándose al sur de los $\sim 51^\circ\text{S}$ en el Mar Argentino, y al norte de los $\sim 62^\circ\text{S}$ en el Mar de Weddell.

Antecedentes en la producción de Ácido Domoico: En condiciones de cultivo, las pruebas de producción de AD para cepas de *P. heimii* aisladas en Nueva Zelanda resultaron negativas (Rhodes 1998).

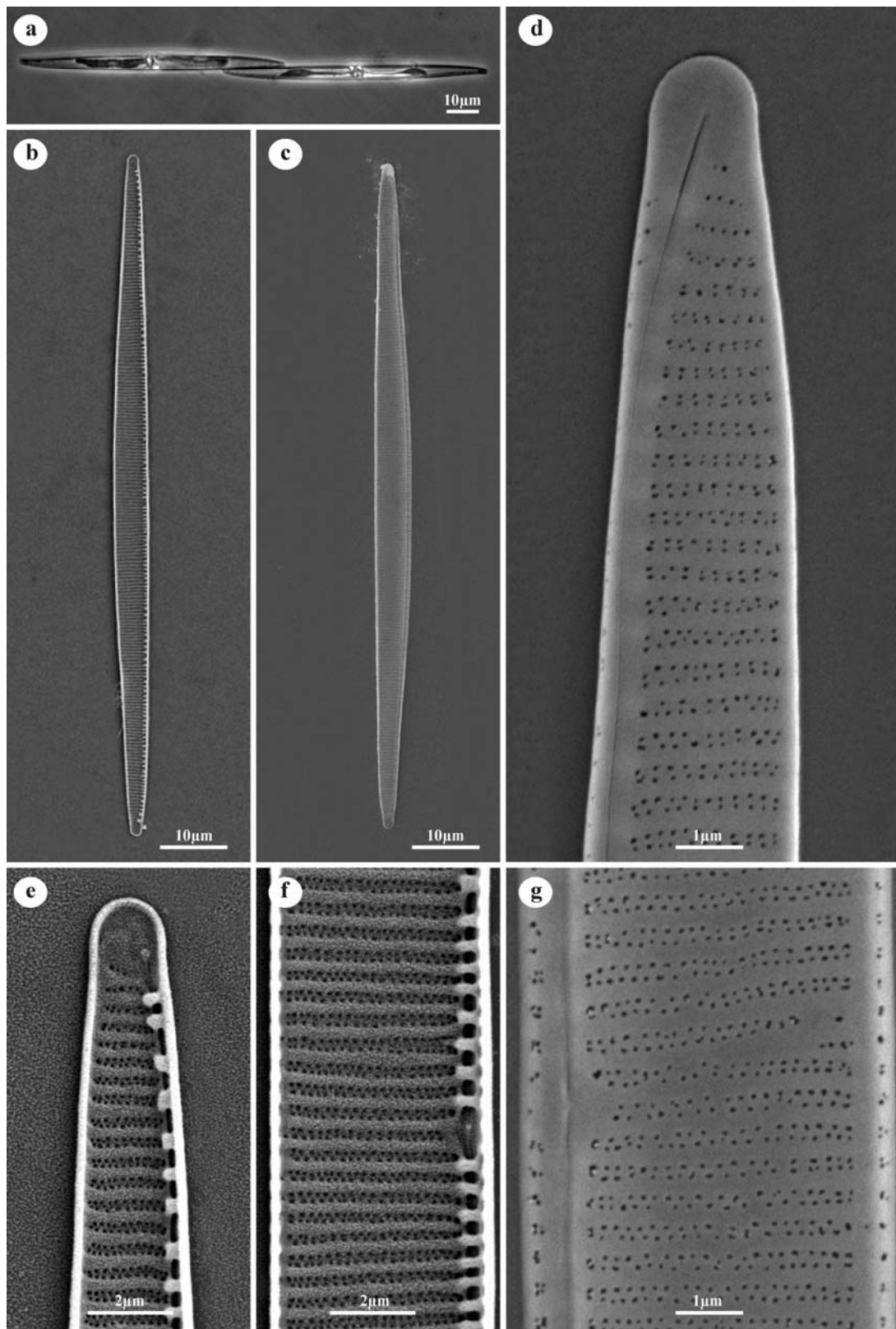


Figura 3.4: *P. heimii*. a) Colonia de dos células en vista circular (MO); b-c) Aspecto general de la valva en vista interna y externa respectivamente (MEB); d-e) Detalle de diferentes extremos valvares en vista externa e interna respectivamente (MEB); f) Detalle de la parte central de la valva mostrando el tipo de estrías y el interespacio central en vista interna (MEB); g) Detalle de la parte central de la valva en vista externa, mostrando el tipo de manto, distal y proximal (MEB).

Hasle (1965): 29-33, Pl. 12 Figs 15-21; Hasle (1993): 319; Hernández-Becerril (1998): 80-82, Figs 12-16; Ferrario & Licea (2006): 5-9, Figs 10-16.

Basónimo: *Nitzschia lineola* Cleve

Sinónimo: *Nitzschia barkleyi* Hustedt

Las células forman cadenas generalmente de hasta 5–6 individuos, con una superposición de los extremos de aproximadamente 1/5 del largo total (Fig. 3.5a). Las valvas son lineares a suavemente lanceoladas (Fig. 3.5b-d) y con extremos agudos (Fig. 3.5e, g-i). El eje apical es de 36 a 108 μm y el eje transapical de 1,9 a 2,7 μm . Algunos pocos especímenes, generalmente de largos mayores a 100 μm , presentan una leve expansión en la parte central de la valva (Fig. 3.5d). Las fíbulas se distribuyen en forma algo irregular a lo largo del sistema del rafe marginal (Fig. 3.5e), 11–18 en 10 μm , y delimitan un pequeño interespacio central que se corresponde con dos o tres estrías de la superficie valvar (Fig. 3.5f, j). Las estrías (22–28 en 10 μm) están generalmente formadas por una hilera de poroides circulares en la mayor parte de la valva (4–6 en 1 μm), a excepción de uno de los extremos donde son biseriadas (Fig. 3.5e, h). El manto valvar es bajo y presenta estrías formadas generalmente por 1 poroide de alto y 1-2 de ancho (Fig. 3.5f).

Consideraciones generales: En 1897 Cleve describe a *P. lineola* como *Nitzschia lineola*, registrándola en varias localidades, especialmente en el Océano Atlántico, donde establece su localidad tipo a los 60° 03'N, 5° 51'O.

Entre las especies más semejantes a *P. lineola* se encuentran *P. calliantha*, *P. pseudodelicatissima* y *P. turgiduloides*. Las dos primeras especies se diferencian de *P. lineola* principalmente por la mayor cantidad de estrías que presentan y por su condición exclusivamente uniseriada (Lundholm et al. 2003). Por otro lado, *P. turgiduloides* se superpone con la mayoría de los caracteres morfométricos de *P. lineola* (largo, ancho, cantidad de estrías y fíbulas en 10 μm). Las principales diferencias entre estas dos especies están dadas por la forma de los extremos valvares, agudos en *P. lineola* y redondeados en *P. turgiduloides*, así como por la cantidad de poroides que conforman la estría (4–6 y 7–10 en 1 μm respectivamente).

En los organismos de *P. lineola* analizados en la zona de confluencia Weddell-Scotia (Antártida), se observó una mayor proporción de ejemplares de pequeño tamaño (< 60 μm) y forma suavemente lanceolada (Fig. 3.5b). Por otro lado, en el Mar Argentino, unos pocos

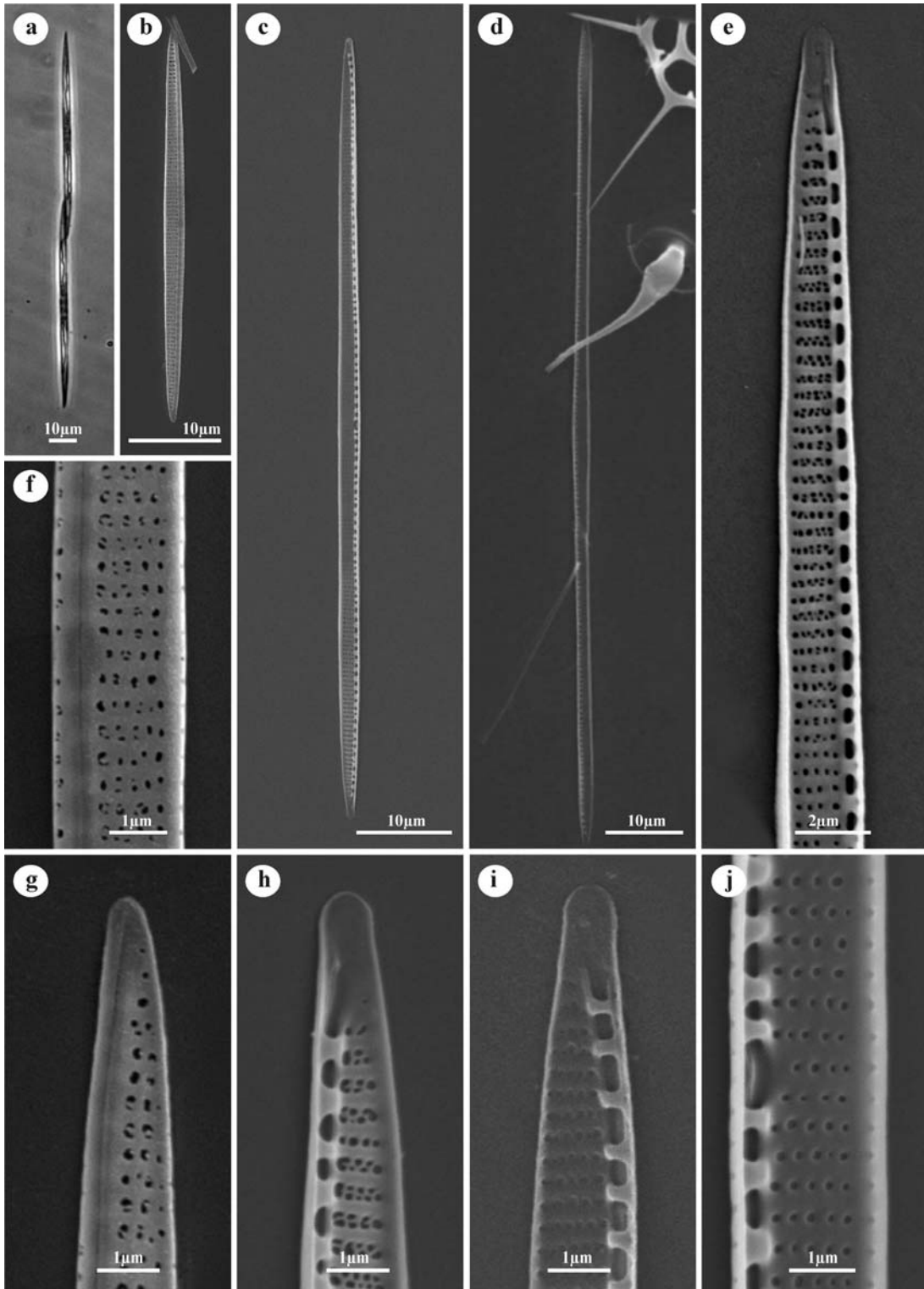


Figura 3.5: *P. lineola*. a) Colonia de dos células en vista cingular (MO); b) Aspecto general de la valva en vista externa (MEB); c-d) Aspecto general en vista valvar interna (MEB); e) Detalle del extremo valvar en vista interna (MEB). Note la presencia de estrías con una y dos hileras de poroides, hacia el centro y extremo respectivamente; f) Parte central de la valva, detalle de la superficie valvar y el manto en vista externa (MEB); g) Detalle de uno de los extremos valvares en vista externa; h-i) Detalle de los extremos valvares en vista interna, mostrando estrías con una (i) y dos (h) hileras de poroides (MEB); j) Detalle de la parte central de la valva e interspacio central en vista interna (MEB).

ejemplares estudiados presentaron un mayor número de estrías (29–32) que el máximo de 28 mencionado en la bibliografía (Tabla 3.2).

Material estudiado: E77, E85, E290 (Campaña ARGAU 3); E1, E7 (Campaña ARGAU 4); E21, E40 (Campaña GEF-1).

Distribución en el área de estudio: *P. lineola* fue hallada en las dos regiones analizadas, observándose en forma ocasional en el Mar Argentino (~43–52°S) y ampliamente distribuida en el Mar de Weddell (~61–78°S).

Antecedentes en la producción de Ácido Domoico: Las pruebas de toxicidad realizadas en cepas de *P. lineola* aisladas en aguas antárticas resultaron negativas para la producción de AD (Kang et al. 1993).

***Pseudo-nitzschia prolongatoides* (Hasle) Hasle**

Fig. 3.6 a-j

Manguin (1957): 132, Pl. 7, Fig. 46; Hasle (1965): 25-28, Pl. 1 Fig. 8, Pl. 2 Figs 11-13, Pl. 12 Figs 7-8, Pl. 13 Figs 1-2; Hasle (1993): 319.

Basónimo: *Nitzschia prolongatoides* Hasle

Sinónimo: *Nitzschia prolongata* Manguin non Hustedt

Las células se presentan solitarias o unidas de a dos, con una superposición de los extremos de aproximadamente 1/15 a 1/25 del largo total (Fig. 3.6b). Con menor frecuencia se observan en colonias estrelladas, constituidas por 4 células unidas por uno de sus extremos (Fig. 3.6a). Las valvas son débilmente silicificadas, linear-fusiformes, expandidas en el centro y levemente en los extremos, que son espatulados (Fig. 3.6c-j). El eje apical es de 18 a 91 μm y el eje transapical de 1,5 a 2,6 μm . Las fíbulas se disponen en forma homogénea a lo largo del sistema del rafe marginal, 16–21 en 10 μm , y delimitan un interespacio central (Fig. 3.6h). Las estrías (29–33 en 10 μm), están formadas por dos a tres hileras de poroides (10–13 en 1 μm), observadas con mayor claridad en los extremos valvares (Fig. 3.6g, i-j).

Consideraciones generales: *P. prolongatoides* fue originalmente descrita por Manguin (1957), bajo el nombre de *Nitzschia prolongata*. Dado que el nombre utilizado por Manguin es ilegítimo por ser homónimo posterior de *N. prolongata* Husted (1938), Hasle (1965) le

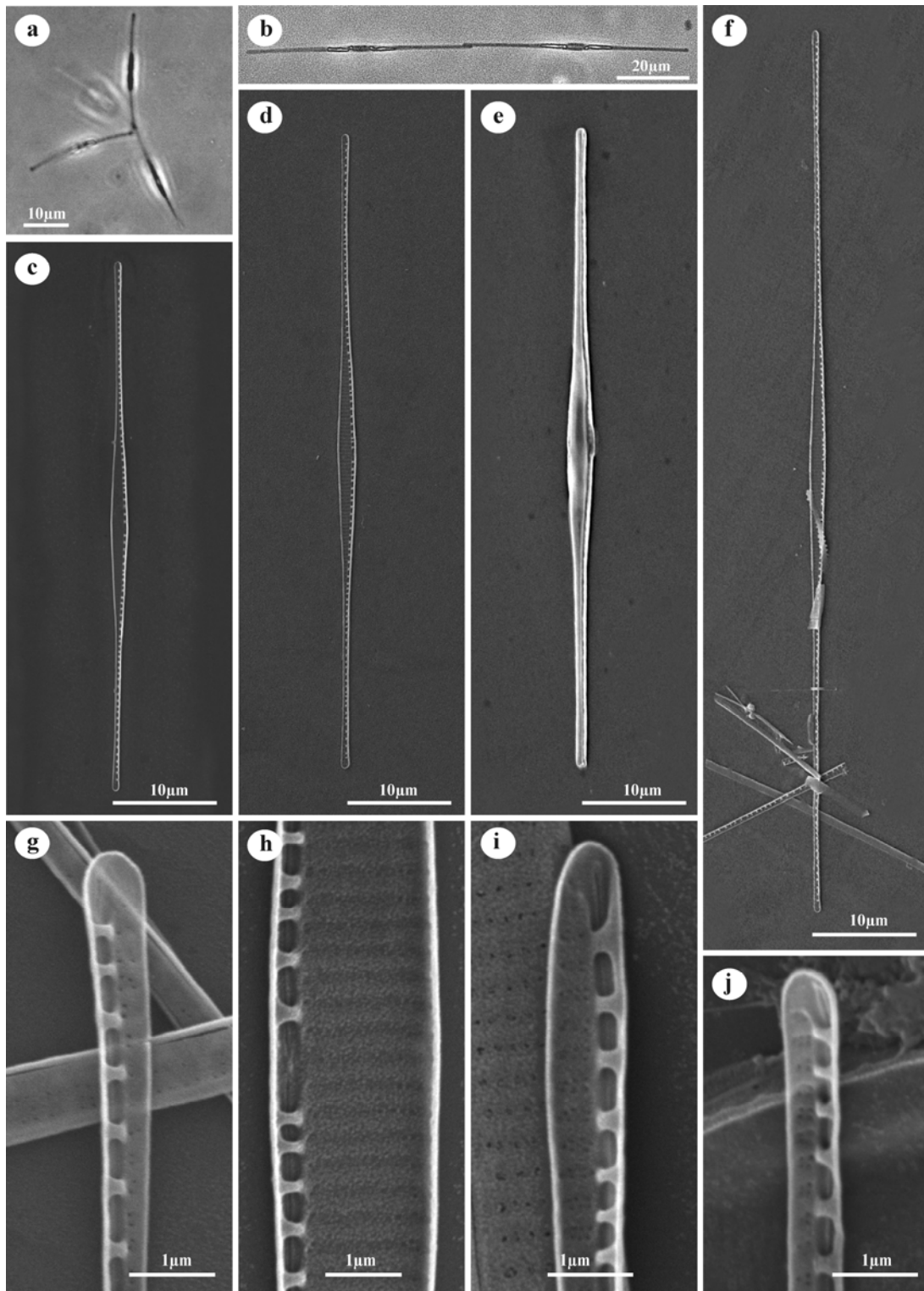


Figura 3.6: *P. prolongatoides*. a-b) Diferentes tipos de colonias: a) Colonia estrellada de cuatro células (MO); b) Colonia de dos células en vista cingular (MO); c-f) Aspecto general de la valva, en vista interna (c-d, f) y externa (e), (MEB); g, i-j) Detalle de los extremos valvares en vista interna (MEB); h) Detalle de la parte central de la valva e interespacio central, en vista interna (MEB).

asigna al taxón un nuevo nombre, *N. prolongatoides*. Más tarde, esta misma autora transfiere la especie al género *Pseudo-nitzschia* (Hasle 1993).

El tipo de colonia en forma de estrella que presentaron los especímenes más pequeños en *P. prolongatoides*, mencionado anteriormente por Hasle (1965), no ha sido descrita para ninguna otra especie de este género. Entre las especies más semejantes a *P. prolongatoides* se encuentran *P. subcurvata*, *P. granii* y *P. galaxiae*. De *P. subcurvata* se diferencia principalmente por presentar contornos valvares simétricos respecto al eje apical, interespacio central, extremos rostrados y un menor número de estrías (Tabla 3.2). *P. galaxiae* se diferencia del resto de las especies de *Pseudo-nitzschia* por la presencia de pequeñas perforaciones dispersas sobre el frústulo y la ausencia de poroides (Lundholm & Moestrup 2002), y en particular de *P. prolongatoides*, por el número de estrías marcadamente superior (56–64 en 10 µm). Por último, *P. granii* se diferencia de *P. prolongatoides* por la ausencia de interespacio central, así como por la mayor cantidad de estrías (~50 en 10 µm) y el menor número de poroides, 6–7 en 1 µm (Hasle 1964).

Durante los análisis al MEB, los poroides que conforman las estrías de *P. prolongatoides* fueron sumamente difíciles de distinguir, observándose en forma clara únicamente en los extremos de algunas valvas (Fig. 3.6g, i, j), característica señalada anteriormente por Hasle (1965).

Material estudiado: E73, E77, E85 (Campaña ARGAU 3); E5, E7, E21 (Campaña ARGAU 4).

Distribución en el área de estudio: *P. prolongatoides* fue hallada exclusivamente en el Mar de Weddell, observándose en forma frecuente entre los ~61–78°S.

Antecedentes en la producción de Ácido Domoico: En base a la bibliografía consultada, hasta el presente no existen estudios destinados a evaluar la producción de AD para esta especie.

Pseudo-nitzschia pungens (Grunow ex Cleve) Hasle

Fig.3.7 a-j

Takano & Kuroki (1977): 42-43, Figs 1, 4-8; Hasle (1993): 319; Hasle et al. (1996): 138-140, Figs 3-6, 30-37; Ferrario et al. (1999): 140-141, Figs 15-20; Kaczmarek et al. (2005): 16, Figs 48-52; Casteleyn et al. (2008): 241-157, Fig. 4 a-d.

Basónimo: *Nitzschia pungens* Grunow ex Cleve

Las células forman colonias por superposición de los extremos en aproximadamente 1/3 del largo total (Fig. 3.7a). Los frústulos son fuertemente silicificados, lanceolar-fusififormes con extremos aguzados en vista valvar (Fig. 3.7d-f) y con un eje perivalvar alto en vista cingular (Fig. 3.7a). El eje apical es de 77 a 133 μm y el eje transapical es de 3 a 5 μm . Las fíbulas se disponen en cantidad semejante a las estrías (9–13 en 10 μm), sin delimitar un interespacio central (Fig. 3.7h). Las estrías están formadas por dos hileras de poroides (3–4 en 1 μm), aunque algunas valvas presentan ocasionalmente estrías de una sola hilera intercaladas entre las anteriores (Fig. 3.7h). Los poroides son circulares y se ubican cercanos al borde de las interestrías, dejando un amplio espacio entre las dos hileras (Fig. 3.7f, h, i). En los frústulos bien silicificados y sin contenido orgánico, los poroides pueden distinguirse al microscopio óptico (Fig. 3.7b). El manto valvar posee estrías con un poroide de alto y uno–dos de ancho (Fig. 3.7g, i). Las bandas cingulares poseen una hilera de poroides, las cuales al microscopio óptico le confieren un aspecto estriado (Fig. 3.7c). Entre ellas se destaca la valvocópula, más ancha que el resto de las bandas, y con poroides de mayor tamaño (Fig. 3.7g, j).

Consideraciones generales: *P. pungens* fue la primera especie reconocida de las ahora agrupadas en el género *Pseudo-nitzschia*, en base a material procedente de la Bahía de Yeddo, Japón. Inicialmente solo figuró escrito el nombre de la especie seguido por el de Grunow, en el preparado N° 307 de la colección de Cleve & Moller (1882). Posteriormente, fue Cleve (1897) quien la describe e ilustra por primera vez, tomando como referencia ese mismo preparado y a Grunow como su autor. Por esto, la correcta citación del autor (ICBN Art. 46.4) es Grunow ex Cleve (Hasle et al. 1996).

Los *taxa* más relacionados con *P. pungens* son *P. pungens* var. *cingulata*, *P. multiseriis* y *P. pungiformis*. El contorno valvar y los datos morfométricos (largo, ancho, densidad de estrías y fíbulas) entre estos tres *taxa* y *P. pungens* son similares. Asimismo también son muy pequeñas las diferencias morfológicas ultraestructurales entre *P. pungens* var. *cingulata* y la variedad tipo. Ambas tienen estrías formadas por dos hileras de poroides y algunas veces con una tercera hilera incompleta. Esta última característica conlleva a la formación de un continuo con *P. multiseriis*, especie que se diferencia de las anteriores por presentar estrías formadas por tres a cinco hileras de poroides, dispuestos de 4–6 en 1 μm (Villac & Fryxell 1998). La diferencia más evidente está relacionada con la estructura de la valvocópula, la cual tiene solo una hilera de poroides en *P. pungens* y más de una en *P. pungens* var. *cingulata* y *P. multiseriis* (Villac & Fryxell 1998, Hasle et al.

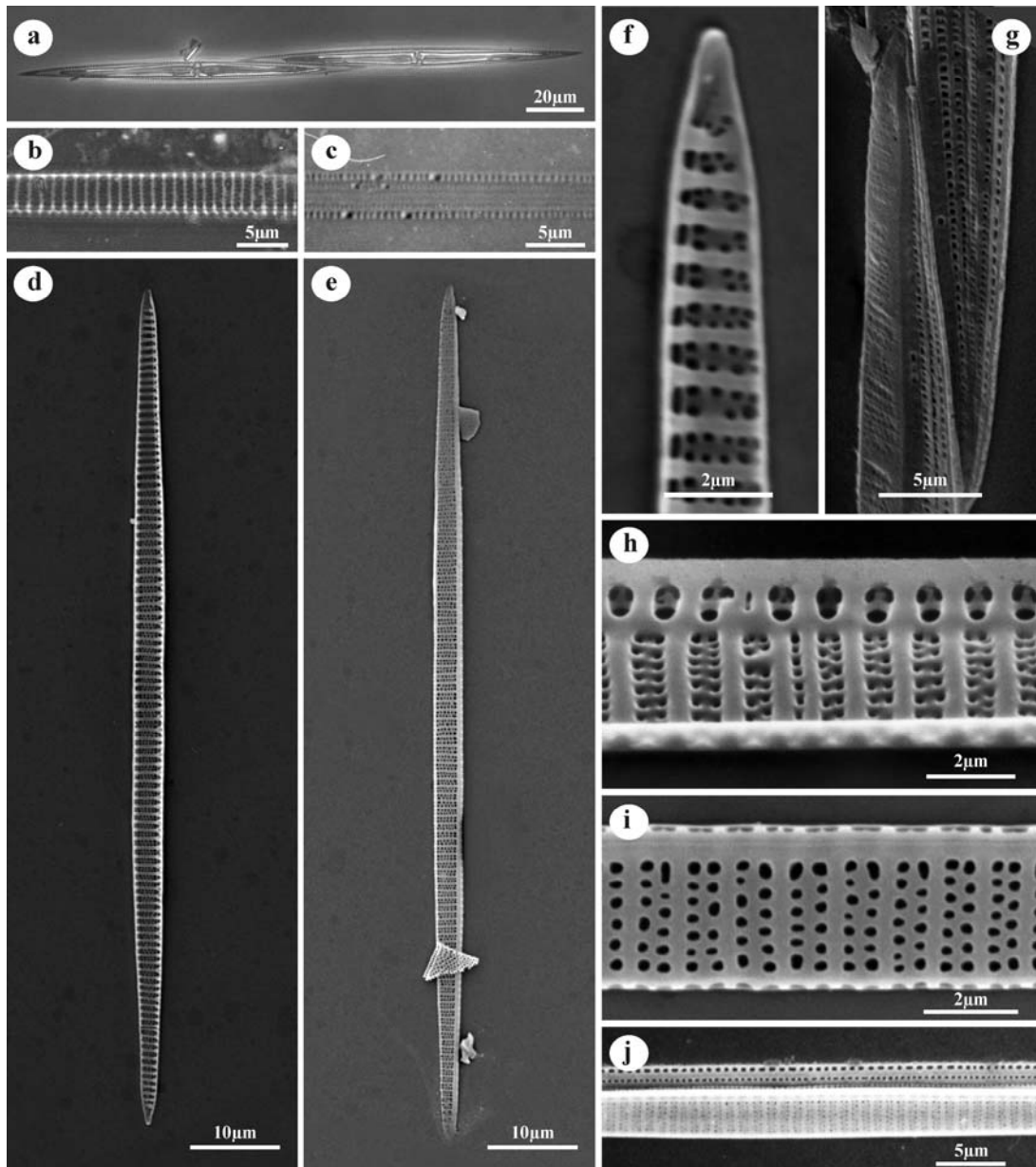


Figura 3.7: *P. pungens*. a) Colonia de dos células en vista cingular (MO); b) Detalle de las estrías en la parte central de la valva (MO); c) Detalle del frústulo en vista conectival mostrando la estructura de las bandas cingulares (MO); d-e) Aspecto general de la valva en vista interna (d) externa (e), (MEB); f) Detalle de uno de los extremos valvares en vista interna (MEB); g) Detalle de la superposición de los extremos valvares. Note detalles de las bandas (MEB); h) Detalle de la parte central de la valva en vista interna. Note la ausencia de interespacio central y la presencia ocasional de estrías uniseriadas, (MEB); i) Parte central de la valva, detalle de la superficie valvar y el manto en vista externa (MEB); j) Valva en vista externa. Note detalle de las bandas cingulares (MEB).

1996). Estudios recientes (Casteleyn et al. 2008), donde se analiza la variación genética y morfológica de poblaciones de *P. pungens* de diferentes regiones geográficas, confirman las diferencias entre la variedad tipo y *P. pungens* var. *cingulata*. Finalmente, la presencia de interespacio central en *P. pungiformis* (Hasle 1971) separa a esta especie de *P. pungens*.

Material estudiado: E8, E14, E20b, E306, E312 (Campaña ARGAU 3).

Distribución en el área de estudio: *P. pungens* se observó solo en el Mar Argentino, registrándose con frecuencia entre los ~38–54°S.

Antecedentes en la producción de Ácido Domoico: A partir de cepas aisladas en aguas costeras de Nueva Zelanda, Rhodes et al. (1996) dan a conocer por primera vez a *P. pungens* como productora de AD. Sin embargo, hasta el presente, esta especie no ha sido vinculada a episodios de toxicidad en el Cono Sur Americano. En la Argentina, cepas provenientes del Golfo de San Matías no presentaron producción de toxinas en condiciones de cultivo (Sar et al. 2006).

Pseudo-nitzschia subcurvata (Hasle) Fryxell

Fig. 3.8 a-i

Hasle (1964): 28-31, Pl. 1 Fig. 3, Pl. 12 Figs 14-16, Pl. 13 Figs 1-6; Fryxell et al. (1991): 235-245, Figs 1-17; Ferrario & Licea (2006): 11, Figs 21-24.

Basónimo: *Nitzschia subcurvata* Hasle

Las células generalmente se observan solitarias o agrupadas en cadenas cortas (2 o 3 individuos), con una superposición de los extremos de aproximadamente 1/6 a 1/7 del largo total (Fig. 3.8a). Las valvas son asimétricas (arqueadas) respecto al eje apical, con un lado más o menos recto o levemente cóncavo y el otro convexo (Fig. 3.8b-d). La parte central de la valva presenta una expansión que se atenúa en forma brusca hacia los extremos, los cuales son suavemente rostrados (Fig. 3.8e-f). El eje apical es de 37 a 86 µm y el eje transapical en la parte media es de 1,3 a 2 µm. Las fíbulas se distribuyen en forma irregular a lo largo del sistema del rafe, generalmente entre 12–18 en 10 µm (raramente 22) y no delimitan un interespacio central (Fig. 3.8g-i). Las estrías, normalmente 43–49 en 10 µm (excepcionalmente 55), están ubicadas en forma oblicua respecto al eje apical y formadas por una hilera de poroides, dispuestos de 6–8 en 1 µm (Fig. 3.8g-i).

Consideraciones generales: *P. subcurvata* fue creada como *Nitzschia subcurvata* por Hasle (1964), en base a muestras de agua y hielo colectadas en el Océano Austral (Antártida). Más tarde Fryxell et al. (1991) la transfirieron al género *Pseudo-nitzschia*.

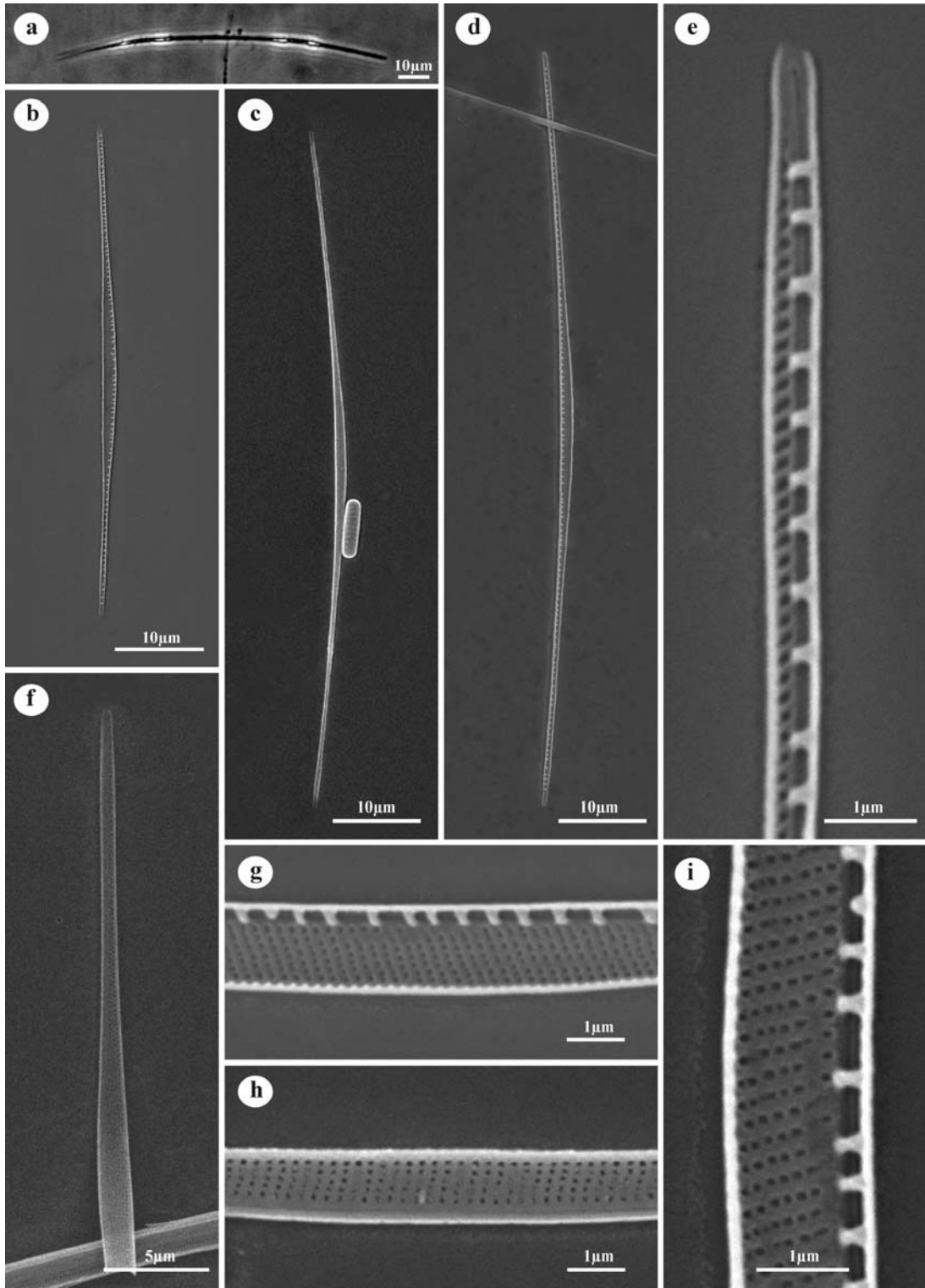


Figura 3.8: *P. subcurvata*. a) Colonia de dos células en vista cingular (MO); b-d) Aspecto general de la valva en vista interna (b, d) y externa (c), (MEB); e-f) Detalle de los extremos valvares en vista interna (e) y externa (f), (MEB); g-i) Detalle de la parte central de la valva en vista interna (g, i) y externa (h), mostrando la ausencia del interspacio central y el detalle de la distribución de las estrías y fíbulas (MEB).

Entre las especies más semejantes a *P. subcurvata* se encuentran *P. granii* y *P. prolongatoides*. *P. granii*, que según Hasle & Syvertsen (1997) posee una distribución restringida al hemisferio norte, presenta una marcada similitud respecto al tamaño, cantidad de estrías y fíbulas, ausencia de interespacio central y estructura de las estrías (Hasle 1964). La única diferencia con esta especie es el contorno valvar, el cual es simétrico respecto al eje apical en *P. granii* y asimétrico (curvo) en *P. subcurvata*.

Las diferencias entre *P. subcurvata* y *P. prolongatoides* fueron discutidas anteriormente, cuando se trató a esta última especie.

En concordancia con las observaciones de Hasle (1964) para el sector Pacífico del Océano Austral, los especímenes de *P. subcurvata* fueron observados principalmente solitarios, y solo esporádicamente en cadenas de 2 o 3 células. La formación de colonias que caracterizan al género *Pseudo-nitzschia* fue registrada por Fryxell et al. (1991) en cultivos de cepas antárticas.

Algunos ejemplares de *P. subcurvata* provenientes del área del Mar de Weddell, presentaron un mayor número de estrías y fíbulas (Tabla 3.2) que el registrado por otros autores (Hasle 1965; Ferrario & Licea 2006). Respecto al material correspondiente al área del Mar Argentino, y al no lograr claras observaciones al MEB, los ejemplares fueron ubicados como afines a *P. subcurvata*. Los caracteres tenidos en cuenta fueron el aspecto general y dimensiones del frústulo, y la asimetría de sus valvas.

Material estudiado: E85, E87 (Campaña ARGAU 3); E5, E7, E29 (Campaña ARGAU 4).

Distribución en el área de estudio: *P. subcurvata* fue hallada en las dos regiones estudiadas, observándose en forma irregular entre los ~43 y 54°S en el Mar Argentino y ampliamente distribuida en el Mar de Weddell (~61–78°S).

Antecedentes en la producción de Ácido Domoico: Los análisis de producción de AD efectuados por Fryxell et al. (1991) y Kang et al. (1993) en cepas antárticas de *P. subcurvata* dieron resultados negativos.

***Pseudo-nitzschia turgidula* (Hustedt) Hasle**

Fig. 3.9, a-i

Hasle (1993): 320; Hasle (1965): 24-25, Pl. 1 Fig. 11, Pl. 2 Fig. 3; Pl. 11 Figs 8-13, Pl. 12 Figs 1-6; Ferrario et al. (2002): 187-188, Fig. 25; Ferrario & Licea (2006): 9, Figs 17-20.

Basónimo: *Nitzschia turgidula* Hustedt

Las células se observan formando colonias por superposición de los extremos en aproximadamente 1/6 a 1/7 del largo total (Fig. 3.9a). En vista valvar, los especímenes más pequeños presentan un contorno suavemente romboidal-lanceolado (Fig. 3.9b-c), mientras que los ejemplares de mayor tamaño son linear-lanceolados, algunas veces con una leve expansión en la parte central (Fig. 3.9d-f); ambas formas con extremos redondeados (Fig. 3.9g). En vista cingular, los frústulos muestran extremos truncados (Fig. 3.9a). El eje apical es de 29 a 79 μm y el eje transapical es de 2 a 3,7 μm . Las fíbulas se distribuyen de manera homogénea a lo largo del sistema del rafe marginal (15–18 en 10 μm) y entre las dos centrales se distingue el interespacio (Fig. 3.9h-i). Las estrías (24–28 en 10 μm) están formadas por dos hileras de poroides (7–9 en 1 μm) aunque algunos ejemplares analizados muestran una tercera fila incompleta de poroides en los extremos (Fig. 3.9g).

Consideraciones generales: Las especies más semejantes a *P. turgidula* son *P. brasiliana* y *P. turgiduloides*. De *P. brasiliana* se diferencia por el menor número de fíbulas y por la presencia de interespacio central (Lundholm et al. 2002) y de *P. turgiduloides* por la menor longitud de las valvas y la mayor densidad de estrías y fíbulas (Tabla 3.2).

Los ejemplares de *P. turgidula* colectados en el Mar Argentino y el Mar de Weddell, presentaron una ligera diferenciación en su morfología valvar; los primeros fueron principalmente romboidal-lanceolados (Fig. 3.9b-c), mientras que la mayoría de los ejemplares de Antártida fueron de mayor tamaño y linear a linear-lanceolados con una leve expansión central (Fig. 3.9d-f). Estos morfotipos ya fueron señalados con anterioridad por Hasle (1965).

Material estudiado: E290, E293 (Campaña ARGAU 3); E2, E5 (Campaña ARGAU 4); E7, E9, E33, E36, E39, E40 (Campaña GEF-1).

Distribución en el área de estudio: *P. turgidula* se observó en las dos regiones analizadas, registrándose en forma ocasional al sur de los $\sim 49^{\circ}\text{S}$ en el Mar Argentino y al norte de los $\sim 62^{\circ}\text{S}$ en el Mar de Weddell.

Antecedentes en la producción de Ácido Domoico: La producción de AD en cepas de *P. turgidula* aisladas en aguas costeras de Nueva Zelanda fue confirmada por primera vez por Rhodes et al. (1996). Anteriormente, estos mismos autores habían detectado la presencia

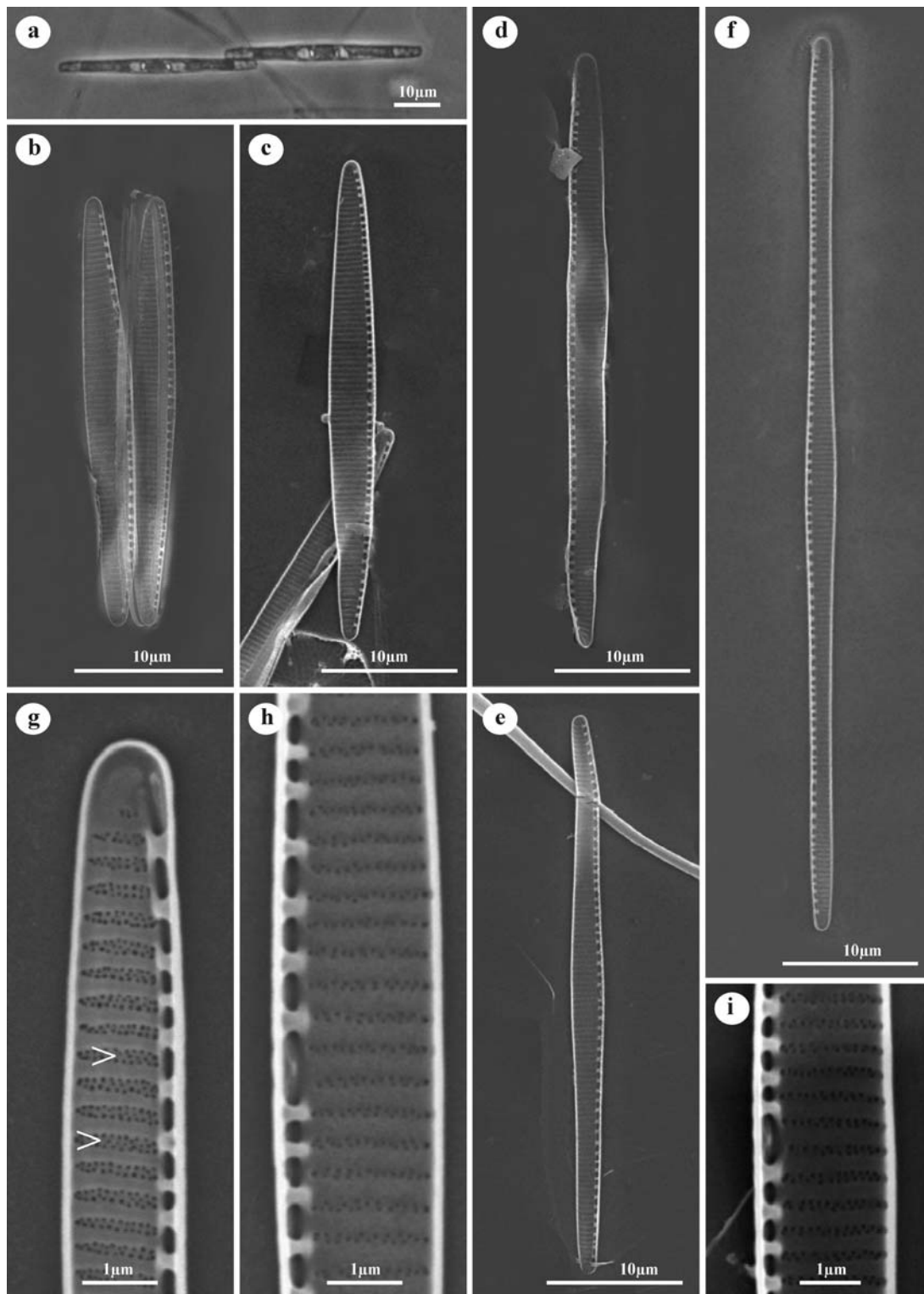


Figura 3.9: *P. turgidula*. a) Colonia de dos células en vista cingular (MO); b-f) Aspecto general de diferentes morfotipos en vista valvar interna: valvas romboidal-lanceoladas (b-c), lanceoladas (d-e) y linear-lanceoladas con una leve expansión central (f), MEB; g) Detalle del extremo valvar en vista interna. Note la presencia de una tercera hilera incompleta de poroides en alguna de las estrías (flecha), (MEB); h-i) Detalle de la parte central de la valva en vista interna, mostrando la distribución de las estrías y fíbulas y la presencia de interespacio central (MEB).

de AD en gónadas de bivalvos, en coincidencia con altas concentraciones de esta especie. No obstante, en esa oportunidad no tuvieron evidencia suficiente para adjudicar a *P. turgidula* la producción de AD en Nueva Zelanda.

***Pseudo-nitzschia turgiduloides* (Hasle) Hasle**

Fig. 3.10 a-j

Manguin (1960): 332, Pl. 19 Fig. 222; Hasle (1965): 28-29, Pl. 12 Figs 9-14, Pl. 13 Figs 3-6; Ferrario & Licea (2006): 11-13, Figs 25-31.

Basónimo: *Nitzschia turgiduloides* Hasle

Sinónimo: *Pseudo-nitzschia barkleyi* var. *obtusa* Manguin

Las células forman cadenas reunidas de a cinco–seis, por superposición de los extremos valvares en aproximadamente 1/8 del largo total (Fig. 3.10a). Los frústulos son fuertemente silicificados. En vista valvar son lineares (Fig. 3.10b-e), generalmente con una leve expansión en la parte central (Fig. 3.10c, e). Los extremos son redondeados en vista valvar y truncados en vista cingular (Fig. 3.10a, f-g). El eje apical es de 70 a 168 μm y el eje transapical de 2 a 2,9 μm . La cantidad de fíbulas y estrías en 10 μm varía entre 10–14 y 18–24, respectivamente y las fíbulas delimitan un pequeño interespacio central (Fig. 3.10h-j). Las estrías, que están formadas en una misma valva por una o dos hileras de poroides, son uniseriadas principalmente en la parte central y en uno de los dos extremos (Fig. 3.10h), y biseriadas en el otro extremo (Fig. 3.10g). Los poroides son redondeados y están densamente dispuestos (7–10 en 1 μm).

Consideraciones generales: *P. turgiduloides* fue descrita por Manguin (1960) bajo el nombre *Pseudo-nitzschia barleyi* var. *obtusa*, en base a material recolectado en un área antártica al sur de Tasmania, durante la Campaña “Comandante Charcot”, realizada entre 1949-1950. Posteriormente, Hasle (1965) le dió el estatus de especie bajo el nombre de *Nitzschia turgiduloides*, sin utilizar el epíteto *obtusa*, por haber sido aplicado anteriormente para otra especie de *Nitzschia*. Finalmente, esta misma autora la transfirió al género *Pseudo-nitzschia* (Hasle 1993).

Las especies más semejantes a *P. turgiduloides* son *P. lineola* y *P. turgidula*. Como ya fue discutido en cada una de las dos últimas especies mencionadas, la principal diferencia con *P. lineola* está determinada por la forma de los extremos valvares, agudos en esta especie y redondeados en *P. turgiduloides*, carácter este último que comparte con *P. turgidula*. Las

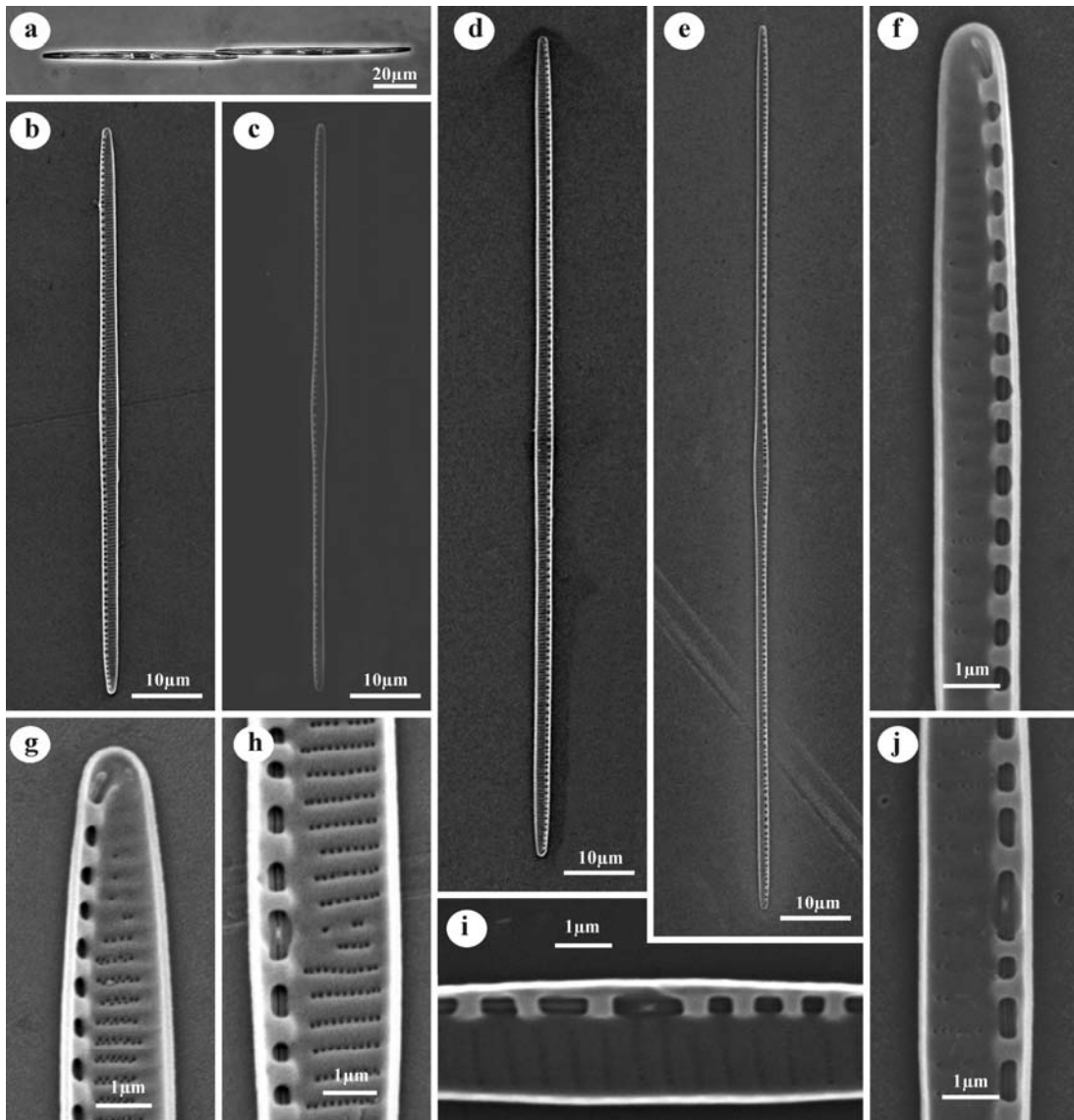


Figura 3.10: *P. turgiduloides*. a) Colonia de dos células en vista cingular (MO); b-e) Aspecto general de la valva en vista interna. Note la presencia de una leve expansión central (c, e), (MEB); f-g) Detalle de los extremos valvares en vista interna, mostrando estrías con una (f) y dos hileras de poroides (g), (MEB); h-j) Detalle de la parte central de la valva e interspacio central en vista interna (MEB).

diferencias con esta última especie, están dadas por presentar *P. turgiduloides* un eje apical más desarrollado y una menor densidad de estrías y fíbulas (Tabla 3.2).

Tabla 3.2: Caracteres morfométricos de las especies de *Pseudo-nitzschia* identificadas en el área de estudio. Los valores en negrita corresponden a los datos propios, mientras que en las filas siguientes se incluyen datos bibliográficos con fines comparativos. Para cada especie se indica la cantidad de valvas observadas {n} y los rangos obtenidos para los distintos parámetros analizados. Adicionalmente, para el largo y el ancho de las valvas se indica su promedio entre corchetes. Con un asterisco (*) se indican los datos morfométricos que presentaron mayor diferencia respecto a las referencias bibliográficas consideradas. IC = interspacio central.

| Especie | Largo (μm) | Ancho (μm) | I.C. | Fíbulas (en 10 μm) | Estrías (en 10 μm) | Hileras de poroides | Poroides (en 1 μm) |
|--|----------------------------|----------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| <i>P. americana</i> {n=26} | 13–25 [19,6] | 2,5–3,7 [2,9] | no | 21–24 | 28–32 | 2–3 | 8–10 |
| <i>Lundholm et al. (2002)</i> | 16–42 | 2,5–4 | no | 18–24 | 26–31 | 2–3 | 8–10 |
| <i>Orlova & Shevchenko (2002)</i> | 24–32 | 4 | no | 20–21 | 26–28 | 2–3 | 6–7 |
| <i>Kaczmarska et al. (2005)</i> | 12–39 | 2,5–3,7 | no | 18–23 | 24–38 | 2 | 7–10 |
| <i>P. australis</i> {n=25} | 79–140 [95,6] | 6–10 [7,5] | no | 12–19 | 12–19 | 2 | 4–5 |
| <i>Hasle (1965)</i> | 75–144 | 6,5–8 | no | 12–18 | 12–18 | 2 | 4–5 |
| <i>Hasle et al. (1996)</i> | 75–144 | 6,5–8 | no | 13–16 | 13–16 | 2 | 4–5 |
| <i>Villac (1996)</i> | 68–126 | 5,5–7,7 | no | 13–18 | 13–18 | 2 | 4–5 |
| <i>Ferrario et al. (2002)</i> | 70–110 | 6,5–10 | no | 12–19 | 12–19 | 2 | 4–5 |
| <i>Cusack et al. (2004)</i> | 63–143 | 5,3–8 | no | 15–19 | 15–19 | 2 (3) | 3,5–6 |
| <i>Fehling et al. (2006)</i> | – | 4,8–7,2 | no | 14–17 | 14–17 | 2 | 4–7 |
| <i>P. fraudulenta</i> {n=14} | 58–97 [73] | 5–7 [6,2] | si | 21–24 | 23–25 | 2 | 6 |
| <i>Hasle (1965)</i> | 64–111 | 4,5–6,5 | si | (12) 18–24 | (18) 21–24 | 2–3 | 5–6 |
| <i>Hasle et al. (1996)</i> | 73–117 | 5–6 | si | 19–23 | 19–23 | 2 | 4–5 |
| <i>Villac (1996)</i> | 60–162 | 4,4–6,8 | si | 14–20 | 17–24 | 2–3 | 5 |
| <i>Ferrario et al. (2002)</i> | 72–88 | 5,7–7,2 | si | 18–20 | 17–20 | 2–3 | 6 |
| <i>Cusack et al. (2004)</i> | 65–164 | 4–8 | si | 21–25 | 21–25 | 2–3 | 4,5–7 |
| <i>Kaczmarska et al. (2005)</i> | 93–98 | 5–6 | si | 20–24 | 21–23 | 2 | 5–6 |
| <i>Fehling et al. (2006)</i> | – | 5,1 | si | 24 | 22–24 | 2–3 | 6–7 |
| <i>P. heimii</i> {n=17} | 79–126 [96,5] | 4–6 [5,2] | si | 12–16 | 19–24 | 2 | 4–7 |
| <i>Hasle (1965)</i> | 67–120 | 4–6 | si | 11–16 | 19–26 | 1–2 | 5–6 (7–8) |
| <i>Hasle et al. (1996)</i> | 50–78 | 5–6 | si | 14–18 | 26–28 | 2 | 7–8 |
| <i>Ferrario & Licea (2006)</i> | 87,5–109 | 4–5,5 | si | 12–18 | 18–26 | 2 | 5–7 |
| <i>P. lineola</i> {n=40} | 36–108 [84,5] | 1,9–2,7 [2,2] | si | 11–18 | 22–28 (32*) | 1–2 | 4–6 (7–8) |
| <i>Hasle (1965)</i> | 56–112 | 1,8–2,7 | si | 11–16 | 22–28 | 1–2 | 3–7 |
| <i>Hernández-Becerril (1998)</i> | 86–111 | 2–2,5 | si | 12–14 | 24–26 | 1–2 | – |
| <i>Ferrario & Licea (2006)</i> | 105–125 | 2–2,7 | si | 11–17 | 20–27 | 1–2 | – |
| <i>P. prolongatoides</i> {n=57} | 18–91 [59,0] | 1,5–2,6 [1,8] | si | 16–21 | 29–33 | 2–3 | 10–13* |
| <i>Hasle (1965)</i> | 20–70 | 0,5–2,5 | si | 15–18 | 30–35 | 2–3 | 8–10? |
| <i>P. pungens</i> {n=21} | 77–133 [109,7] | 3–5 [3,9] | no | 9–13 | 9–13 | 2 | 3–4 |
| <i>Hasle (1965)</i> | 74–142 | 3–4,5 | no | 9–15 | 9–15 | 1–2 | 3–4 |
| <i>Hasle et al. (1996)</i> | 74–142 | 2,9–4,5 | no | 9–15 | 9–15 | 2 | 3–4 |
| <i>Skov et al. (1999)</i> | 74–174 | 2,4–5,3 | no | 9–16 | 9–16 | 2 | 3–4 |
| <i>Ferrario et al. (2002)</i> | 86–145 | 2,8–4,5 | no | 12–18 | 12–18 | 2 | 3–4 |
| <i>Skov et al. (2004)</i> | 80–116 | 2–4 | no | 8–13 | 9–15 | 2 | 2–4 |
| <i>Kaczmarska et al. (2005)</i> | 92–156 | 3,5–4,2 | no | 10–11 | 10–11 | 2 | 1–3 |
| <i>P. subcurvata</i> {n=37} | 37–86 [60,5] | 1,3–2 [1,6] | no | 12–18 (22*) | 43–49 (55*) | 1 | 6–8 |
| <i>Hasle (1964)</i> | 47–90 | 1,5–2 | no | 12–18 | 44–49 | 1 | 6–7 |
| <i>Hasle & Syvertsen (1997)</i> | 47–113 | 1,5–2,5 | no | 12–18 | 44–49 | 1 | – |
| <i>Ferrario & Licea (2006)</i> | 55,5–80 | 1,5–2 | no | 14–16 | 44–48 | 1 | – |
| <i>P. turgidula</i> {n=40} | 29–79 [43,7] | 2–3,7 [2,8] | si | 15–18 | 24–28 | 2 (3*) | 7–9 |
| <i>Hasle (1965)</i> | 30–80 | 2,5–3,5 | si | 13–18 | 23–28 | 2 | 7–9 |
| <i>Ferrario et al. (2002)</i> | 30–80 | 2,5–3,5 | si | 13–18 | 23–28 | 2 | 7–9 |
| <i>Ferrario & Licea (2006)</i> | 50–65 | 3–3,5 | si | 13–14 | 23–28 | 2 | 8 |
| <i>P. turgiduloides</i> {n=55} | 70–168* [102,9] | 2–2,9 [2,3] | si | 10–14 | 18–24 (26) | 1–2 | 7–10 |
| <i>Hasle (1965)</i> | 63–126 | 1,2–2,7 | si | 10–13 | 17–21 | 1–2 | 8–10 |
| <i>Ferrario & Licea (2006)</i> | 86–109 | 1,7–2,5 | si | 10–13 | 17–25 | 1–2 | 8 |

Algunos de los ejemplares hallados en el Mar de Weddell presentaron largos mayores que los reportados previamente para aguas del Pasaje Drake y el sector Pacífico del Océano Antártico, así como un número levemente mayor de estrías (Tabla 3.2) (Hasle 1965; Ferrario & Licea 2006).

Material estudiado: E8, E74, E77 (Campaña ARGAU 3); E7, E39 (Campaña ARGAU 4).

Distribución en el área de estudio: *P. turgiduloides* se observó en las dos regiones examinadas, registrándose en forma irregular al sur de los ~39°S en el Mar Argentino y ampliamente distribuida en el Mar de Weddell (~61–78°S).

Antecedentes en la producción de Ácido Domoico: Las pruebas de toxicidad realizadas en base a cepas de *P. turgiduloides* aisladas en aguas antárticas por Kang et al. (1993), resultaron negativas para la producción de AD.

Pseudo-nitzschia* sp. cf. *calliantha/pseudodelicatissima

Fig. 3.11 a-g

Lundholm et al. (2003): 801-804, Figs 1-2.

Las células fueron observadas formando cadenas, con una superposición de los extremos de aproximadamente 1/5 a 1/6 del largo total (Fig. 3.11a). Los frústulos son lineares y con extremos agudos en ambas vistas, valvar y cingular (Fig. 3.11a-e). El eje apical es de 51 a 101 µm y el eje transapical de 1,8 a 2,9 µm. Las fíbulas se disponen en forma homogénea (16–22 en 10 µm) y delimitan un interespacio central (Fig. 3.11f, g). Al MEB se observa que las estrías (32–38 en 10 µm) están formadas por una sola hilera de poroides, dispuestos de 4–6 en 1 µm (Fig. 3.11d-g).

Consideraciones generales: El denominado “complejo *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima/cuspidata*” (Lundholm et al. 2003), está compuesto por cuatro especies que presentan características morfológicas similares: *P. pseudodelicatissima*, *P. cuspidata*, *P. calliantha* y *P. cacialantha*. Todas ellas poseen valvas largas y angostas, con extremos agudos, un evidente interespacio central, estrías uniseriadas y una cantidad similar de poroides por micrón. Para poder diferenciarlas entre sí es necesaria la observación detallada de características tales como el ancho y la forma valvar, la cantidad de estrías y fíbulas, la estructura de las bandas cingulares y fundamentalmente el tipo de himen de los poroides (Lundholm et al. 2003).

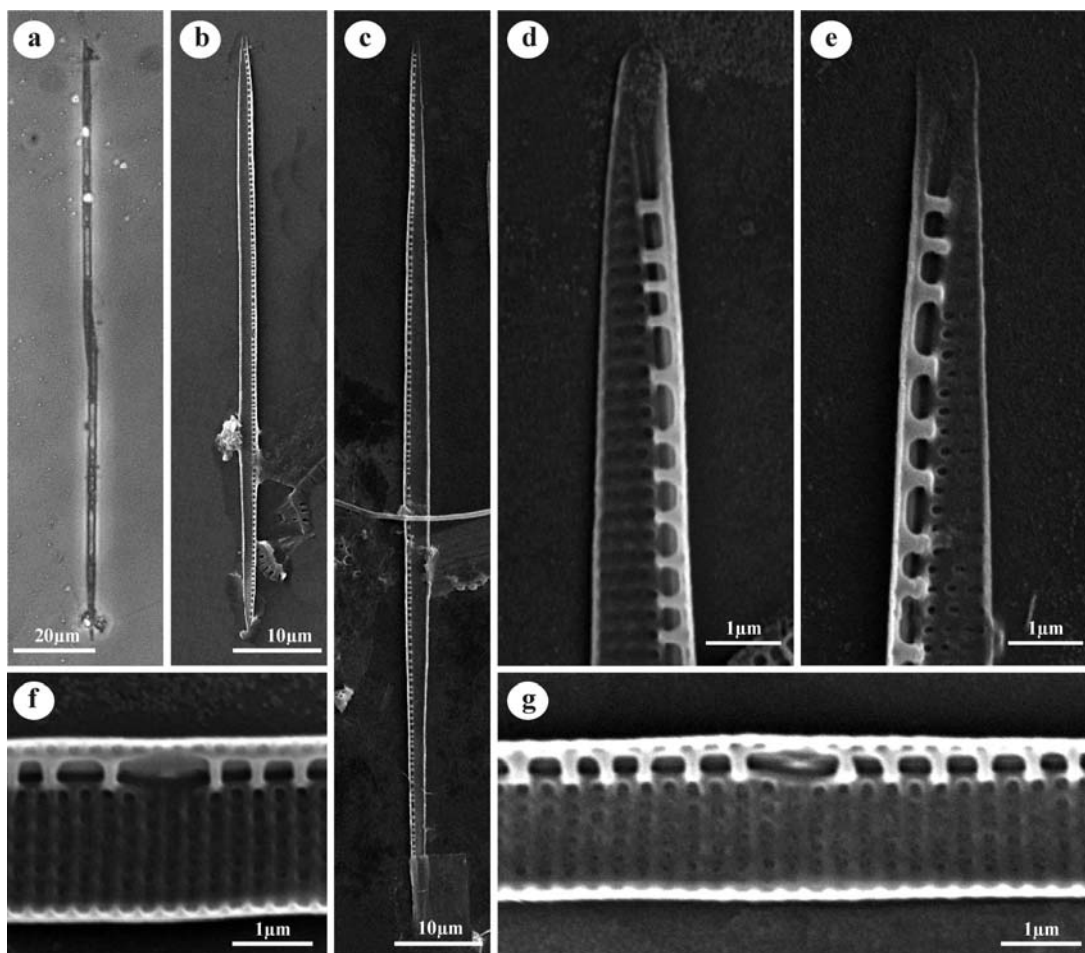


Figura 3.11: *Pseudo-nitzschia* sp. cf. *calliantha/pseudodelicatissima*. a) Colonia de dos células en vista cingular (MO); b-c) Aspecto general de la valva en vista interna (MEB); d-e) Detalle de los extremos valvares en vista interna (MEB); f-g) Detalle de la parte central de la valva en vista interna, mostrando el interespacio central y las estrías uniseriadas (MEB).

En la Tabla 3.3 se resumen las características morfológicas indicadas por Lundholm et al. (2003) para las cuatro especies del complejo *pseudodelicatissima/cuspidata*. En ella puede apreciarse que *P. cacialantha* se diferencia de las otras tres especies del complejo por el mayor ancho de sus valvas, una menor cantidad de estrías e hímenes divididos en cuatro a cinco sectores. Por su parte, *P. calliantha* posee hímenes divididos en siete a diez sectores, a diferencia de *P. cuspidata* y *P. pseudodelicatissima* en las que sus hímenes están divididos en solo dos sectores. Estas dos últimas especies, las cuales comparten la gran mayoría de sus características morfológicas, pueden ser distinguidas entre sí, principalmente por la forma de sus valvas, que es lineal en *P. pseudodelicatissima* y lanceolada en *P. cuspidata* (Tabla 3.3).

Al comparar los ejemplares analizados en esta tesis con las especies que se acaban de discutir, se observa una gran superposición de los datos morfométricos (Tabla 3.3). Sin

embargo, la forma linear de sus valvas sólo se corresponde con la observada para *P. pseudodelicatissima* y *P. calliantha*, lo cual sugiere que los especímenes en cuestión corresponderían a cualquiera de estas dos especies, a pesar de que algunos de ellos presentaron valvas más anchas y con una menor densidad de estrías. Para poder determinar con precisión a cuál de estas dos especies pertenecen, *P. pseudodelicatissima* o *P. calliantha*, es necesario estudiar otros caracteres no observados en este trabajo, tales como la ultraestructura de los hímenes.

Material estudiado: E33, E34, E36, E40 y E43 (Campaña GEF-1).

Distribución en el área de estudio: Esta especie se observó sólo en el Mar Argentino, registrándose en forma ocasional durante la primavera entre los ~43 y 47°S.

| Característica | <i>P. pseudodelic.</i> | <i>P. calliantha</i> | <i>P. cuspidata</i> | <i>P. caciaantha</i> | <i>P. cf. calliantha/pseudodelic.</i> |
|---|------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Forma valvar | linear | linear | lanceolada | lanceolada | linear |
| Largo (µm) | 54–87 | 41–98 | 30–72 | 53–75 | 51–101 |
| Ancho (µm) | 0,9–1,6 | 1,3–1,8 | 1,4–2,0 | 2,7–3,5 | 1,8–2,9 |
| Interespacio central | si | si | si | si | si |
| Fíbulas (en 10µm) | 20–25 | 15–22 | 19–25 | 15–29 | 16–22 |
| Estrías (en 10µm) | 36–43 | 34–39 | 35–44 | 28–31 | 32–38 |
| Hileras de poroides | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Poroides (en 1µm) | 5–6 | 4–6 | 4–6 | 3,5–5 | 4–6 |
| Hímenes (cantidad de sectores) | 2 | 7–10 | 2 | 4–5 | ? |
| Bandas (hil. de poroides/estría) | 1 | 2–3 | 1 | 2 | ? |

Tabla 3.3: Resumen de los caracteres morfométricos de las cuatro especies del complejo *Pseudo-nitzschia* “*pseudodelicatissima/cuspidata*” elaborado en base a Lundholm et al. (2003) y de los ejemplares nombrados en esta tesis como *Pseudo-nitzschia* sp. cf. *calliantha/pseudodelicatissima*.

3.3- CONCLUSIONES

Mediante observaciones de material sin tratar y tratado, realizadas con microscopía óptica y electrónica de barrido, se identificaron once especies de *Pseudo-nitzschia* para el área de estudio: *P. americana*, *P. australis*, *P. cf. calliantha/pseudodelicatissima*, *P. fraudulenta*, *P. heimii*, *P. lineola*, *P. prolongatoides*, *P. pungens*, *P. subcurvata*, *P. turgidula* y *P. turgiduloides*. De éstas, *P. americana*, *P. heimii*, *P. lineola* y *P. turgiduloides* fueron halladas y analizadas por primera vez para el Mar Argentino.

Los caracteres utilizados para determinar las especies de *Pseudo-nitzschia*, tales como el grado de superposición de los extremos celulares en la colonia, la forma general del frústulo y en especial de sus extremos, la presencia/ausencia de interespacio central, y la cantidad y tipo de estrías y fíbulas, fueron suficientes para identificar a la mayor parte de los ejemplares estudiados en esta tesis. No obstante, la observación de la estructura de las bandas en *P. pungens* fue necesaria para diferenciar entre la variedad tipo y la variedad *cingulata* de esta especie. Otro carácter diagnóstico, aunque de aplicación más restringida, es el tipo de himen de los poroides, en particular para diferenciar las especies del complejo *pseudodelicatissima/cuspidata*. Dado que en el transcurso de este trabajo no fue posible obtener detalles ultraestructurales de los hímenes, los organismos analizados pertenecientes a este complejo fueron denominados *Pseudo-nitzschia* sp. cf. *calliantha/pseudodelicatissima*.

El carecer de estos datos en el presente trabajo, determinó que los organismos analizados perteneciente a este complejo, fueran propuestos como *Pseudo-nitzschia* sp. cf. *calliantha/pseudodelicatissima*.

En base al ancho valvar, las especies analizadas en esta tesis pueden ser ubicadas en los dos grandes grupos morfológicos que Hasle (1965) denominó “complejo *Nitzschia seriata*” y “complejo *Nitzschia delicatissima*”. En el primer grupo, caracterizado por reunir a las formas más robustas y anchas, se encuentran *P. australis*, *P. fraudulenta*, *P. pungens* y *P. heimii*. Por su parte, entre los ejemplares más angostos y delicados del segundo grupo, se incluyen *P. americana*, *P. cf. calliantha/pseudodelicatissima*, *P. lineola*, *P. prolongatoides*, *P. subcurvata*, *P. turgidula* y *P. turgiduloides*.

Los datos morfométricos y características generales de los especímenes analizados durante el desarrollo de esta tesis, fueron mayormente consistentes con los suministrados por otros autores para diferentes regiones geográficas (Tabla 3.2). Las diferencias más evidentes observadas son: una mayor cantidad de estrías en algunos ejemplares de *P. lineola* colectados en el Mar Argentino, una mayor cantidad de estrías y fíbulas que las registradas con anterioridad para *P. subcurvata*, la presencia de una tercera fila incompleta de poroides en las estrías de *P. turgidula* colectados en el Mar de Weddell, un mayor largo en *P. turgiduloides* así como un mayor número de poroides en las estrías de los extremos de *P. prolongatoides* (Tabla 3.2).

Del total de especies de *Pseudo-nitzschia* halladas en este estudio, *P. australis*, *P. fraudulenta*, *P. pungens* y *P. turgidula* son conocidas como productoras potenciales de ácido

domoico a nivel mundial. No obstante, a la fecha solo *P. australis* y *P. fraudulenta* han sido vinculadas con la producción de ácido domoico en aguas argentinas.

DISTRIBUCIÓN DEL GÉNERO *PSEUDO-NITZSCHIA* EN EL MAR ARGENTINO

Capítulo 4

DISTRIBUCIÓN DEL GÉNERO *PSEUDO-NITZSCHIA* EN EL MAR ARGENTINO

Capítulo 4

4.1.- INTRODUCCIÓN

La plataforma continental del Mar Argentino, con una planicie submarina de aproximadamente 10^6 km² de superficie, representa una de las más extensas del mundo. Su principal fuente de masas de agua es el agua subantártica que fluye desde el norte del Pasaje de Drake a través de la Corriente del Cabo de Hornos, entre la costa Atlántica y las Islas Malvinas, y la Corriente de Malvinas, sobre el borde oriental de la plataforma (Guerrero & Piola 1997; Bianchi et al. 2005).

En esta región, la distribución de la biomasa fitoplanctónica muestra una importante variabilidad espacio-temporal, en gran parte relacionada con el ciclo estacional de formación y ruptura de la estratificación de la columna de agua y con la presencia de zonas frontales (Carreto et al. 1995; Acha et al. 2004; Rivas 2006; Rivas et al. 2006; Romero et al. 2006).

Estimaciones satelitales plurianuales de la concentración de clorofila *a* en el Mar Argentino, han permitido conocer en forma sinóptica la distribución y variabilidad estacional de la distribución de biomasa en la plataforma continental (Rivas et al. 2006; Romero et al. 2006). A pesar de la variabilidad interanual observada en los estudios mencionados, ambos coinciden en la existencia de dos grandes patrones, recurrentes desde el punto de vista espacio-temporal. El primero de ellos consiste en el retraso latitudinal en el comienzo de las floraciones, las cuales empiezan durante la primavera temprana (septiembre-octubre) en el sector norte de la plataforma, y luego se desplazan hacia el sur, donde se observan entre la primavera tardía y el inicio del verano (noviembre a enero). Este patrón de propagación latitudinal de las floraciones fitoplanctónicas muestra una gran consistencia con el desarrollo de la termoclina estacional (Rivas et al. 2006).

El segundo de los grandes patrones detectados en la distribución de biomasa en la plataforma continental, se vincula con una notoria diferencia en las concentraciones de clorofila *a* observadas al norte y al sur de los 45–47°S durante los meses de verano y otoño. En la zona norte se observan bajas concentraciones de clorofila *a* durante el verano y mayores concentraciones en el otoño. Este patrón, con dos picos máximos de concentración de clorofila *a* bien definidos, el primero y más intenso en primavera y el segundo en otoño; y bajas concentraciones durante el verano y el invierno, es característico de regiones de aguas templadas. Las bajas concentraciones de clorofila *a* observadas durante el verano se

relacionan con el agotamiento de nutrientes en las capas superiores de la columna de agua, producto de las intensas floraciones primaverales. Asimismo, el posterior aumento observado al comienzo del otoño se vincula con la incipiente ruptura de las condiciones de estabilidad, lo cual genera la reincorporación de nutrientes desde el fondo. Sin embargo, este segundo pico en la concentración de clorofila *a* (de menor intensidad que el de primavera) sólo perdura hasta que la mezcla de la columna de agua progresa lo suficiente como para impedir la acumulación del fitoplancton en la capa eufótica (Rivas et al. 2006).

A diferencia de lo que ocurre en la zona norte, en la zona sur de la plataforma se observan elevadas concentraciones de clorofila *a* durante la primavera y el verano, las cuales disminuyen progresivamente a medida que avanzan el otoño y el invierno. Este desarrollo de altas concentraciones de clorofila *a* durante el verano, observadas principalmente en el área de Bahía Grande, ha sido asociado con la presencia de zonas frontales (Sabatini et al. 2004), las cuales ocasionarían un incremento de la mezcla vertical de la columna de agua, permitiendo que los niveles de nutrientes se mantengan elevados en la zona eufótica aún después de la ocurrencia de las floraciones de primavera (Rivas et al. 2006).

En contraste con el conocimiento disponible sobre la distribución de biomasa fitoplanctónica en la plataforma del Mar Argentino, la información existente acerca de la composición taxonómica, distribución y abundancia del fitoplancton resulta más limitada. Desde el punto de vista sistemático, sobresalen los numerosos trabajos realizados por Frenguelli y Balech, en el campo de las diatomeas y los dinoflagelados, respectivamente (Ej. Frenguelli 1928, 1930, 1938; Balech 1964, 1971, 1988). Asimismo, trabajos más recientes han profundizado en el estudio taxonómico de diversos *taxa* (Ej. Gayoso 1989; Akselman 2001; Sar et al. 2001, 2002, 2007; Ferrario et al 2003; 2008; Sunesen & Sar 2004, 2007). Por otro lado, estudios ecológicos donde se analiza la abundancia y composición del fitoplancton en relación con las condiciones ambientales, han abarcado principalmente áreas costeras y del talud (Ej. Carreto et al. 1974; Verona et al. 1974; Charpy & Charpy 1977; Gayoso & Podestá 1996; Fernandes & Brandini 1999; Lutz et al. 2006; Olguin et al. 2007). Por el contrario, solo existen escasos antecedentes de estudios realizados en aguas de plataforma, los cuales han estado mayormente dirigidos a zonas puntuales o a determinados grupos del fitoplancton (Lange 1985; Carreto et al. 2003; Olguín & Alder 2004).

Respecto al género *Pseudo-nitzschia*, y de acuerdo a los catálogos de diatomeas de Ferrario & Galván (1989) y Vouilloud (2003), nueve especies han sido mencionadas para el Mar Argentino, aunque la identificación de algunas de ellas no ha sido corroborada con microscopía electrónica. A raíz del descubrimiento de la capacidad de algunas especies de

Pseudo-nitzschia de producir toxinas, se desarrollaron los primeros estudios sobre el género mediante microscopía óptica y electrónica (Negri & Inza 1998; Ferrario et al. 1999, 2002; Sastre et al. 2001; Negri et al. 2004). No obstante, la mayor parte de estos estudios estuvieron restringidos a zonas costeras y de reducida extensión, por lo cual la información disponible sobre la ocurrencia de especies de *Pseudo-nitzschia* a lo largo de la plataforma continental es muy limitada.

En este capítulo se estudia la distribución, composición y abundancia del género *Pseudo-nitzschia* en un extenso sector de la plataforma continental del Mar Argentino, en base al análisis de dos transectas de muestreo realizadas durante el verano y otoño del año 2003. Asimismo, y a fin de brindar un enfoque general acerca de las condiciones ambientales y de las características de las asociaciones fitoplanctónicas observadas en cada una de las transectas, al comienzo de cada sección se describen las propiedades físico-químicas del agua (temperatura, salinidad y concentración de nutrientes), sumadas a la biomasa, composición y abundancia del fitoplancton.

4.2.- ANÁLISIS DE DATOS

La plataforma continental del Mar Argentino fue muestreada durante el verano y otoño del año 2003 (Tabla 4.1), con un total de 49 estaciones de muestreo, dispuestas en dos transectas de dirección norte-sur ubicadas aproximadamente entre los 38–55°S y 57–68°O (Fig. 4.1). La transecta 1 se realizó entre el 7 y el 10 de Febrero de 2003, durante la navegación desde Buenos Aires hasta el puerto de Ushuaia, y la transecta 2 en sentido opuesto (de regreso a Bs. As.), desde el 15 al 19 de Mayo del mismo año. En cada estación de muestreo se obtuvieron los datos de las variables ambientales y se colectaron las muestras para la realización de los análisis químicos y biológicos correspondientes (ver Materiales y Métodos en capítulo 2).

| Transecta | Sentido | Estaciones | Fecha |
|------------|-----------|------------|----------------------------|
| 1 (verano) | norte–sur | 1–25 | 7 al 10 de Febrero de 2003 |
| 2 (otoño) | sur–norte | 290–312 | 15 al 19 de Mayo de 2003 |

Tabla 4.1: Estaciones de muestreo analizadas en el Mar Argentino

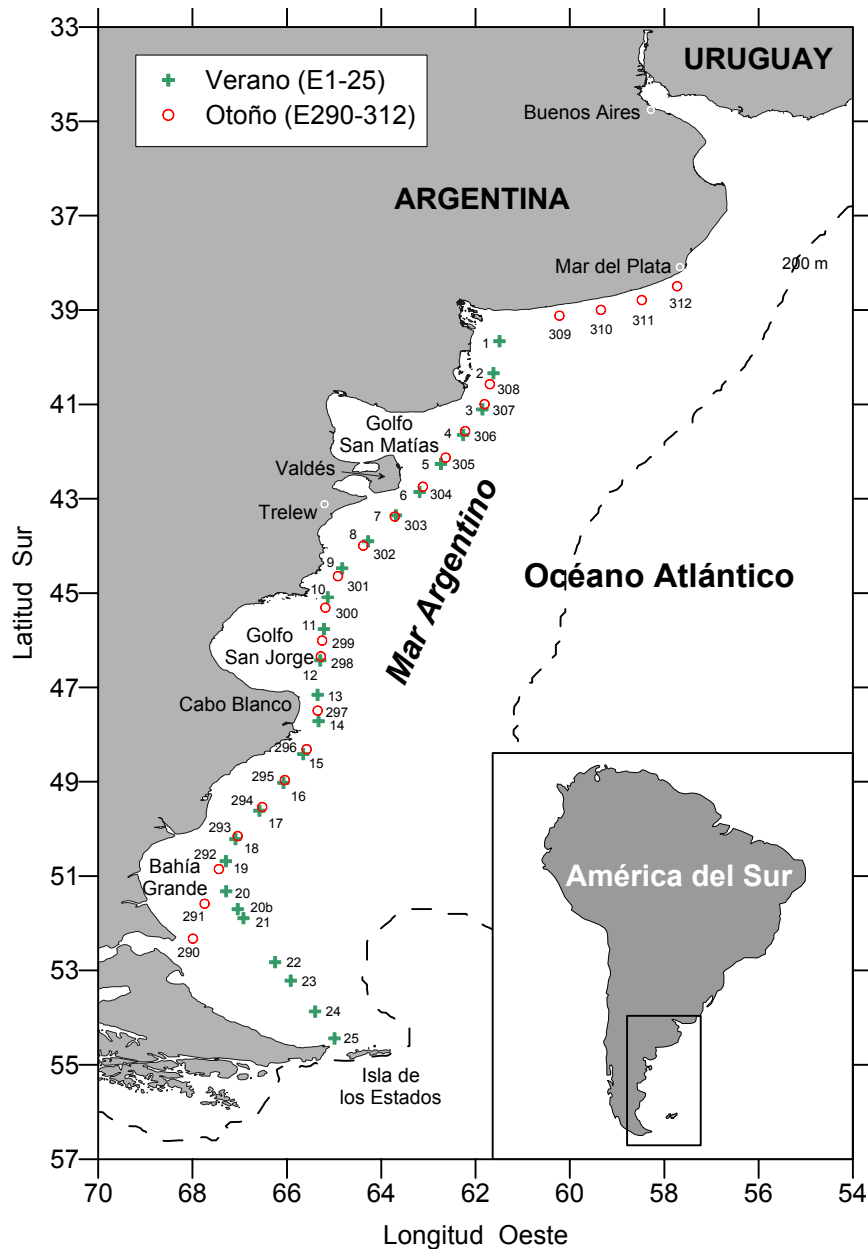


Figura 4.1: Ubicación de las estaciones de muestreo realizadas durante las transectas de verano y otoño de 2003 en el Mar Argentino. Note el sentido norte-sur y sur-norte de las transectas de verano y otoño respectivamente.

4.3.- RESULTADOS

4.3.1- TRANSECTA DE VERANO DE 2003

4.3.1.1- Características físico-químicas

La distribución de la temperatura presentó un marcado gradiente latitudinal, con valores máximos al norte (máx. = 22,5 °C en E1) y mínimos hacia el sur (mín. = 9,7 °C en E24), (Fig.

4.2a). Lo mismo pudo observarse para la salinidad, con valores máximos hacia el norte (33,9 psu en E3) y mínimos al sur (32,6 psu E25), (Fig. 4.2a). Por el contrario, la distribución de los nutrientes (nitratos + nitritos, silicatos y fosfatos) fue más bien irregular, presentando marcadas fluctuaciones a lo largo de la transecta (Fig. 4.2b). En términos generales, las concentraciones de nitratos + nitritos fueron muy bajas o indetectables en la parte norte (0–2,8 μM ; E1–E19) y levemente superiores en la zona sur de la plataforma (0,4–6,2 μM ; E20–E25). En contraste, los silicatos mostraron una tendencia opuesta, con concentraciones máximas en el sector norte (1,3–3,4; E1–E14) y mínimas hacia el sur (0–1,5; E15–E25), mientras que la distribución de fosfatos fue más o menos uniforme, variando entre 0,3 y 0,9 μM a lo largo de la transecta (Fig. 4.2b). En la Tabla 4.2 se presentan los promedios y rangos de valores observados para la temperatura, salinidad y nutrientes en cada una de las transectas analizadas.

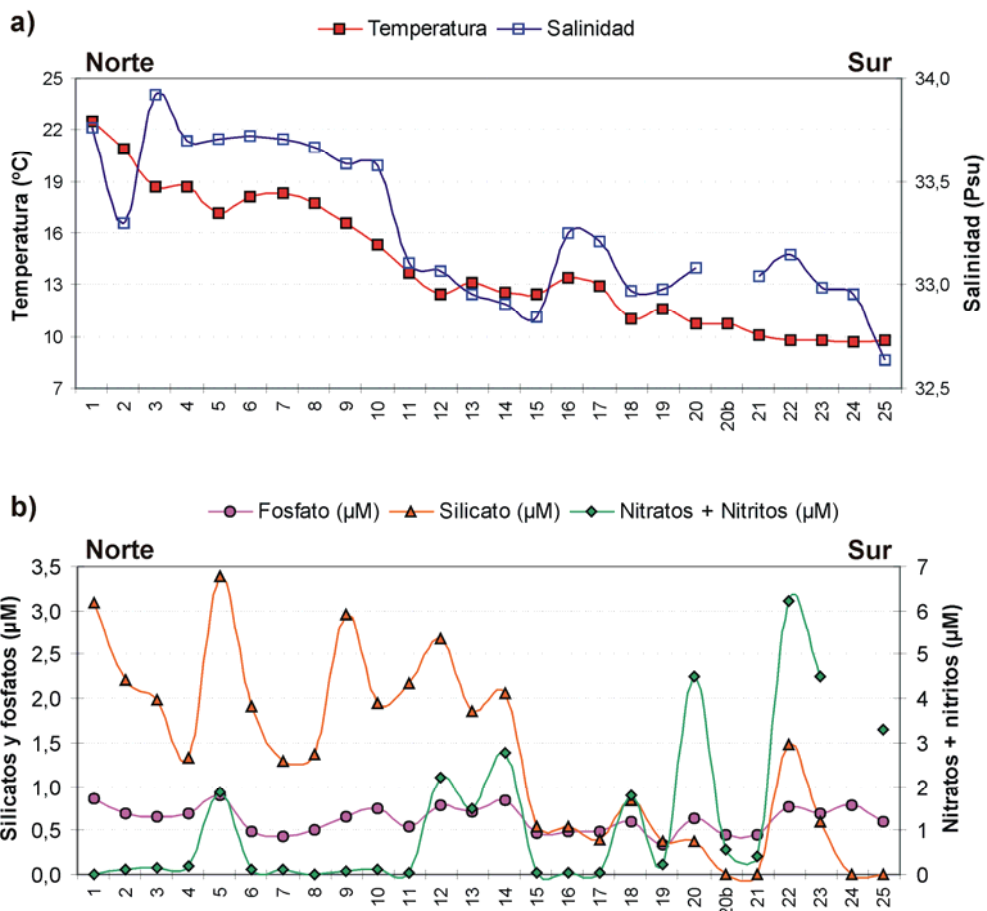


Figura 4.2: Distribución de temperatura y salinidad (a) y concentración de nitratos + nitritos, fosfatos y silicatos (b) observada durante la transecta de verano de 2003.

4.3.1.2- Biomasa, composición y abundancia del fitoplancton

La Figura 4.3a muestra la distribución de la densidad total de fitoplancton y de la concentración de clorofila *a* (clfa) observada durante la transecta de verano. Los mayores valores de estas dos variables se observaron en las estaciones 20b y 21 (~52° S), con picos de $7,5 \times 10^6$ células l^{-1} y $19 \text{ mg clfa m}^{-3}$ respectivamente. El máximo de clf *a* en la estación 21 coincidió con una importante floración de diatomeas (Fig. 4.3b), cuya abundancia estuvo representada en un 97% por la especie *Chaetoceros debilis*. Un segundo pico de clfa de 8 mg m^{-3} se observó a los ~55° S (E25), aunque en este caso la densidad total del fitoplancton fue inferior a las 10^6 células l^{-1} (Fig. 4.3a). Entre los *taxa* predominantes hallados en esta estación sobresalieron algunas diatomeas de dimensiones relativamente grandes, tales como *Thalassiosira gravis*, *Rhizosolenia pungens*, *T. anguste-lineata*, *Ch. debilis* y ejemplares identificados tentativamente al MO como *Bacterosira bathyomphala*. En este sentido, la abundancia total de diatomeas y la concentración de clfa mostraron una correlación positiva altamente significativa y ($r = 0,91$; $p < 0,0001$).

Desde el punto de vista de la composición general del fitoplancton, pequeños fitoflagelados no identificados ($\leq 5 \mu\text{m}$) dominaron a lo largo de casi toda la transecta, con densidades que fluctuaron entre $0,18 \times 10^6$ (E23) y $4,89 \times 10^6$ células l^{-1} (E19), representando por lo general más del 70% de la abundancia total (Fig. 4.3b). En orden decreciente de abundancia relativa promedio se observaron criptofíceas (8,3%), fitoflagelados no identificados de 6–15 μm (8,2%), diatomeas (6,7%), dinoflagelados (2,1%), prasinofíceas (1,0%) y silicoflagelados ($< 0,1\%$).

Durante la campaña de verano, la densidad de las diatomeas mostró una gran variabilidad, con un mínimo de solo 80 células l^{-1} (~44°S) y un máximo de 3×10^6 células l^{-1} (~52°S) en la floración de *Ch. debilis* mencionada anteriormente. Sin embargo, y en términos generales, las diatomeas presentaron densidades intermedias (Fig. 4.4a), con un promedio de $4,1 \times 10^4$ células l^{-1} , sin considerar las elevadas abundancias observadas en las estaciones 20b y 21.

Entre los *taxa* más representativos *Ch. debilis* sobresalió como la diatomea más abundante observada durante el verano, con un máximo de $3,0 \times 10^6$ células l^{-1} (E21). Otras especies importantes en términos de su abundancia fueron *Thalassiosira mala* (máx. = $2,9 \times 10^5$ células l^{-1} , E15), *Guinardia delicatula* (máx. = $7,8 \times 10^4$ células l^{-1} , E20b), *Cerataulina pelagica* (máx. = $6,9 \times 10^4$ células l^{-1} , E12), *Pseudo-nitzschia australis* (ver más adelante), *Chaetoceros curvisetus* (máx. = $3,8 \times 10^4$ células l^{-1} , E12) y *Guinardia striata* (máx. = $3,2 \times 10^4$ células l^{-1} , E2). Sin embargo, a pesar de las altas densidades registradas para estas

especies, las mismas se observaron con baja frecuencia a lo largo de la transecta (8–31% del total de las estaciones). En contraposición, *Ditylum brightwellii*, *Paralia sulcata*, *Chaetoceros decipiens*, *Pleurosigma* sp., *Thalassionema nitzschioides*, *Bacteriastrium delicatulum*, *Coscinodiscus jonesianus*, *Psammodictyon panduriforme* y *Raphoneis ampiceros* fueron los *taxa* más frecuentes, observándose en más del 80% de las estaciones analizadas.

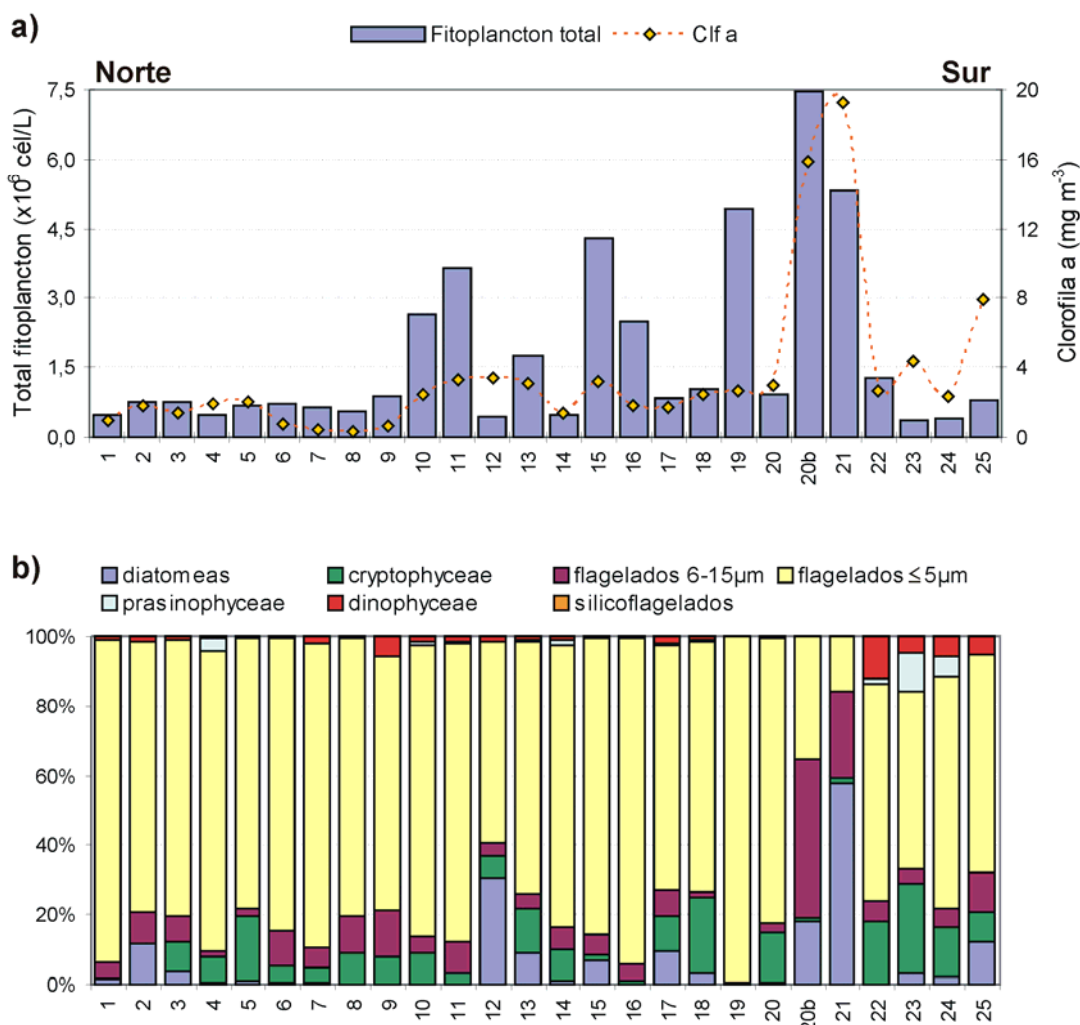


Figura 4.3: Distribución de clorofila a y abundancia total del fitoplancton **(a)** y abundancia relativa de los principales grupos del fitoplancton **(b)** a lo largo de la transecta de verano de 2003.

4.3.1.3- Distribución de *Pseudo-nitzschia* spp.

El género *Pseudo-nitzschia* estuvo presente en el 87% de las estaciones examinadas, y sus densidades fluctuaron entre 10 células l^{-1} (E8) y 61×10^3 células l^{-1} (E20b), con un promedio de $2,9 \times 10^3$ células l^{-1} ($n = 11$). Los máximos celulares se observaron hacia el sur de los

~51°S (E20b y E25), mientras que al norte (E1–E20) presentó densidades inferiores a las 3×10^3 células l^{-1} (Fig. 4.4b). Debido a las muy bajas densidades observadas para el género (< 10 células l^{-1}), en más de la mitad de las estaciones de muestreo *Pseudo-nitzschia* sólo pudo registrarse en las muestras cualitativas ($n = 15$). En aquellas estaciones en las que el género pudo ser cuantificado, su contribución promedio a la abundancia total de diatomeas fluctuó entre 0,1% (E2) y 50% (E10), con un promedio de 8,4%.

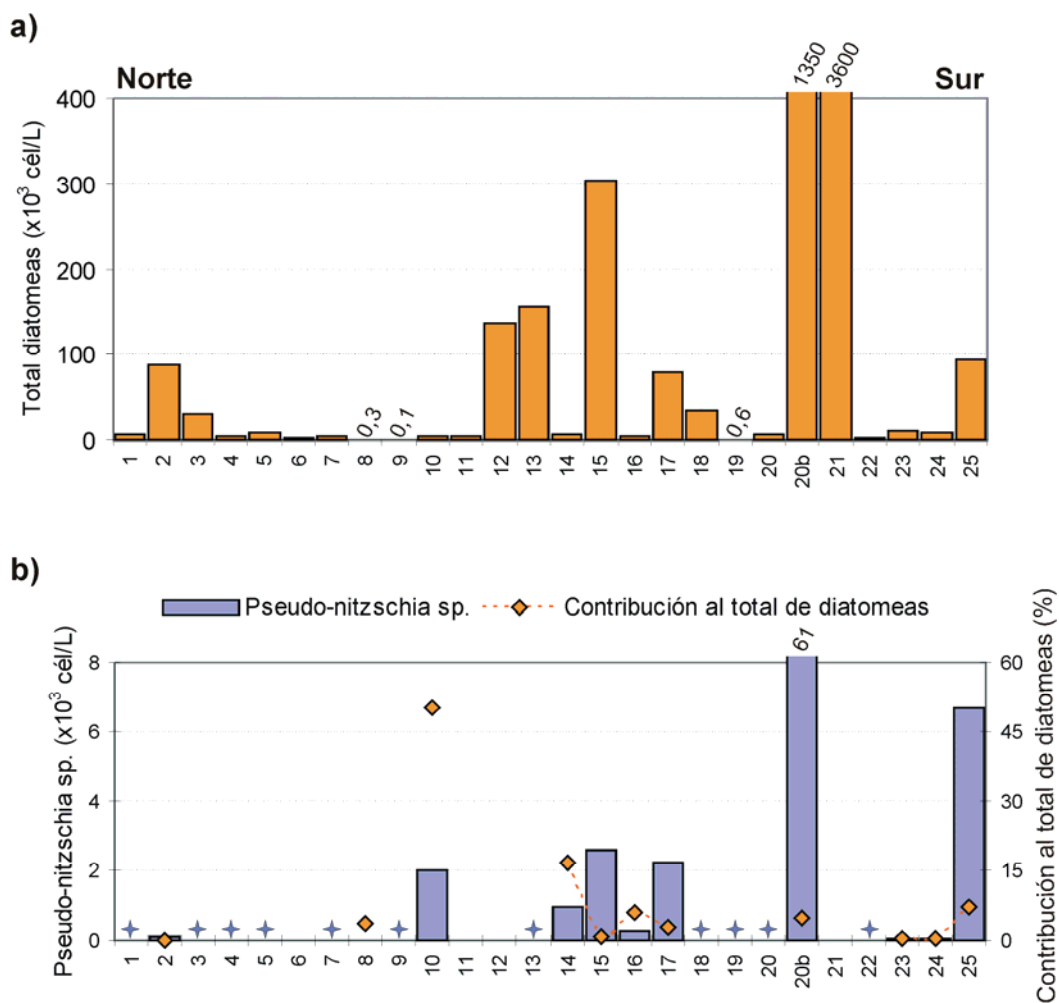


Figura 4.4: Densidad total de diatomeas (a) y abundancia del género *Pseudo-nitzschia* y su contribución relativa a la densidad total de diatomeas (b), a lo largo de la transecta de verano de 2003. Las estrellas representan presencias cualitativas.

Durante la transecta de verano se identificaron cuatro especies de *Pseudo-nitzschia*: *P. australis*, *P. pungens*, *P. cf. subcurvata* y *P. turgiduloides*. La especie más comúnmente observada fue *P. pungens*, presente en el 81% de las estaciones de muestreo, seguida por

P. cf. subcurvata (27%), *P. turgiduloides* (27%) y *P. australis* (23%) (Tabla 4.3). La distribución de cada una de ellas se resume en la Figura 4.5, donde también se incluyen los resultados de la transecta de otoño con fines comparativos. En la Tabla 4.4 se presentan los rangos de temperatura, salinidad y concentración de nutrientes para las muestras en las que fueron observadas las distintas especies de *Pseudo-nitzschia* en el área de estudio, mientras que en la Tabla 4.5 se incluyen los parámetros ambientales observados durante sus picos de máxima densidad.

Como ya fuera mencionado, *P. pungens* mostró una amplia distribución durante el verano, registrándose entre los 39° 39'S y los 54° 26'S (Fig. 4.5). Sin embargo, sus densidades fueron generalmente inferiores a las 100 células l⁻¹, presentando un máximo de 926 células l⁻¹ próximo a los 48°S (Tabla 4.5).

Por su parte, la presencia de *P. australis* estuvo restringida al sur de los ~51°S (Fig. 4.5), donde se observó con una densidad máxima de 6,1x10⁴ células l⁻¹ (~52°S), en coincidencia con la ya mencionada floración de *Ch. debilis* (Tabla 4.5).

Por otro lado, *P. cf. subcurvata* alcanzó densidades relativamente elevadas (de hasta 6,6x10³ células l⁻¹) especialmente entre los ~45 y ~54°S (Fig. 4.5; Tabla 4.5).

Finalmente, *P. turgiduloides* fue raramente observada entre los 43 y 52°S aproximadamente y estuvo presente únicamente en muestras de red (Fig. 4.5).

4.3.2- TRANSECTA DE OTOÑO DE 2003

4.3.2.1- Características físico-químicas

Al igual que para el verano, durante esta transecta se observó una clara tendencia a la disminución de la temperatura y la salinidad en sentido norte-sur (Fig. 4.6a). Sin embargo, y como es de esperar, las temperaturas observadas en la transecta de otoño fueron relativamente inferiores a las registradas durante el verano (Tabla 4.2), con un rango entre 8,0 °C (E290) y 15,9 °C (E310). Por el contrario, la salinidad promedio registrada para esta transecta fue superior a la de verano, con valores que fluctuaron entre los 32,45 (E290) y 34,05 psu (E309), (Tabla 4.2). En relación a los nutrientes, la concentración promedio fue superior durante el otoño (Tabla 4.2), y en términos generales podría decirse que en la parte norte de la transecta (E306–312) se observaron las menores concentraciones de nitratos + nitritos, fosfatos y silicatos (Fig. 4.6b).

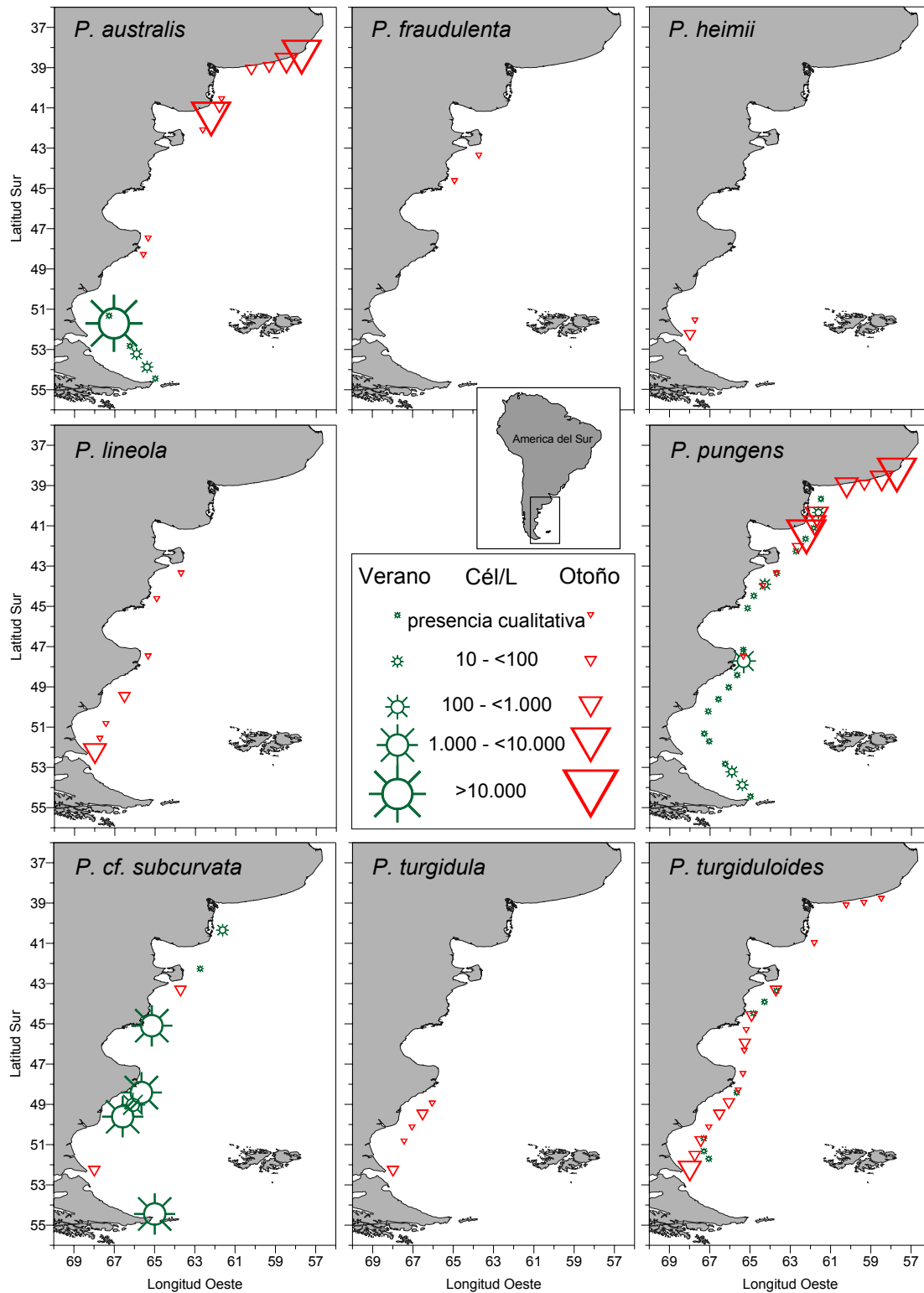


Figura 4.5: Patrones de distribución de las distintas especies de *Pseudo-nitzschia* observadas en aguas de superficie del Mar Argentino durante las transectas de verano y otoño de 2003.

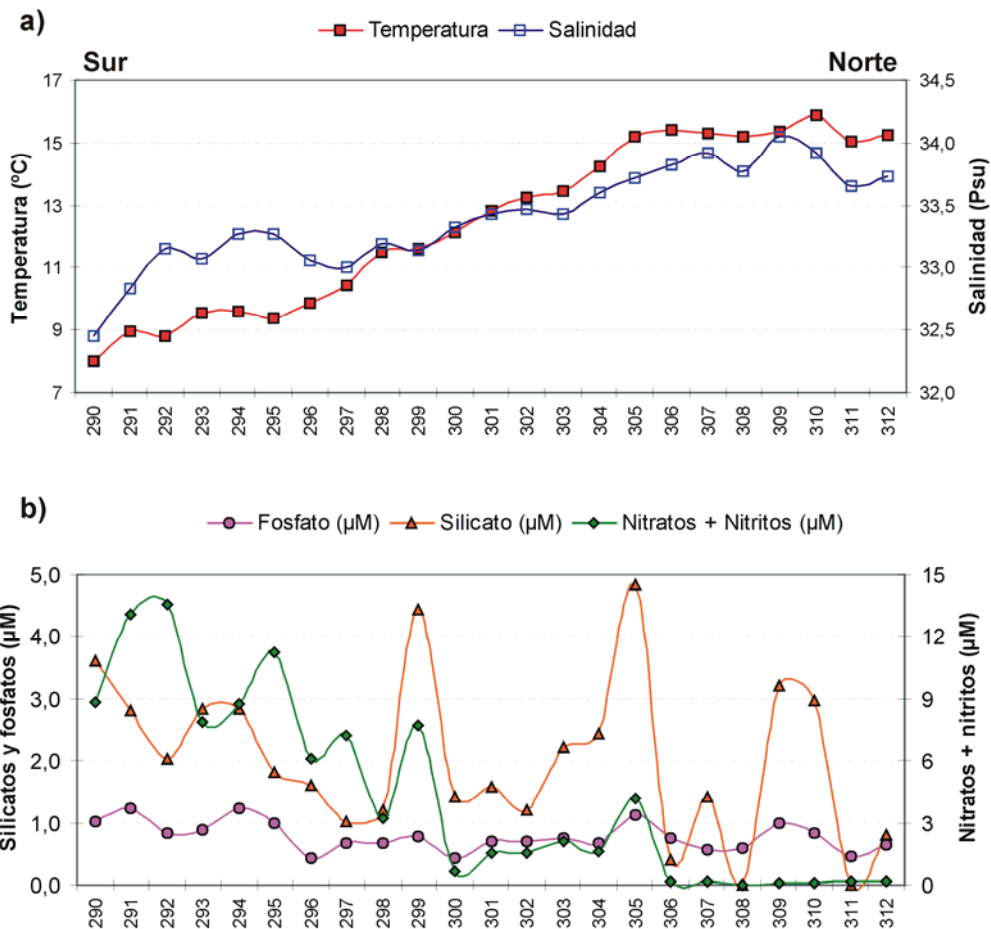


Figura 4.6: Distribución de temperatura y salinidad (a) y concentración de nitratos + nitritos, fosfatos y silicatos (b) observada durante la transecta de otoño de 2003. Note el sentido sur-norte de la transecta de muestreo.

| Fecha | Temperatura (°C) | Salinidad (psu) | NO ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻ (µM) | PO ₄ ⁼ (µM) | SiO ₃ ⁼ (µM) | |
|---------------|------------------|-----------------|--|-----------------------------------|------------------------------------|------|
| Verano | Mín. | 9,7 | 0,00 | 0,33 | 0,00 | |
| | Prom. | 14,1 | 1,23 | 0,63 | 1,36 | |
| | Máx. | 22,5 | 33,92 | 6,22 | 0,90 | 3,38 |
| Otoño | Mín. | 8,0 | 0,00 | 0,43 | 0,00 | |
| | Prom. | 12,4 | 33,40 | 4,34 | 0,78 | 2,03 |
| | Máx. | 15,9 | 34,05 | 13,54 | 1,24 | 4,85 |

Tabla 4.2: Valores mínimos (Mín.), promedios (Prom.) y máximos (Máx.) de temperatura, salinidad y concentración de nutrientes (nitritos+nitratos, fosfatos y silicatos) registrados durante las transectas de verano y otoño de 2003.

4.3.2.2- Biomasa, composición y abundancia del fitoplancton

La figura 4.7a muestra la distribución de la densidad total del fitoplancton y la concentración de clfa observada durante la transecta de otoño. En términos generales, la abundancia fitoplanctónica mostró valores inferiores a las 10^6 células l^{-1} , con excepción de las estaciones 296 y 297 (~47–48°S) donde se registraron picos de 3×10^6 y $1,6 \times 10^6$ células l^{-1} respectivamente, con un amplio predominio de pequeños fitoflagelados ($\leq 5 \mu m$) (Fig. 4.7b). Por su parte, la clfa mostró valores superiores a los 2 mg m^{-3} al norte de los 43° S , con picos de $4,8 \text{ mg m}^{-3}$ (E306), $4,3 \text{ mg m}^{-3}$ (E311) y $3,7 \text{ mg m}^{-3}$ (E312). Estos máximos en la concentración de clfa coincidieron con las mayores abundancias de diatomeas observadas a lo largo de la transecta (Fig. 4.7b, Fig. 4.8a), detectándose una correlación positiva entre estas dos variables ($r = 0,77$; $p < 0,0001$). Entre los *taxa* predominantes en dichas estaciones sobresalieron: *Guinardia delicatula* (máx. = $8,9 \times 10^4$ células l^{-1} , E306), *Chaetoceros debilis* (máx. = $3,9 \times 10^4$ células l^{-1} , E311), *Leptocylindrus minimus* (máx. = $2,1 \times 10^4$ células l^{-1} , E311), *Thalassiosira* sp. (diám = 6–10 μm) (máx. = $1,7 \times 10^4$ células l^{-1} , E312), *Rhizosolenia pungens* (máx. = $1,5 \times 10^4$ células l^{-1} , E312), *Meuniera membranacea* (máx. = $1,4 \times 10^4$ células l^{-1} , E312) y *Paralia sulcata* (máx. = $1,0 \times 10^4$ células l^{-1} , E306).

Como en el caso de la transecta de verano, los fitoflagelados ($\leq 5 \mu m$) dominaron ampliamente en el área de estudio, registrando densidades que fluctuaron entre $1,5 \times 10^5$ células l^{-1} (E294) y $2,9 \times 10^6$ células l^{-1} (E296). Por lo general, estos representaron más del 70% de la abundancia total del fitoplancton (Fig. 4.7b). En orden decreciente de abundancia relativa promedio se observaron criptofíceas (8,8%), diatomeas (5,9%), fitoflagelados de 6–15 μm (4,4%), dinoflagelados (2,2%), prasinofíceas (1,7%) y silicoflagelados (<0,1%).

Por su parte, las diatomeas presentaron densidades que fluctuaron entre $9,5 \times 10^2$ (E294) y $1,8 \times 10^5$ células l^{-1} (E306) (Fig. 4.8a), con un promedio de $3,5 \times 10^4$ células l^{-1} . Las mayores abundancias se observaron al norte de la estación 306 (~41°S), en la cual se registró el pico máximo de abundancia para el otoño, compuesto principalmente por *Guinardia delicatula*, *Leptocylindrus minimus*, *Chaetoceros debilis*, *Thalassiosira* cf. *tenera*, *Paralia sulcata* y *Thalassionema nitzschioides*. Las especies más frecuentemente observadas a lo largo de la transecta fueron *Actinoptychus senarius*, *Paralia sulcata*, *Pleurosigma* sp., *Psammodictyon panduriforme*, *Raphoneis amphicerus*, *Asterionellopsis glacialis*, *Hyalodiscus radiatus* y *Delphineis minutissima*. Asimismo, especies típicas de aguas frías, tales como *Chaetoceros dictaeta*, *Dactyliosolen antarcticus*, *Thalassiosira gracilis* y *Corethron pennatum*, fueron observadas principalmente al sur de los 49° S .

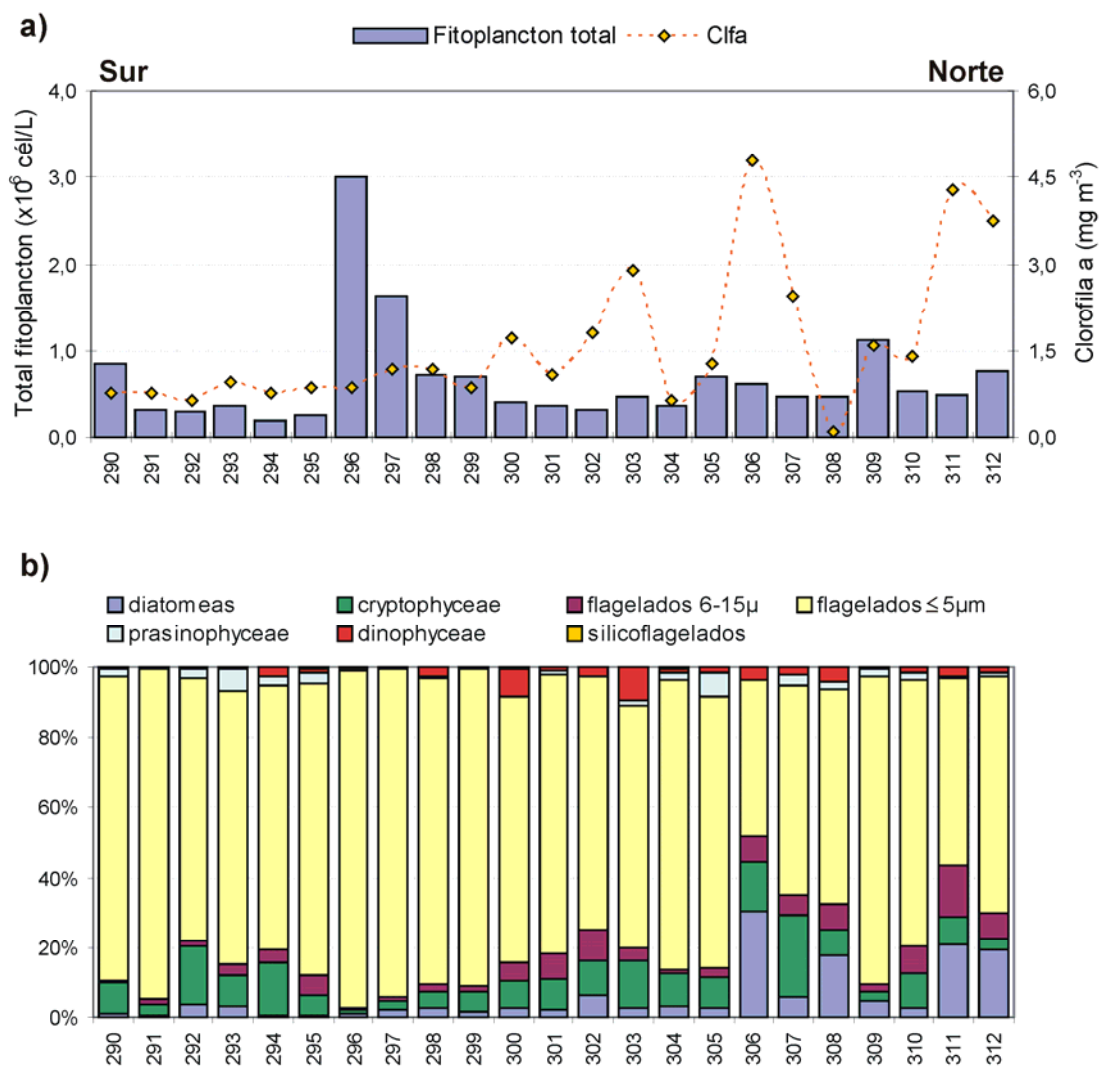


Figura 4.7: Distribución de clorofila *a* y abundancia total del fitoplancton **(a)** y abundancia relativa de los principales grupos del fitoplancton **(b)** a lo largo de la transecta de otoño de 2003. Note el sentido sur-norte de la transecta de muestreo.

4.3.2.3- Distribución de *Pseudo-nitzschia* spp.

El género *Pseudo-nitzschia* estuvo presente en el 96% de las estaciones examinadas a lo largo de la transecta, con densidades inferiores a las 1.000 células l^{-1} , a excepción de dos estaciones al norte de los 42°S, donde alcanzó picos de $6,2 \times 10^3$ (E306) y $5,6 \times 10^3$ células l^{-1} (E312) (Fig. 4.8b). Su contribución promedio a la abundancia total de diatomeas fluctuó entre 0,1% (E301 y E305) y 4,2% (E294), con un promedio de 1,5%. En siete estaciones de muestreo el género fue observado exclusivamente en las muestras concentradas de red.

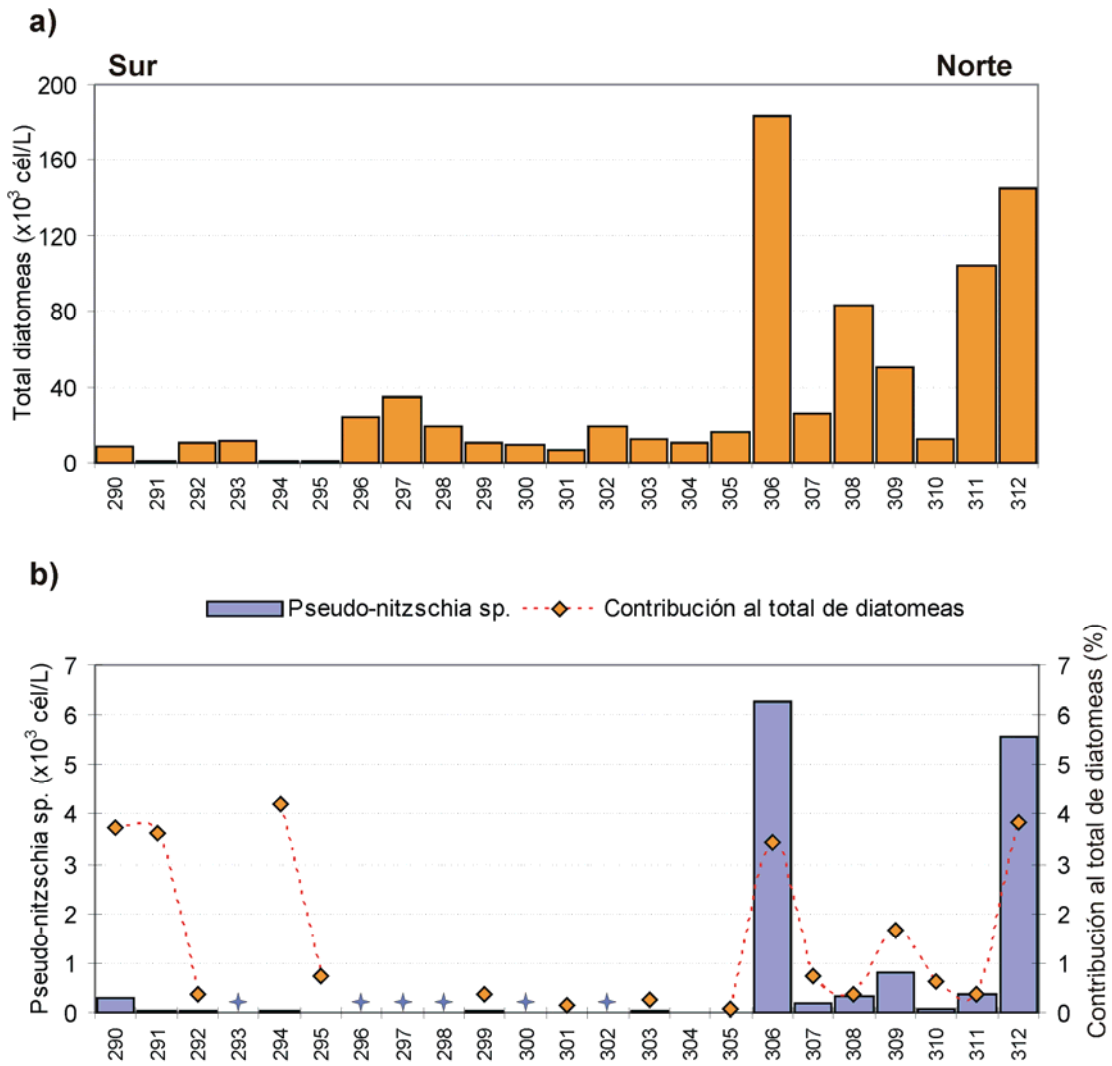


Figura 4.8: Densidad total de diatomeas (a) y abundancia del género *Pseudo-nitzschia* y su contribución relativa a la densidad total de diatomeas (b), a lo largo de la transecta de otoño de 2003. Note el sentido sur-norte de la transecta de muestreo. Las estrellas representan presencias cualitativas.

Durante la transecta de otoño se identificaron ocho especies de *Pseudo-nitzschia*: *P. australis*, *P. fraudulenta*, *P. heimii*, *P. lineola*, *P. pungens*, *P. cf. subcurvata*, *P. turgidula* y *P. turgiduloides*. De todas ellas, *P. turgiduloides* fue la especie más comúnmente registrada, observada en el 74% de las estaciones de muestreo, seguida por *P. pungens* (48%) y *P. australis* (43%) (Tabla 4.3). La presencia de *P. turgiduloides* durante el otoño se observó desde los 38°47'S a los 52°19'S (Fig. 4.5), representando la especie de distribución más amplia durante esta transecta. Sin embargo, sus densidades fueron generalmente inferiores a las 100 células l^{-1} , con un máximo de 130 células l^{-1} en la estación 290 (Tabla 4.5).

| Espece | Verano (N=26) | Otoño (N=23) | Total (N=49) |
|--------------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| <i>P. australis</i> | 6 | 10 | 16 |
| <i>P. fraudulenta</i> | 0 | 2 | 2 |
| <i>P. heimii</i> | 0 | 2 | 2 |
| <i>P. lineola</i> | 0 | 7 | 7 |
| <i>P. pungens</i> | 21 | 11 | 32 |
| <i>P. cf. subcurvata</i> | 7 | 2 | 9 |
| <i>P. turgidula</i> | 0 | 5 | 5 |
| <i>P. turgiduloides</i> | 7 | 17 | 24 |

Tabla 4.3: Cantidad de estaciones de muestreo en que las distintas especies de *Pseudo-nitzschia* fueron observadas en las transectas de verano y de otoño, y en la suma de ambas.

P. australis se registró exclusivamente al norte de los 48°18'S, alcanzando sus máximas densidades ($\sim 2\text{--}3 \times 10^3$ células l^{-1}) entre los 38–41°S aproximadamente (Fig. 4.5, Tabla 4.5). Por su parte, *P. pungens* mostró una distribución semejante, observándose únicamente al norte de los 47°29'S (Fig. 4.5), presentando sus mayores densidades entre los $\sim 38\text{--}41^\circ\text{S}$ (máx. = $4,2 \times 10^3$ células l^{-1} , E306; Tabla 4.5). Con respecto a *P. cf. subcurvata*, la misma fue raramente observada, registrándose únicamente en las estaciones 290 ($\sim 52^\circ\text{S}$) y 303 ($\sim 43^\circ\text{S}$), con una densidad inferior a las 50 células l^{-1} (Fig. 4.5; Tabla 4.5).

Del resto de las especies, *P. lineola* fue la que presentó una distribución más amplia, registrándose entre los ~ 43 y $\sim 52^\circ\text{S}$ (Fig. 4.5), con un máximo de 110 células l^{-1} en la estación 290 (Tabla 4.5). Por su parte, *P. heimii* se observó únicamente entre los ~ 51 y $\sim 52^\circ\text{S}$ (Fig. 4.5), con una densidad máxima de solo 10 células l^{-1} en la estación 290 (Tabla 4.5). Un caso similar fue observado para *P. turgidula*, que se registró en muy bajas densidades entre los 49°S y 52°S aproximadamente (Fig. 4.5), con un máximo de 20 células l^{-1} en la estación 290 (Tabla 4.5). Finalmente, *P. fraudulenta* solo fue observada en muestras de red entre los $\sim 43^\circ\text{S}$ y $\sim 45^\circ\text{S}$ (Fig. 4.5).

| Especie | | Temperatura (°C) | Salinidad (psu) | NO ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻ (μM) | PO ₄ ⁼ (μM) | SiO ₃ ⁼ (μM) |
|--------------------------|----------|---------------------|--------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------------|
| <i>P. australis</i> | N | 16 | 16 | 15 | 16 | 16 |
| | Rango | 9,7–15,9 | 32,6–34,1 | 0,00–7,23 | 0,44–1,13 | 0,00–4,85 |
| | Promedio | 12,7 | 33,4 | 2,49 | 0,69 | 1,17 |
| <i>P. fraudulenta</i> | N | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | Rango | 12,8–13,4 | 33,4 | 1,51–2,10 | 0,69–0,75 | 1,58–2,22 |
| | Promedio | 13,1 | 33,4 | 1,81 | 0,72 | 1,90 |
| <i>P. heimii</i> | N | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | Rango | 8,0–9,0 | 32,5–32,8 | 8,79–13,10 | 1,03–1,24 | 2,82–3,62 |
| | Promedio | 8,5 | 32,6 | 10,94 | 1,13 | 3,22 |
| <i>P. lineola</i> | N | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| | Rango | 8,0–13,4 | 32,5–33,4 | 1,51–13,54 | 0,68–1,24 | 1,01–3,62 |
| | Promedio | 10,3 | 33,1 | 7,86 | 0,92 | 2,30 |
| <i>P. pungens</i> | N | 32 | 32 | 31 | 32 | 32 |
| | Rango | 9,7–22,5 | 32,6–34,1 | 0,00–7,23 | 0,42–1,13 | 0,00–4,85 |
| | Promedio | 14,4 | 33,4 | 1,41 | 0,68 | 1,45 |
| <i>P. cf. subcurvata</i> | N | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| | Rango | 8,0–20,9 | 32,5–33,7 | 0,04–8,79 | 0,48–1,03 | 0,00–3,62 |
| | Promedio | 13,7 | 33,2 | 1,82 | 0,68 | 1,65 |
| <i>P. turgidula</i> | N | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | Rango | 8,0–9,6 | 32,5–33,3 | 7,85–13,54 | 0,84–1,23 | 1,81–3,62 |
| | Promedio | 9,1 | 33,0 | 10,03 | 0,99 | 2,62 |
| <i>P. turgiduloides</i> | N | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| | Rango | 8,0–18,3 | 32,5–34,1 | 0,00–13,54 | 0,33–1,24 | 0,00–4,44 |
| | Promedio | 12,3 | 33,3 | 4,07 | 0,71 | 1,83 |

Tabla 4.4: Rangos y promedios de temperatura, salinidad y concentración de nitritos + nitratos, fosfatos y silicatos en los que las distintas especies de *Pseudo-nitzschia* fueron observadas en el Mar Argentino.

| | <i>P.</i> <i>australis</i> | <i>P.</i> <i>fraudulenta</i> | <i>P.</i> <i>heimii</i> | <i>P.</i> <i>lineola</i> | <i>P.</i> <i>pungens</i> | <i>P. cf.</i> <i>subcurvata</i> | <i>P.</i> <i>turgidula</i> | <i>P.</i> <i>turgiduloides</i> |
|--|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Verano | | | | | | | | |
| Densidad máx. (cél/L) | 61111 | n/d | n/d | n/d | 926 | 6667 | n/d | n/d |
| Latitud (°S) | 51° 42' | - | - | - | 47° 42' | 54° 26' | - | - |
| Temperatura (°C) | 10,7 | - | - | - | 12,6 | 9,8 | - | - |
| Salinidad (Psu) | 33,08 | - | - | - | 32,91 | 32,64 | - | - |
| NO ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻ (μM) | 0,55 | - | - | - | 2,78 | 3,31 | - | - |
| PO ₄ ⁼ (μM) | 0,44 | - | - | - | 0,85 | 0,59 | - | - |
| SiO ₃ ⁼ (μM) | 0,00 | - | - | - | 2,07 | 0,00 | - | - |
| Otoño | | | | | | | | |
| Densidad máx. (cél/L) | 2778 | n/d | 10 | 110 | 4167 | 40 | 20 | 130 |
| Latitud (°S) | 38° 29' | - | 52° 19' | 52° 19' | 41° 34' | 52° 19' | 52° 19' | 52° 19' |
| Temperatura (°C) | 15,2 | - | 8,0 | 8,0 | 15,4 | 8,0 | 8,0 | 8,0 |
| Salinidad (Psu) | 33,74 | - | 32,45 | 32,45 | 33,83 | 32,45 | 32,45 | 32,45 |
| NO ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻ (μM) | 0,19 | - | 8,79 | 8,79 | 0,18 | 8,79 | 8,79 | 8,79 |
| PO ₄ ⁼ (μM) | 0,63 | - | 1,03 | 1,03 | 0,75 | 1,03 | 1,03 | 1,03 |
| SiO ₃ ⁼ (μM) | 0,81 | - | 3,62 | 3,62 | 0,40 | 3,62 | 3,62 | 3,62 |

Tabla 4.5: Densidades máximas de las distintas especies de *Pseudo-nitzschia* y los registros correspondientes de temperatura, salinidad y concentración de nitritos+nitratos, fosfatos y silicatos, observados durante las transectas de verano y otoño de 2003 (n/d = no detectadas).

4.4- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La distribución de clorofila *a* observada a lo largo de las transectas de verano y otoño consideradas en este capítulo, mostró una buena correspondencia con la distribución sinóptica de Rivas et al. (2006) y Romero et al. (2006). En tal sentido, durante el verano la concentración de clorofila *a* fue relativamente baja en la parte norte de la transecta y presentó sus valores máximos hacia el sur, en el área de Bahía Grande (~52° S) (Fig. 4.9). Por el contrario, durante la transecta de otoño se observó una tendencia opuesta, con mínimos en la parte sur y máximos hacia el norte (~38 y 41° S), aunque con valores relativamente inferiores respecto a los máximos de verano. De lo anterior se desprende que las mayores concentraciones de clorofila observadas en la parte sur de la transecta de verano y en la parte norte de la transecta de otoño, reflejan el desplazamiento latitudinal de las floraciones en la plataforma continental argentina antes señalado por Rivas et al. (2006) y Romero et al. (2006).

Con respecto a la composición taxonómica del fitoplancton, en el presente capítulo se mostró que las asociaciones fitoplanctónicas estuvieron dominadas por fitoflagelados $\leq 5\mu\text{m}$ en casi todas las muestras analizadas. Sin embargo, las mayores concentraciones de biomasa generalmente coincidieron con elevadas concentraciones de diatomeas, las cuales, comparadas con los fitoflagelados ($\leq 5\mu\text{m}$), mostraron abundancias inferiores en la mayor parte de las estaciones de muestreo.

Estos resultados coinciden con los de Carreto et al. (2003), quienes encontraron un amplio predominio de fitoflagelados de pequeño tamaño en la parte norte de la plataforma continental (~37° S) durante la primavera, mediante observaciones microscópicas y análisis de pigmentos con cromatografía líquida de alta resolución. En este trabajo, los autores mencionan que las primnesiofíceas representaron el 72% de la abundancia total del fitoplancton, con elevadas concentraciones de *Emiliania huxleyi* y *Phaeocystis* sp. ($1-2 \times 10^4$ células l^{-1}). En segundo lugar se registraron las prasinofíceas (24%), seguidas por las diatomeas, las que presentaron una contribución relativa aproximada de 3% al total celular. Por otro lado, en latitudes similares (~38° S) pero en una estación costera, Lutz et al. (2006) observaron que durante el verano el fitoplancton de la fracción inferior a las 5 μm alcanzó su máxima contribución relativa a la concentración total de clorofila *a* (~50%), en coincidencia con las mayores densidades de fitoflagelados ($\leq 5\mu\text{m}$) observadas durante la transecta de verano en el presente estudio.

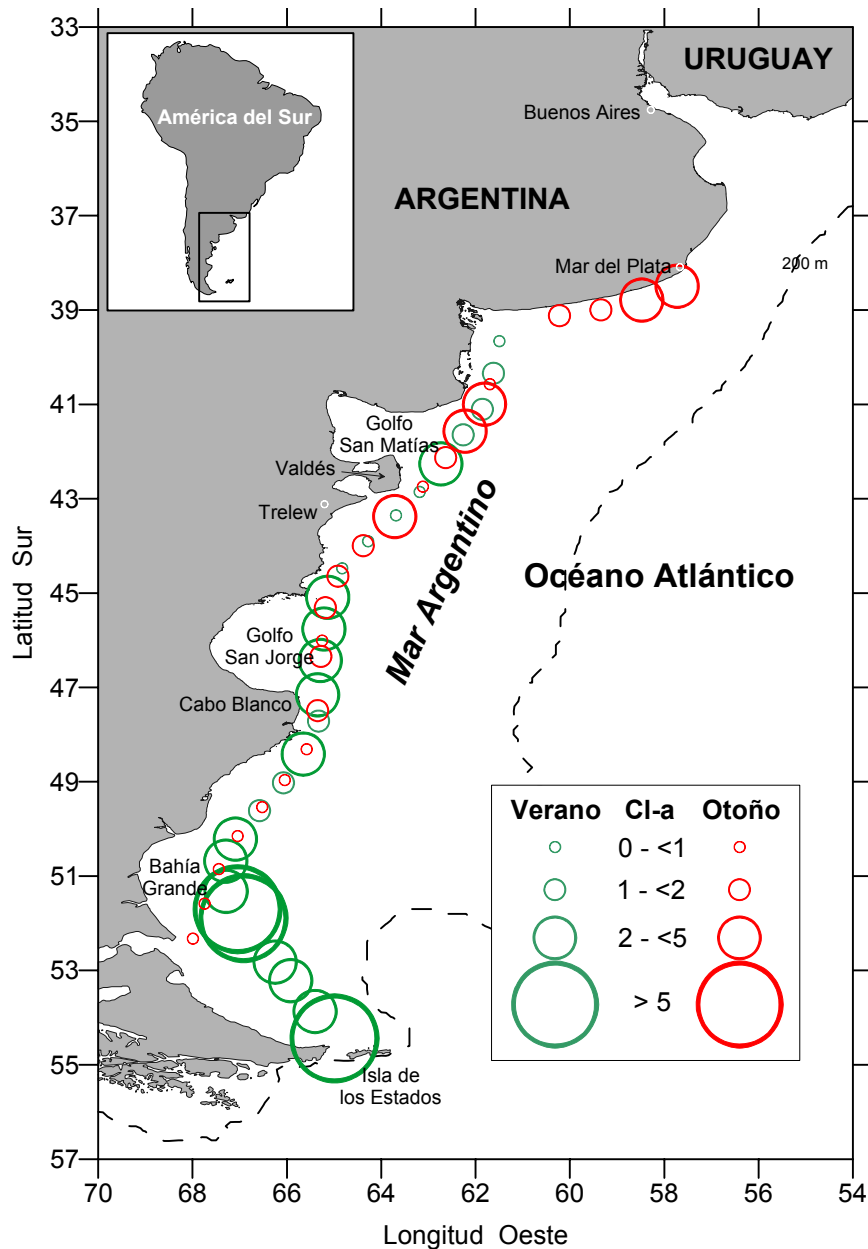


Figura 4.9: Distribución de la concentración de clorofila *a* (mg Cl-a m^{-3}) observada en la plataforma del Mar Argentino durante las transectas de verano y otoño de 2003.

Por su parte, la distribución de diatomeas mostró una notoria variabilidad en términos de abundancia, contrastando entre zonas pobres y ricas a lo largo de cada transecta. En tal sentido, las mayores densidades se observaron en la parte sur de la transecta de verano y en la parte norte de la transecta de otoño. Estas densidades fueron superiores a las mencionadas previamente por otros autores para la plataforma continental argentina durante la primavera tardía y el verano (Carreto et al. 2003; Olguín & Alder 2004); y para aguas del talud durante el mes de noviembre (Olguin et al. 2007). Sin embargo, esto contrasta con las observaciones de Fernandes & Brandini (1999), quienes encontraron mayores

concentraciones de diatomeas ($\sim 3,5 \times 10^6$ células l^{-1}) en aguas del talud a los 48 y 51° S, durante el mes de noviembre (primavera tardía).

Entre las diatomeas más abundantes observadas en las dos transectas analizadas sobresalió *Chaetoceros debilis*, especie que alcanzó durante el verano una concentración máxima de 3×10^6 células l^{-1} en la zona de Bahía Grande ($\sim 52^\circ S$). Esto coincide con los resultados de Fernandes & Brandini (1999), quienes observaron floraciones de *Chaetoceros* spp. del mismo orden de magnitud ($\sim 3,5 \times 10^6$ células l^{-1}) en aguas del talud durante el mes de noviembre, a los 48 y 51° S aproximadamente.

Otras especies importantes en términos de su abundancia, aunque presentando concentraciones muy inferiores a las alcanzadas por *Ch. debilis*, fueron *Guinardia delicatula*, *Guinardia striata*, *Meuniera membranacea*, *Leptocylindrus minimus*, *Paralia sulcata*, *Cerataulina pelagica*, *Thalassiosira mala*, *Thalassiosira* cf. *tenera*, *Thalassionema nitzschioides* y *Rhizosolenia pungens*. La mayoría de estas especies han sido señaladas como típicas de aguas templadas o cosmopolitas (Hasle & Syvertsen 1997).

Por otro lado, la presencia de *Chaetoceros dichaeta*, *Dactyliosolen antarcticus*, *Thalassiosira gracilis* y *Corethron pennatum*, especies mencionadas como típicas de agua fría (Hasle & Syvertsen 1997), fue por lo general observada sólo en forma esporádica (principalmente en otoño y al sur de los 49°S) y en bajas concentraciones. Por consiguiente, el predominio de especies típicas de aguas frías señalado por Fernandes & Brandini (1999) y Olguin et al. (2007) en la zona del talud del Mar Argentino durante la primavera, no mostró correspondencia con las observaciones realizadas en esta tesis para la plataforma continental durante el verano y el otoño.

Los resultados presentados en este capítulo revelan que durante el verano y el otoño el género *Pseudo-nitzschia* se encuentra ampliamente distribuido en la plataforma del Mar Argentino, registrándose en el 90% del total de las estaciones examinadas. Sin embargo, su densidad celular es generalmente baja ($< 10^3$ células l^{-1}) o indetectable durante los recuentos celulares y sólo ocasionalmente presenta picos de abundancia.

La escasez de trabajos previos acerca de la distribución del género *Pseudo-nitzschia* en aguas de plataforma, dificulta la comparación de los resultados obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, la alta frecuencia de aparición de *Pseudo-nitzschia* coincide con la encontrada por Lange (1985) en una transecta de muestreo realizada en el sector norte de la plataforma (38–39°S) entre los meses de abril y diciembre. Del análisis detallado de los datos presentados en su Tabla 2 se puede apreciar que el género *Pseudo-nitzschia* estuvo

presente en un 77% del total de las muestras examinadas. Asimismo, si sólo se consideran del trabajo en cuestión las muestras recolectadas durante los meses de diciembre, mayo y abril (representativas del verano y otoño), la frecuencia del género se eleva al 87,5%, promedio muy cercano al obtenido en el presente estudio.

Por el contrario, el trabajo presentado por Negri & Inza (1998) para la parte norte de la plataforma (35–39°S), muestra en su Figura 2 una frecuencia inferior de *Pseudo-nitzschia* (58%) durante los meses de mayo y diciembre. Asimismo, y aunque en forma esporádica, estos autores observaron una floración de *Pseudo-nitzschia* con concentraciones superiores a las 10^6 células l^{-1} durante el mes de mayo, valor que resulta muy superior a la densidad máxima registrada durante el presente estudio.

Por otro lado, y a diferencia de las bajas densidades comúnmente observadas en la plataforma continental del Mar Argentino, la ocurrencia de floraciones de *Pseudo-nitzschia* es un fenómeno recurrente en aguas costeras de los golfos norpatagónicos durante los meses de primavera y verano (Sastre et al. 2001; Sastre com. pers.).

Un total de ocho especies fueron observadas durante el análisis de las dos transectas realizadas en la plataforma del Mar Argentino: *P. australis*, *P. fraudulenta*, *P. heimii*, *P. lineola*, *P. pungens*, *P. cf. subcurvata*, *P. turgidula* y *P. turgiduloides*. Esta riqueza de especies resulta ligeramente superior a la mencionada por Odebrecht et al. (2001), quienes estudiando la distribución de *Pseudo-nitzschia* a lo largo del año en aguas adyacentes de la plataforma continental del sur de Brasil (32–38°S), hallaron un total de cinco especies, a saber: *P. fraudulenta*, *P. pungens*, *P. multiseries*, *P. australis* y *P. pseudodelicatissima*.

Considerando las dos transectas en forma conjunta, *P. pungens* fue la especie de *Pseudo-nitzschia* más comúnmente registrada, observándose en un 65% del total de las estaciones examinadas. Su alta frecuencia en el Mar Argentino coincide con los resultados de Lange (1985) y Negri & Inza (1998) obtenidos para el sector norte de la plataforma (~35–39°S), donde también fue la especie más frecuente de *Pseudo-nitzschia*. En particular, *P. pungens* estuvo ampliamente distribuida durante el verano, extendiéndose hacia el sur hasta los 54° 26'S. De la comparación de este último registro con aquellos recopilados por Hasle (2002), se desprende que el mismo constituye el registro más austral para *P. pungens* a nivel mundial, superando al de Rivera (1985) para las costas chilenas (49° 52'S) del océano Pacífico. A diferencia de lo observado durante el verano, *P. pungens* sólo fue registrada en la parte norte de la plataforma durante el otoño.

P. australis fue observada durante las dos estaciones del año, abarcando de forma irregular una extensa zona del Mar Argentino y mostrando una fuerte estacionalidad en sus patrones de distribución. Durante el verano, estuvo restringida al sector más austral de la plataforma (51–54°S), donde se observó en densidades bajas, excepto por un pico de $6,1 \times 10^4$ células l^{-1} registrado cerca de los 52°S. Este pico representó la densidad más alta alcanzada por una especie de *Pseudo-nitzschia* durante este estudio y también la mayor abundancia de *P. australis* observada en aguas argentinas (Negri & Inza 1998; Sastre et al. 2001; Negri et al. 2004). En contraste, durante el otoño *P. australis* fue encontrada principalmente en las muestras del norte (38–42°S) y generalmente en concentraciones elevadas.

P. fraudulenta y *P. cf. subcurvata* no mostraron patrones claros en su distribución. Los resultados obtenidos para *P. fraudulenta*, en coincidencia con los estudios previos realizados en la región (Lange 1985; Negri & Inza 1998; Sastre com. pers.), sugieren que la misma es una especie rara en el Mar Argentino. Por el contrario, *P. cf. subcurvata* mostró una distribución más amplia, alcanzando sus máximas densidades durante el verano. Esto resulta llamativo, debido a que *P. cf. subcurvata* ha sido considerada históricamente como una especie de distribución confinada a aguas antárticas (Hasle 1964; Hasle & Syvertsen 1997). No obstante, en aguas del Pasaje de Drake, al norte del frente polar, Ferrario & Licea (2006) hallaron a esta especie en concentraciones de hasta 4×10^3 células l^{-1} .

Por último, *P. heimii*, *P. lineola*, *P. turgidula* y *P. turgiduloides* presentaron patrones de distribución semejantes, siendo observadas principalmente en la zona sur de la transecta de otoño. Estas aguas se caracterizaron por sus bajas temperaturas y salinidades, una elevada concentración de nutrientes y la ocurrencia de especies típicas de aguas frías, tales como *Chaetoceros dichaeta*, *Dactyliosolen antarcticus*, *Thalassiosira gracilis* y *Corethron pennatum*. Estas observaciones por lo tanto sugieren que el hallazgo de *P. heimii*, *P. lineola*, *P. turgidula* y *P. turgiduloides* en la plataforma del Mar Argentino podría vincularse con el aporte de aguas frías provenientes de la Antártida. En este sentido, si bien la presencia de diatomeas típicas de aguas frías en la plataforma argentina es un fenómeno conocido (Lange 1985; Olguín et al. 2004), su relación con los patrones de circulación en la región son prácticamente desconocidos.

Al respecto, en su estudio sobre las diatomeas del sector norte del Mar Argentino (38–39°S), Lange (1985) observó que las especies típicas de agua fría se registraban principalmente durante los meses fríos de otoño e invierno y tendían a desaparecer durante los meses más cálidos. Con el fin de explicar esta variación estacional en la composición específica, la autora propuso una hipótesis vinculada con el desplazamiento de la Corriente de Malvinas,

la cual traslada aguas frías y ricas en nutrientes hacia el norte a lo largo del talud. De esta forma, durante los meses fríos el desplazamiento hacia la costa de la corriente de Malvinas permitiría la llegada de especies de agua fría a la plataforma, mientras que la ausencia de estas últimas durante los meses cálidos estaría relacionada con su posterior desplazamiento hacia aguas abiertas.

A pesar de que la hipótesis de Lange (1985) podría resultar adecuada para explicar la variabilidad estacional en la composición de diatomeas en el sector norte y más angosto de la plataforma, no existen evidencias de una penetración significativa de aguas de la Corriente de Malvinas en la porción sur y más ancha de la misma (A. Piola com. pers.). Sin embargo, simulaciones numéricas más recientes de la circulación en la plataforma del Mar Argentino sugieren la presencia de una circulación más intensa hacia el NE en la plataforma interior durante el otoño (Fig. 14 de Palma et al. 2004), la cual podría favorecer el encuentro de especies de aguas frías durante ese período.

Resumiendo, en base a los patrones de distribución de *Pseudo-nitzschia* spp. observados en la plataforma del Mar Argentino, y excluyendo a *P. fraudulenta* y *P. cf. subcurvata*, se pueden diferenciar dos grupos principales. El primero, que incluye a *P. pungens* y *P. australis*, presentó una amplia distribución y alcanzó elevadas densidades, especialmente en aguas con temperaturas y salinidades más elevadas, y menores concentraciones de nutrientes. En contraste, el segundo grupo, integrado por *P. heimii*, *P. lineola*, *P. turgidula* y *P. turgiduloides* mostró una distribución más restringida y densidades menores, especialmente en aguas más frías, menos salinas y ricas en nutrientes.

En adición a las especies registradas en este estudio, otros *taxa* de *Pseudo-nitzschia* han sido mencionados para el Mar Argentino: *P. multiseriata*, *P. seriata*, *P. pseudodelicatissima*, *P. delicatissima* y *P. aff. cuspidata* (Ferrario & Galván 1989; Ferrario et al. 2002). Sin embargo, a excepción de *P. multiseriata*, que fue estudiada con MEB por Ferrario et al. (1999), el resto de estas especies requieren estudios ultraestructurales adicionales que permitan confirmar su identidad. Un caso particular lo representa *P. seriata*, por ser considerada una especie confinada exclusivamente al hemisferio norte (Fryxell & Hasle 2004). En tal sentido, tanto en los estudios previos como en el presente, en los que se utilizó microscopía electrónica, la presencia de *P. seriata* no pudo ser confirmada en aguas del Mar Argentino. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este trabajo brindan nueva evidencia a favor de la hipótesis de Ferrario et al. (2002), quienes consideraron como posiblemente erróneos a los registros de *P. seriata* en aguas argentinas. Asimismo, se sugiere que los registros iniciales como *P. seriata* corresponderían a *P. australis*, especie frecuentemente

hallada en aguas argentinas (Frenguelli 1939; Hasle 1965; Lange 1985; Negri & Inza 1998; Ferrario et al. 1999; Sastre et al. 2001; Negri et al. 2004) y que, como fuera discutido en el capítulo 3, resulta similar a *P. seriata* cuando se observa solo al microscopio óptico.

Un caso diferente son las citas de *P. pseudodelicatissima* para el Mar Argentino, especie cuya identidad ha sido recientemente reexaminada junto a la de *P. cuspidata*, bajo la denominación “complejo *P. pseudodelicatissima/cuspidata*” por Lundholm et al. (2003). Estos autores, en base a un estudio morfológico ultraestructural sobre material de cultivo y de campo, enmendaron las diagnósicos de *P. pseudodelicatissima* y *P. cuspidata* y describieron dos nuevas especies: *P. calliantha* y *P. cacialantha*. Tomando en cuenta esta referencia y comparando los nuevos caracteres diagnósticos asignados para delimitar las cuatro especies, se observa que por la estructura de las estrías de las bandas, así como por el tipo de hímenes de los poroides, los especímenes originalmente asignados a *P. pseudodelicatissima* en Ferrario et al. (1999; 2002) corresponderían a *P. calliantha*. Por esta razón se considera que la presencia de *P. pseudodelicatissima* en aguas argentinas no está aún confirmada.

DISTRIBUCIÓN DEL GÉNERO *PSEUDO-NITZSCHIA* EN EL MAR DE WEDDELL

Capítulo 5

DISTRIBUCIÓN DEL GÉNERO *PSEUDO-NITZSCHIA* EN EL MAR DE WEDDELL

Capítulo 5

5.1.- INTRODUCCIÓN

A diferencia de lo observado para el Mar Argentino, existen numerosos antecedentes sobre el estudio del fitoplancton en el Mar de Weddell y aguas adyacentes. Las regiones más estudiadas comprenden el sector noroeste, próximo al extremo de la Península Antártica (Fryxell 1989; Nöthig et al. 1991; Bianchi et al. 1992; Kang & Fryxell 1993; Park et al. 1999; Kang et al. 2001), la zona de la Confluencia Weddell-Scotia en su límite norte (Schloss & Estrada 1994; Socal et al. 1997; Holm-Hansen et al. 2004) y distintas áreas del sector sudeste (Estrada & Delgado 1990; Nöthig et al. 1991; Hegseth & Von Quillfeldt 2002; Krell et al. 2005).

La mayor parte de estos trabajos centraron su interés en el estudio de la distribución de biomasa (ej. Nöthig et al. 1991; Park et al. 1999; Holm-Hansen et al. 2004) y/o el análisis de la composición y abundancia del fitoplancton (ej. Bianchi et al. 1992; Kang & Fryxell 1993; Socal et al. 1997; Kang et al. 2001; Schloss & Estrada 1994; Hegseth & Von Quillfeldt 2002; Krell et al. 2005). Sin embargo, dichas investigaciones sólo tratan parcialmente las relaciones del fitoplancton con las condiciones físico-químicas del agua de mar (temperatura, salinidad, nutrientes), la presencia de zonas frontales y la cobertura estacional de hielo marino.

Dado que no existen antecedentes sobre estudios específicos acerca del género *Pseudo-nitzschia* en el Mar de Weddell, los conocimientos previos sobre el mismo en esta región se limitan a su mención en los trabajos sobre la distribución general del fitoplancton citados anteriormente. En tal sentido, algunos autores mencionan a *Pseudo-nitzschia* sp. como un componente conspicuo del fitoplancton y como uno de los géneros que con frecuencia domina dentro del grupo de las diatomeas en el Mar de Weddell (Estrada & Delgado 1990; Kang & Fryxell 1993). No obstante, su identificación a nivel de especie no ha sido tratada con profundidad en aquellos trabajos donde no se realizaron análisis taxonómicos detallados (ej. Estrada & Delgado 1990; Bianchi et al. 1992), o ha estado limitada al reconocimiento de grupos de especies similares durante los recuentos celulares (Schloss & Estrada 1994; Kang et al. 2001).

En este capítulo se presentan los resultados del estudio de la distribución, composición y abundancia del género *Pseudo-nitzschia* en una extensa región del Mar de Weddell,

obtenidos a partir del análisis de 2 transectas de muestreo realizadas durante el período estival de los años 2003 y 2004. A fin de brindar un enfoque general acerca de las condiciones ambientales y las características de las asociaciones fitoplanctónicas observadas en cada una de las transectas, al comienzo de cada sección se describen las propiedades físico-químicas del agua (temperatura, salinidad y concentración de nutrientes), la cobertura de hielo marino y la biomasa, composición y abundancia del fitoplancton, y posteriormente se analiza la distribución de *Pseudo-nitzschia*. Asimismo, se explora la relación existente entre la distribución de *Pseudo-nitzschia* spp. y las distintas variables ambientales consideradas, tales como la cobertura de hielo, batimetría, temperatura, salinidad, nutrientes y fotoperíodo. Al final de este capítulo se discuten los principales resultados obtenidos para los dos períodos de muestreo y la variación interanual observada.

5.2.- ANÁLISIS DE DATOS

El área de estudio considerada en este capítulo abarca una extensa región del Mar de Weddell (~61–77°S y 20–43°O), comprendida entre las proximidades de las Islas Orcadas y la base argentina “Belgrano 2” (Fig. 5.1). Se establecieron un total de 79 estaciones de muestreo, dispuestas en dos transectas correspondientes a los años 2003 y 2004 (Tabla 5.1; Fig. 5.1). En cada estación de muestreo se obtuvieron datos acerca de las propiedades del agua y se colectaron muestras para la realización de los análisis químicos y biológicos correspondientes, conforme a los procedimientos detallados en la sección “Materiales y Métodos” (ver capítulo 2). Adicionalmente, se analizó la estructura térmica vertical de la columna de agua, la duración del fotoperíodo y la cobertura estacional de hielo marino en el área de muestreo, de acuerdo a las metodologías que se describen a continuación.

Con el objeto de examinar la relación entre los parámetros biológicos de superficie y la distribución a gran escala de las masas de agua y la ubicación de los frentes oceanográficos, se utilizaron datos provenientes de 36 perfiles de temperatura obtenidos mediante bati-termógrafos (XBT). Estos fueron colectados en el contexto de la colaboración existente entre los proyectos ARGAU y CANOPO (Programa de Investigación Italiana en la Antártida, PNRA, <http://clima.casaccia.enea.it/canopo>). Los perfiles verticales de temperatura (de entre 800 y 2700 m de profundidad) fueron realizados del 7 al 11 de Febrero de 2004, durante la transecta de regreso desde la base “Belgrano 2” hacia las Islas Orcadas. El lanzamiento de los XBT se realizó a lo largo de un recorrido similar al del muestreo del resto de los parámetros físico-químicos y biológicos, con una diferencia temporal de alrededor de una semana (máx. = 11 días). Esta diferencia de tiempo puede considerarse despreciable con respecto a la variabilidad temporal típica de los frentes de

gran escala, los cuales pueden sufrir leves desplazamientos meridionales y cambios en su intensidad en escalas de tiempo estacionales (Artamonov et al. 2004).

Los datos correspondientes al fotoperíodo se obtuvieron del software Webcalculator (<http://www.webcalculator.co.uk/environmental/daycalc.htm>), utilizando las coordenadas geográficas y la fecha de muestreo (en días Julianos) de las estaciones correspondientes.

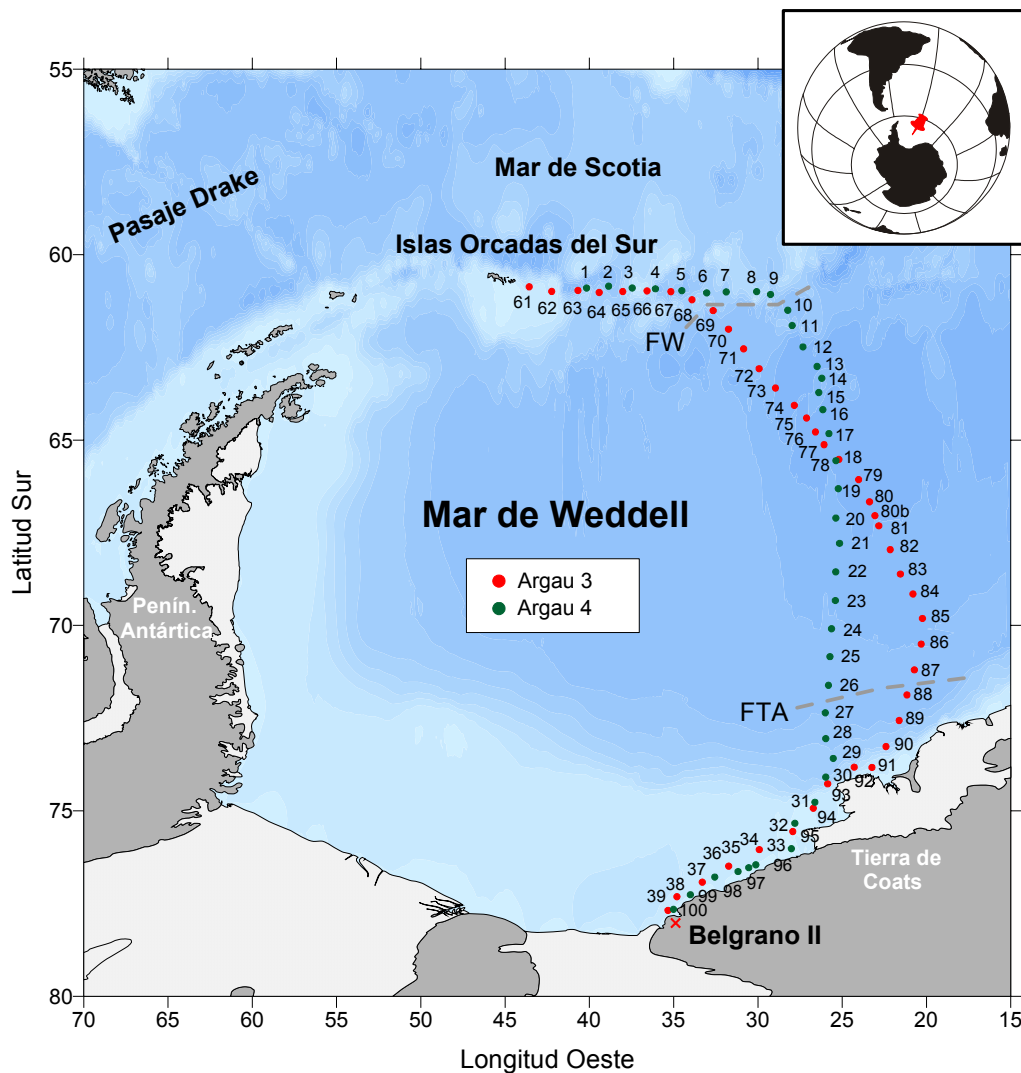


Figura 5.1: Ubicación de las estaciones de muestreo realizadas durante las Campañas Argau 3 y 4 en el Mar de Weddell. Con líneas discontinuas se representa la localización aproximada de los frentes de Weddell (FW) y del Talud Antártico (FTA), que delimitan tres grandes zonas en el área de estudio (ver detalles en la sección 5.3.1).

| Campaña | Estaciones | Fecha |
|---------|------------|-------------------------------------|
| Argau 3 | 61–100 | 17 al 22 de Febrero de 2003 |
| Argau 4 | 1–39 | 30 de Enero al 6 de Febrero de 2004 |

Tabla 5.1: Estaciones de muestreo analizadas en el Mar de Weddell.

Se obtuvieron mapas diarios de la concentración de hielo marino a partir del Radiómetro Avanzado de Exploración por microondas (AMSR-E), instalado a bordo del satélite Aqua. Los mapas fueron elaborados por el Instituto de Física Ambiental de la Universidad de Bremen (Alemania), con una resolución de $6,25 \times 6,25$ km. La concentración de hielo marino fue calculada en el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE-CONICET), utilizando el algoritmo “ARTIST Sea-ice” (ASI) (Kaleschke et al. 2001). A fin de analizar la influencia de la proximidad del borde de hielo en la distribución del fitoplancton, se estimó la distancia existente (en km) entre las estaciones de muestreo y la isolínea de 80% de concentración de hielo marino.

Con el objeto de explorar la relación entre la distribución de las especies de *Pseudo-nitzschia* y las distintas variables ambientales consideradas se realizó un Análisis de Correspondencia Canónico (ACC) (Ter Braak 1986; Ter Braak & Verdonschot 1995). Las variables ambientales examinadas incluyeron la temperatura, salinidad, fotoperíodo, profundidad, distancia al borde de hielo, clorofila *a*, latitud y concentración de nitratos+nitritos, fosfatos y silicatos. Estas fueron abreviadas en las tablas y figuras como TEMP, SAL, FOTOP, PROF, DIST-HIELO, CLF-*a*, LAT, NO₂+NO₃, PO₄ y SiO₃. La prueba de permutación de Monte Carlo (999 permutaciones, $p \leq 0.05$) fue utilizada para evaluar la significación del modelo de ordenación. Los datos de abundancia fueron transformados previamente aplicando raíz cuadrada (Ter Braak 1986). En aquellos casos donde las especies no fueron registradas durante los recuentos celulares, pero si en las muestras concentradas de red (“presencias cualitativas”), se asignó una abundancia ficticia de 5 células l^{-1} a fin de poder incluirlos en el ACC. Esta magnitud representa la mitad del límite de detección obtenido durante los recuentos celulares. Debido a registros de datos ambientales incompletos, las estaciones 13 y 22 de la transecta del año 2004 y 89, 95, 97–100 de la transecta de 2003 fueron excluidas del análisis, el cual se realizó con el software CANOCO 4.5 (Ter Braak & Šmilauer 2002) considerando las dos transectas en forma conjunta. De esta forma, la matriz de las variables ambientales estuvo compuesta de 70 filas y 10 columnas; y la de especies por 70 filas y 6 columnas.

5.3.- RESULTADOS

5.3.1- CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS Y DELIMITACIÓN DE ZONAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

A fin de obtener una representación sinóptica de la distribución de las diferentes masas de agua en la zona de estudio se utilizó la información proveniente de los perfiles de XBT efectuados durante la transecta de 2004. La Figura 5.2 muestra la sección vertical de

temperatura a lo largo del Mar de Weddell. La masa de agua mejor representada en los 1000 m superiores es la denominada “*Agua Cálida Profunda*” (ACP), que se caracteriza por presentar valores relativamente altos de temperatura y salinidad, bajo contenido de O₂ y altas concentraciones de nutrientes (Sokolov & Rintoul, 2002). El núcleo de la ACP se identifica por un máximo de temperatura relativa, que alcanza sus valores más altos hacia el sur (T > 0,75 °C entre 200 y 400 m de profundidad, entre las estaciones 21 y 25 en la Fig. 5.2). Sobre esta masa de agua cálida y hacia la superficie, se extiende una masa de agua de menor salinidad y temperatura denominada “*Agua Antártica de Superficie*” (AAS), que en las estaciones más australes se caracteriza por temperaturas cercanas al punto de congelación. En la base del AAS y sobre el ACP, se observa un mínimo de temperatura a una profundidad aproximada de 100 m (Fig. 5.2) que suele denominarse como “*Agua de Invierno*” (AI), debido a que es un remanente de la capa de mezcla de agua fría observada durante el invierno, que se calienta parcialmente durante el verano (Fahrbach et al. 2004).

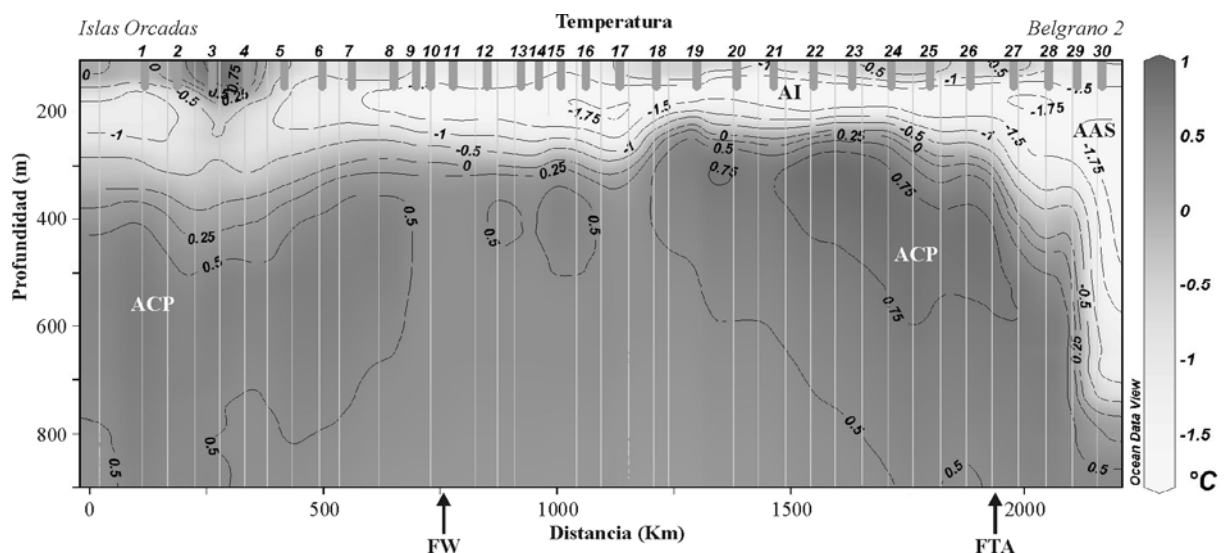


Figura 5.2: Sección vertical de temperatura en el Mar de Weddell compilada a partir de perfiles XBT. Las flechas indican la localización aproximada del Frente de Weddell (FW) y el Frente de Talud Antártico (FTA). Las líneas blancas verticales representan los lanzamientos de los XBT. ACP: Agua cálida profunda; AAS: Agua antártica de superficie; AI: Agua de invierno.

Al norte del Mar de Weddell, la convergencia de las aguas provenientes de la Corriente Circumpolar Antártica (en dirección este) y las aguas del Mar de Weddell (que fluyen hacia el noreste), originan la denominada “*Zona de Confluencia Weddell-Scotia*” (ZCWS), caracterizada por sus fuertes procesos de mezcla (Whitworth et al. 1994; Brandon et al. 2004). El *Frente de Weddell* (FW) representa el límite entre la ZCWS y las aguas más estratificadas del Mar de Weddell propiamente dicho (Heywood et al. 2004). En el sector

este de la plataforma de las Islas Orcadas, el FW puede identificarse como la región cercana a los 60–62° S donde el máximo de temperatura sub-superficial no alcanza los 0.5 °C (Heywood & King 2002). Sin embargo, Heywood et al. (2004) observaron que al este de las Islas Orcadas el FW se presenta de un modo complejo e irregular, siguiendo aproximadamente a las isobatas de 2000–2500 m de la plataforma submarina de las islas. Desafortunadamente, la derrota en sentido latitudinal seguida por el rompehielos en esta zona no permitió la intersección ortogonal del FW durante la transecta de 2004 (Rupolo com. pers.). Por lo tanto, su localización fue establecida en forma aproximada entre las estaciones 9 y 11 de dicha transecta, teniendo en consideración los resultados de Heywood & King (2002) y Heywood et al. (2004).

En sentido opuesto, al sur del Mar de Weddell, el *Frente de Talud Antártico* (FTA) define el límite entre las aguas relativamente frías sobre la plataforma continental antártica y las aguas más calidas de la región oceánica del Mar de Weddell (Heywood et al. 2004). La ocurrencia de este frente se encuentra íntimamente ligada a la presencia del talud continental, y se relaciona con una corriente de dirección Oeste, originada sobre la plataforma continental Antártica como consecuencia de los vientos (Heywood et al. 2004). Para el presente estudio, el FTA fue localizado entre las estaciones 26 y 27 de la transecta de 2004 (Fig. 5.2), a partir de la identificación de un gradiente de temperatura sub-superficial (~200–300 m) entre el ACP y una capa profunda de AAS (Whitworth et al. 1998).

En síntesis, el análisis conjunto de los perfiles verticales de temperatura colectados durante la campaña de muestreo del 2004 y de los resultados publicados para la región, permitieron identificar tres grandes zonas en el área de estudio: a) la zona de Confluencia Weddell-Scotia, hacia el norte del FW (ZCWS, E1–9), b) la zona oceánica del Mar de Weddell (ZOMW, E10–26) y c) la zona nerítica del Mar de Weddell, hacia el sur del FTA (ZNMW, E27–39).

| Zona | Transecta 2003 | Transecta 2004 |
|---|----------------|----------------|
| Zona de Confluencia Weddell-Scotia (ZCWS) | (E61–68) | (E1–9) |
| Zona oceánica del Mar de Weddell (ZOMW) | (E69–87) | (E10–26) |
| Zona nerítica del Mar de Weddell (ZNMW) | (E88–100) | (E27–39) |

Tabla 5.2: Estaciones de muestreo comprendidas en cada una de las tres grandes zonas consideradas durante las transectas 2003/2004.

De acuerdo a Heywood et al. (2004), la localización de estos frentes en el Mar de Weddell muestra una gran estabilidad interanual, en gran parte controlada por la batimetría. En consecuencia, estas tres zonas principales también fueron discriminadas para la transecta

de 2003, aproximando la localización de los frentes antes establecida para la transecta de 2004 (Tabla 5.2).

5.3.2- TRANSECTA DE VERANO DE 2003

5.3.2.1- Características físico-químicas y cobertura de hielo

La Fig. 5.3 muestra la distribución de la temperatura, salinidad y concentración de nutrientes en superficie (9 m) observada a lo largo de la transecta de 2003. A pesar de las oscilaciones locales inducidas por la proximidad al borde de hielo (ver más adelante), puede apreciarse una disminución general de la temperatura en sentido norte-sur (Fig. 5.3a), con valores máximos en la ZCWS (máx. = 0,57 °C, E67) y mínimos en la ZOMW y ZNMW (mín. = -1,63 °C, E75 y 98). De la misma forma, puede observarse un gradiente de salinidad en sentido latitudinal, pero presentando una tendencia opuesta a la de la temperatura, con máximos en la ZNMW (máx. = 34,20 psu, E94) y valores más reducidos hacia el norte (mín. = 33,07 psu, E83) (Fig. 5.3a).

En términos generales, se observó una elevada concentración de nutrientes en toda el área de estudio (Fig. 5.3b-d), mostrando rangos para nitratos + nitritos, fosfatos y silicatos de 10–25,7 μM ; 0,4–3,1 μM y 19,1–84,9 μM , respectivamente. Concentraciones relativamente reducidas de nitratos + nitritos, fosfatos y silicatos fueron observadas principalmente al norte del FTA (E86) y en la ZNMW (Fig. 5.3c). La Tabla 5.3 muestra los valores promedio de temperatura, salinidad y nutrientes para cada una de las tres zonas identificadas en la transecta de muestreo.

En síntesis, la ZCWS se caracterizó por la presencia de aguas más cálidas, menos salinas y con mayor concentración de nutrientes, la ZNMW por aguas más frías y salinas y concentraciones menores de nutrientes, y la ZOMW presentó características intermedias entre las dos anteriores (Tabla 5.3).

| Transecta 2003 | ZCWS (E61–68) | ZOMW (E69–87) | ZNMW (E88–100) |
|---|------------------|------------------|-------------------|
| Temperatura (°C) | 0,31 ± 0,20 | -0,66 ± 0,53 | -1,02 ± 0,51 |
| Salinidad (Psu) | 33,38 ± 0,17 | 33,56 ± 0,19 | 34,03 ± 0,14 |
| NO ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻ (μM) | 22,80 ± 2,74 | 21,54 ± 3,64 | 20,37 ± 3,95 |
| PO ₄ ⁼ (μM) | 1,81 ± 0,31 | 1,54 ± 0,61 | 1,34 ± 0,58 |
| SiO ₃ ⁼ (μM) | 60,01 ± 7,35 | 59,01 ± 16,20 | 40,09 ± 8,63 |

Tabla 5.3: Valores promedio ± desviación estándar de temperatura, salinidad y concentración de nutrientes registrados en las distintas regiones del área de estudio durante la transecta de 2003.

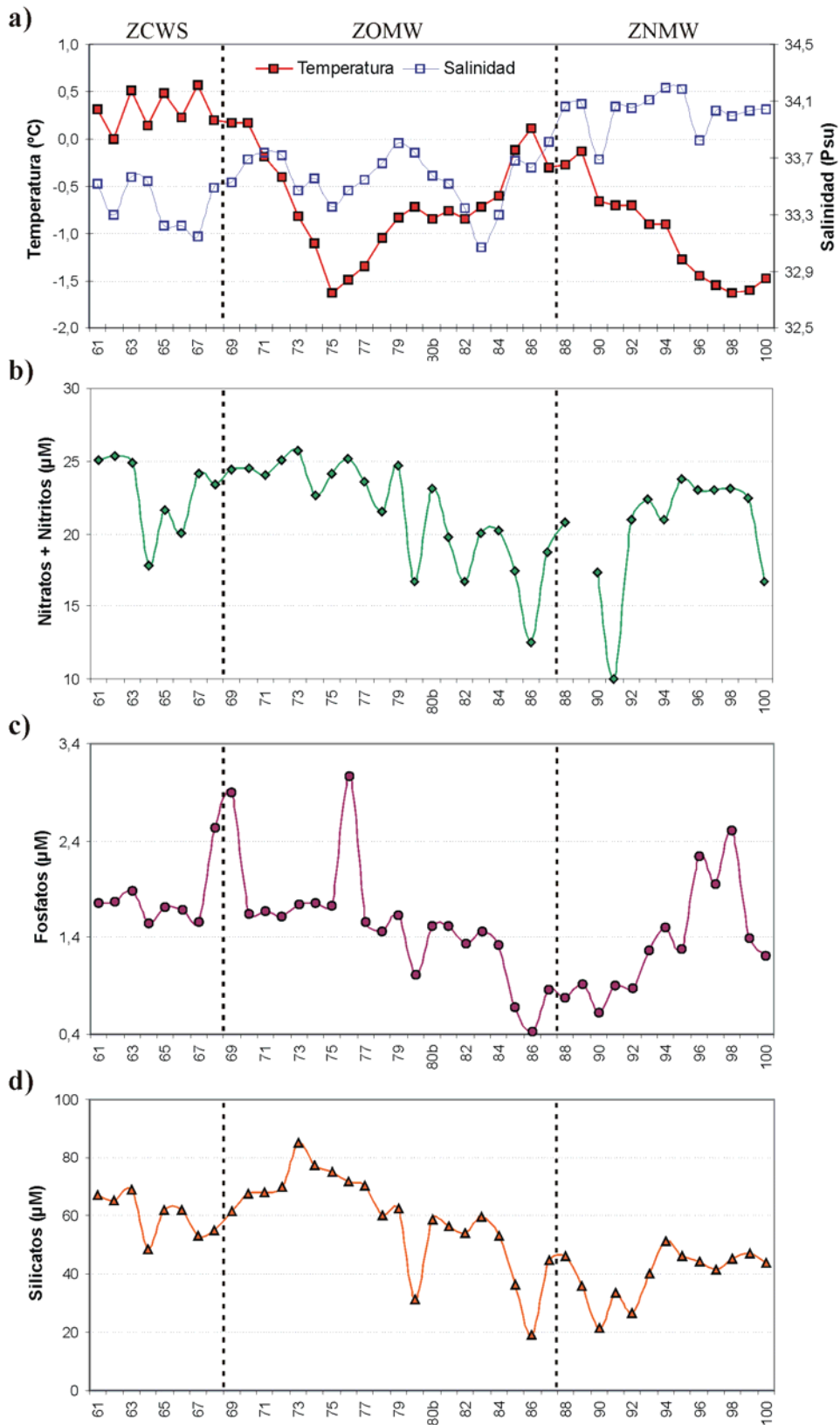


Figura 5.3: Distribución de temperatura y salinidad (a), concentración de nitratos + nitritos (b), fosfatos (c) y silicatos (d) observada durante la transecta de 2003. Las líneas verticales discontinuas delimitan la Zona de Confluencia Weddell-Scotia (ZCWS), la zona oceánica del Mar de Weddell (ZOMW) y la zona nerítica del Mar de Weddell (ZNMW).

En relación a la cubierta de hielo marino, la Fig. 5.4 muestra su concentración promedio y distribución durante el período de muestreo, obtenida mediante el análisis de imágenes satelitales. Como es habitual en las campañas de verano, la navegación tiende a desarrollarse por zonas libres de hielo, a fin de evitar las dificultades que conllevan transitarlo. Sin embargo, a pesar de este recorrido “bordeando” la cubierta de hielo marino estacional, la distancia observada entre las estaciones de muestreo y el borde de hielo no fue similar a lo largo de la transecta. En la parte norte (E61–72), se transitó por una zona de aguas abiertas, en la que el borde de hielo se encontraba relativamente alejado. Luego, durante la parte media del recorrido (E73–88) la navegación se llevó a cabo relativamente más cerca del borde de hielo, con una aproximación máxima a la altura de las estaciones 75–76. El efecto de la proximidad al borde de hielo sobre la temperatura y salinidad en superficie puede apreciarse en la Fig. 5.3a, donde se observa una pronunciada disminución de estas variables como resultado del aporte de agua fría y de baja salinidad originada por el derretimiento del hielo marino. Finalmente, en la sección más austral de la transecta (E89–100) el borde de hielo se hallaba a distancias intermedias entre las dos zonas antes mencionadas.

5.3.2.2- Biomasa, composición y abundancia del fitoplancton

La distribución de la concentración de clorofila *a* (clfa) mostró una tendencia ascendente de norte a sur (Fig. 5.5a; Tabla 5.4), con valores inferiores a $0,5 \text{ mg m}^{-3}$ en la ZCWS, un promedio de $1,8 \text{ mg m}^{-3}$ y un máximo de $4,7 \text{ mg m}^{-3}$ en la estación 82 ($\sim 68^\circ \text{ S}$), asociado a una floración de diatomeas. Asimismo, la densidad total de fitoplancton mostró un patrón de distribución semejante (Fig. 5.5a; Tabla 5.4), fluctuando entre $1,18 \times 10^5$ (E62) y $3,45 \times 10^6$ células l^{-1} (E82), con un promedio de $1,26 \times 10^6$ células l^{-1} . En este sentido, la abundancia total del fitoplancton y la concentración de clfa mostraron una correlación positiva ($r = 0,72$; $p < 0,0001$).

Entre los grupos algales registrados a lo largo de la transecta, las diatomeas y los fitoflagelados $\leq 5\mu\text{m}$ fueron los más abundantes (Fig 5.5b). En especial, los fitoflagelados $\leq 5\mu\text{m}$ fueron el grupo dominante en la ZCWS (de bajas concentraciones de clfa Tabla 5.4), donde alcanzaron densidades entre $5,94 \times 10^4$ (E62) y $2,03 \times 10^5$ células l^{-1} (E68), representando en promedio un 56% de la abundancia total. A pesar de que su importancia dentro del grupo de los fitoflagelados $\leq 5\mu\text{m}$ no fue discriminada durante los recuentos celulares, la primnesiofícea *Phaeocystis antarctica* fue comúnmente observada en esta región, formando sus típicas colonias globulares. Por su parte, las diatomeas fueron el segundo grupo en términos de abundancia en la ZCWS, con un promedio de 17 % de

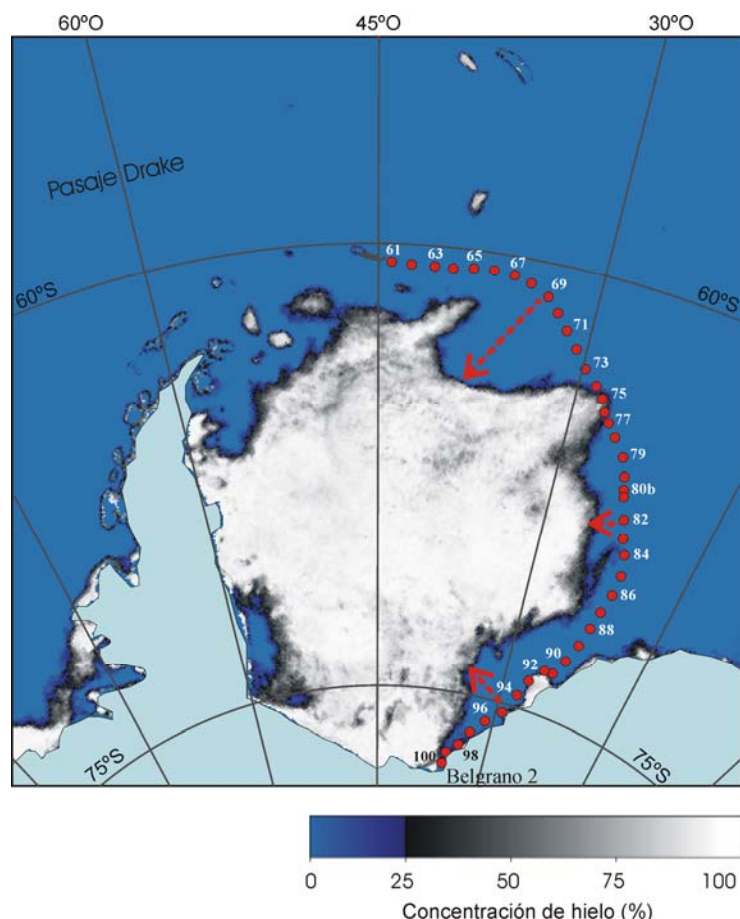


Figura 5.4: Concentración de hielo marino en el Mar de Weddell durante la transecta de 2003. La longitud de las flechas es indicativa de las distancias relativas entre el borde de la cubierta de hielo y las estaciones de muestreo.

abundancia relativa y densidades entre $1,19 \times 10^4$ (E67) y $1,58 \times 10^5$ células l^{-1} (E68). Entre las especies más abundantes, se destacó *Fragilariopsis cylindrus* (máx. $4,0 \times 10^4$ células l^{-1} , E63), seguida por *Fragilariopsis curta* (máx. $5,6 \times 10^4$ células l^{-1} , E68), *Rhizosolenia antennata* f. *semispina* (máx. $1,3 \times 10^4$ células l^{-1} , E68), *Thalassiosira gracilis* (máx. $1,3 \times 10^4$ células l^{-1} , E68) y *Pseudo-nitzschia* spp. (ver más adelante). Finalmente, los grupos siguientes en orden decreciente de abundancia relativa en la ZCWS, fueron dinoflagelados ($\bar{x} = 10,2\%$), fitoflagelados 6–15 μm ($\bar{x} = 9,1\%$) y criptofíceas ($\bar{x} = 6,2\%$).

Hacia el sur del FW, en coincidencia con elevadas concentraciones de clfa y densidad del fitoplancton, las diatomeas sobrepasaron en abundancia a los fitoflagelados $\leq 5\mu m$ (Fig. 5.5b; Tabla 5.4), constituyéndose como el grupo dominante en el 81 % de las muestras y alcanzando densidades de hasta $2,85 \times 10^6$ células l^{-1} (E86). Entre las especies predominantes en la mayor parte de las muestras se destacaron *Chaetoceros neglectus* y *F. curta*, con importantes floraciones en la ZOMW, observándose picos de $1,98 \times 10^6$ células l^{-1}

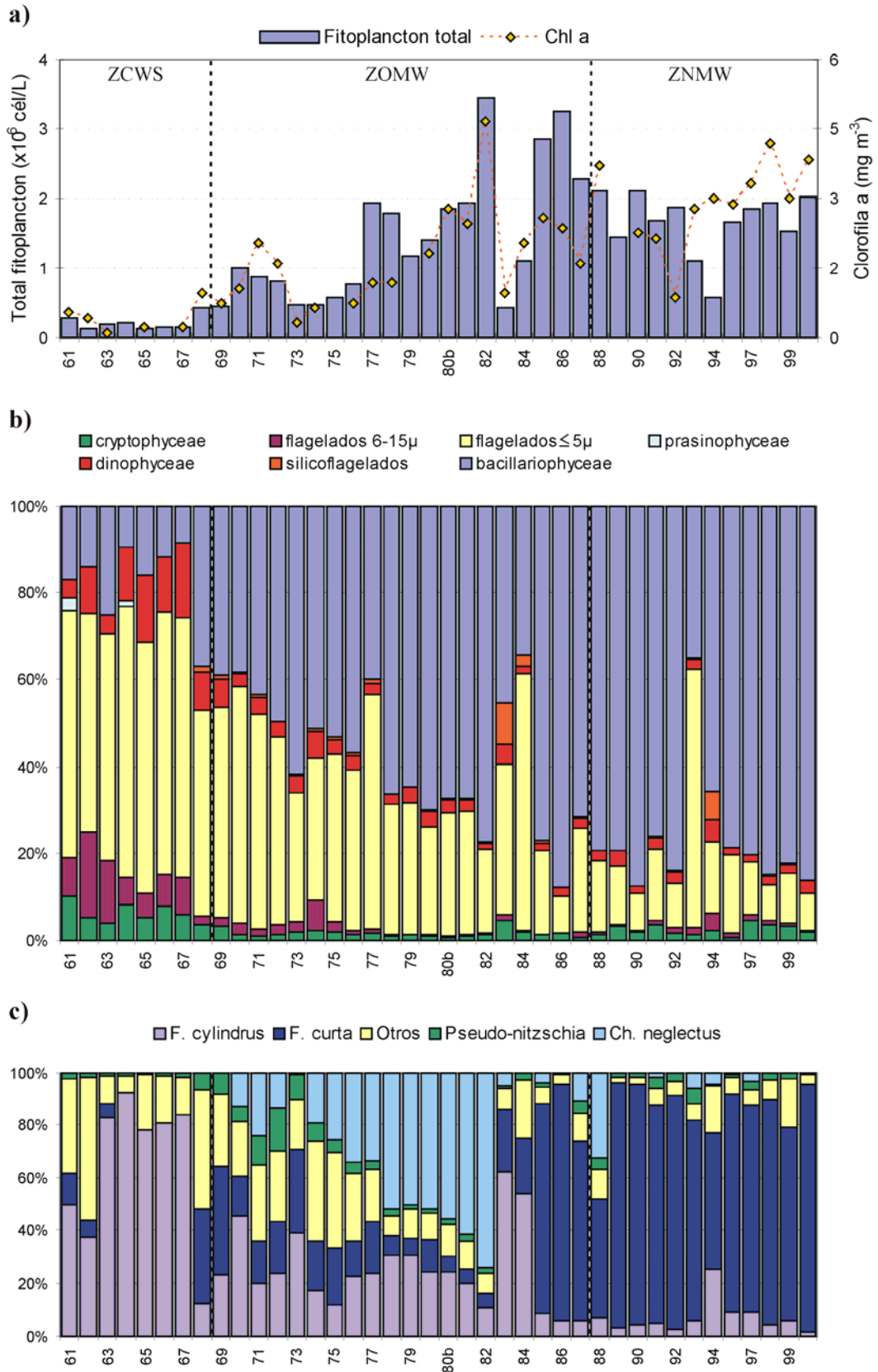


Figura 5.5: Distribución de clorofila a y abundancia total del fitoplancton (a); abundancia relativa de los principales grupos del fitoplancton (b) y Abundancia relativa de los principales *taxa* de diatomeas (c), identificados a lo largo de la transecta de 2003.

(E82) y $2,58 \times 10^6$ células l^{-1} (E86) respectivamente (Fig. 5.5c). Por otro lado, las elevadas densidades de *F. curta* se extendieron hacia la ZNMW, donde también se observó como la especie dominante (Fig. 5.5c). Otras especies importantes en cuanto a su abundancia fueron: *F. cylindrus* (máx = $3,6 \times 10^5$ células l^{-1} , E78), *Chaetoceros. curvisetus* (máx = $1,3 \times 10^5$ células l^{-1} , E99), *Ch. dictyota* (máx = $7,5 \times 10^4$ células l^{-1} , E77), *F. kerguelensis* (máx = $6,2 \times 10^4$ células l^{-1} , E88), *Ceratoneis closterium* (máx = $3,3 \times 10^4$ células l^{-1} , E82), *F. rhombica* (máx = $3,1 \times 10^4$ células l^{-1} , E91), *Ch. bulbosus* (máx = $2,7 \times 10^4$ células l^{-1} , E96), *F. sublinearis* (máx = $2,5 \times 10^4$ células l^{-1} , E87), *Thalassiosira gracilis* (máx = $2,5 \times 10^4$ células l^{-1} , E74), *Corethron pennatum* (máx = $2,1 \times 10^4$ células l^{-1} , E80b) y *Eucampia antarctica* (máx = $2,1 \times 10^4$ células l^{-1} , E97).

| Transecta 2003 | ZCWS (E61–68) | ZOMW (E69–87) | ZNMW (E88–100) |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Clorofila-a (mg m^{-3}) | 0,4 ± 0,3 | 1,7 ± 1,0 | 2,9 ± 0,9 |
| Total Fitoplancton (células l^{-1}) | $2,0 \times 10^5 \pm 1,0 \times 10^5$ | $1,4 \times 10^6 \pm 9,4 \times 10^5$ | $1,7 \times 10^6 \pm 4,5 \times 10^5$ |
| Diatomeas (células l^{-1}) | $4,2 \times 10^4 \pm 4,9 \times 10^4$ | $9,4 \times 10^5 \pm 8,3 \times 10^5$ | $1,3 \times 10^6 \pm 4,8 \times 10^5$ |
| Flagelados ($\leq 5\mu m$) (células l^{-1}) | $1,1 \times 10^5 \pm 4,8 \times 10^4$ | $4,3 \times 10^5 \pm 2,2 \times 10^5$ | $2,5 \times 10^5 \pm 1,4 \times 10^5$ |
| <i>Pseudo-nitzschia</i> sp. (células l^{-1}) | $1,5 \times 10^3 \pm 3,4 \times 10^3$ | $2,9 \times 10^4 \pm 1,9 \times 10^4$ | $3,4 \times 10^4 \pm 2,1 \times 10^4$ |
| % contribución de <i>Pseudo-nitzschia</i> | 1,9 ± 1,8 | 4,7 ± 4,0 | 2,7 ± 1,7 |

Tabla 5.4: Valores promedio ± desviación estándar de concentración de clorofila a, abundancia total del fitoplancton, diatomeas, dinoflagelados, *Pseudo-nitzschia* y su contribución relativa a la abundancia total de diatomeas, en las distintas regiones del área de estudio durante la transecta de 2003.

Solo ocasionalmente las diatomeas fueron superadas en abundancia por fitoflagelados $\leq 5\mu m$ (estaciones 69–71, 77, 84 y 93) (Fig. 5.5b). Tanto colonias globulares como células sueltas de *Phaeocystis antarctica* fueron comúnmente observadas dentro de este grupo, siendo particularmente abundantes en la ZOMW (E71–88), donde se registró una importante floración ($\sim 10^6$ células l^{-1}) en la estación 77. Por último, el resto de los grandes grupos taxonómicos considerados en conjunto (dinoflagelados, prasinofíceas, silicoflagelados, fitoflagelados de 6–15 μm y criptofíceas) no superaron en promedio el 7 % de la abundancia total de células. Entre ellos, se destacó la presencia en altas concentraciones ($\sim 4 \times 10^4$ células l^{-1}) del silicoflagelado *Dictyocha speculum* en las estaciones 83 y 94 (Fig. 5.5b).

5.3.2.3- Distribución de *Pseudo-nitzschia* spp.

El género *Pseudo-nitzschia* estuvo presente en todas las muestras analizadas, con densidades que fluctuaron entre 0,12 y 79,5 x 10³ células l⁻¹ (\bar{x} = 24,8 x 10³ células l⁻¹). Las mayores abundancias del género (~7–8 x 10⁴ células l⁻¹) fueron observadas en la parte norte de la ZOMW (E72) y en el FTA (E87–88), mientras que en la ZCWS (E61–68) las densidades fueron generalmente inferiores a 10² células l⁻¹ (Fig. 5.6a; Tabla 5.4). La contribución promedio de *Pseudo-nitzschia* con respecto a la abundancia total de diatomeas fue de 4%, alcanzando un máximo de 17% en la estación 72 (Fig. 5.6a), donde se registró una abundancia de 6,7 x 10⁴ células l⁻¹.

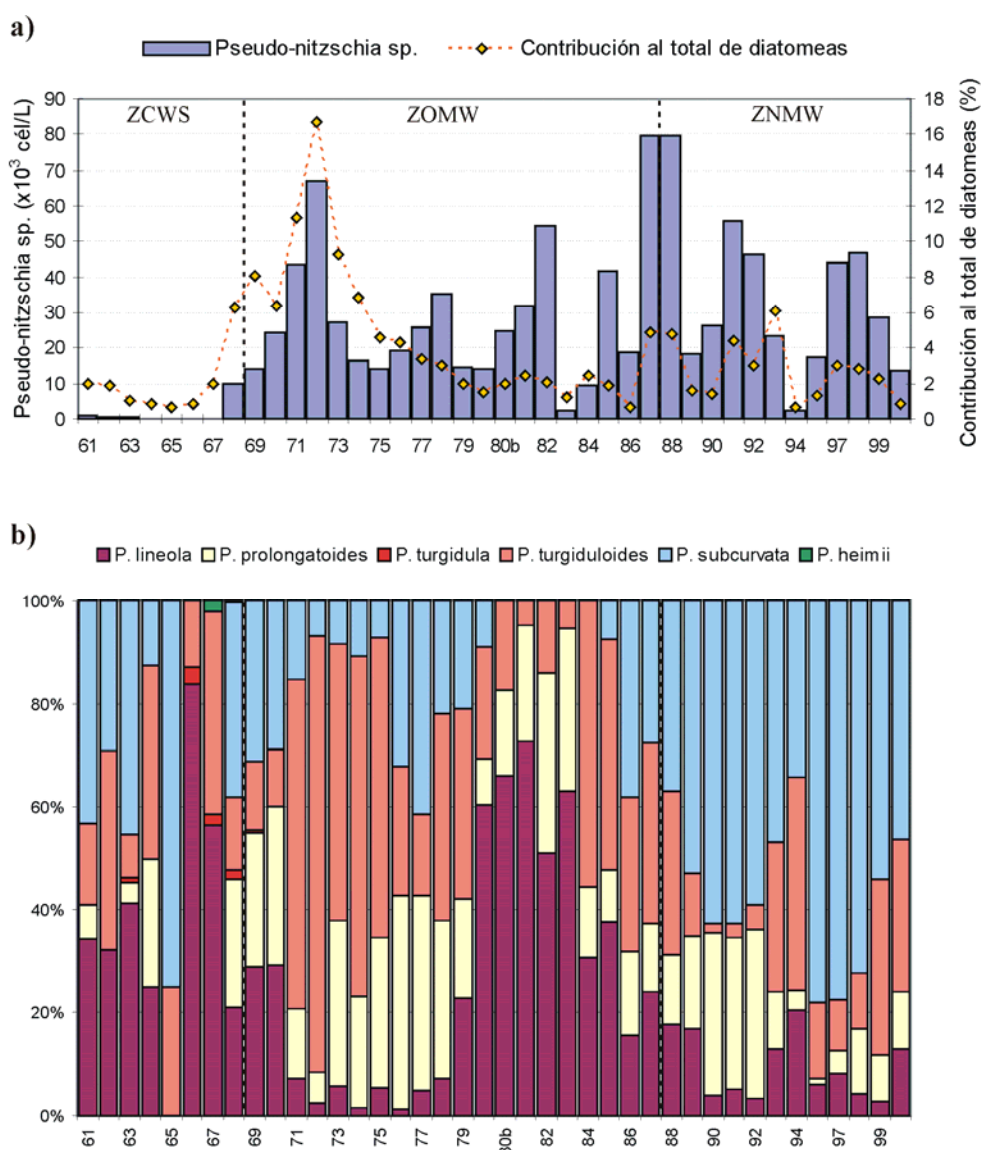


Figura 5.6: Abundancia de *Pseudo-nitzschia* a lo largo de la transecta de 2003. **a)** Abundancia del género *Pseudo-nitzschia* y su contribución relativa a la densidad total de diatomeas. **b)** Abundancia relativa de las especies de *Pseudo-nitzschia*.

Seis especies de *Pseudo-nitzschia* fueron observadas a lo largo de esta transecta: *P. heimii*, *P. turgidula*, *P. subcurvata*, *P. lineola*, *P. turgiduloides* y *P. prolongatoides*; cuyas descripciones morfológicas fueron tratadas en el capítulo 3. La distribución de estas especies mostró dos patrones principales. Por un lado, *P. heimii* y *P. turgidula* fueron registradas casi exclusivamente en la ZCWS (E61–68), en forma esporádica y a muy bajas concentraciones (Fig. 5.7). Por el contrario, *P. subcurvata*, *P. lineola*, *P. turgiduloides* y *P. prolongatoides* fueron observadas en toda el área de estudio (Fig. 5.7), alcanzando abundancias mayores a las 10^4 células l^{-1} (Tabla 5.5). De estas últimas, *P. subcurvata* fue la especie de *Pseudo-nitzschia* predominante en el 42,5 % de las muestras analizadas, seguida por *P. turgiduloides* (32,5 %), *P. lineola* (20 %) y *P. prolongatoides* (5 %) (Fig. 5.6b). Las mayores concentraciones de *P. subcurvata* fueron registradas en la ZNMW (E87–100, Fig. 5.7), donde fue la especie más abundante del género (Fig. 5.6b). Una floración de *P. turgiduloides* fue observada en la estación 72, representando la mayor concentración de una especie de *Pseudo-nitzschia* registrada durante el análisis de esta transecta (Tabla 5.5; Figs. 5.7). Por último, las mayores abundancias relativas de *P. lineola* y *P. prolongatoides* fueron observadas en la ZOMW (Fig. 5.6b) y para ambas especies, su densidad máxima fue registrada en la estación 82 (Tabla 5.5; Fig. 5.7).

| Transecta 2003 | <i>P.</i> <i>heimii</i> | <i>P.</i> <i>lineola</i> | <i>P.</i> <i>prolong.</i> | <i>P.</i> <i>subcurvata</i> | <i>P.</i> <i>turgidula</i> | <i>P.</i> <i>turgiduloides</i> |
|---|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Frecuencia | 2 (3) | 39 | 36 (37) | 33 (34) | 3 (5) | 40 |
| Densidad \bar{x} (cél. l^{-1}) | $0,25 \times 10^2$ | $4,66 \times 10^3$ | $5,32 \times 10^3$ | $9,91 \times 10^3$ | $0,97 \times 10^2$ | $7,33 \times 10^3$ |
| Densidad máx. (cél. l^{-1}) | $0,4 \times 10^2$ | $2,79 \times 10^4$ | $1,89 \times 10^4$ | $3,51 \times 10^4$ | $2,0 \times 10^2$ | $5,69 \times 10^4$ |
| Estación | 68 | 82 | 82 | 91 | 68 | 72 |
| Temperatura (°C) | 0,19 | -0,84 | -0,84 | -0,71 | 0,19 | -0,39 |
| Salinidad (Psu) | 33,49 | 33,35 | 33,35 | 34,06 | 33,49 | 33,72 |
| NO₂⁻ + NO₃⁻ (μM) | 23,43 | 16,67 | 16,67 | 10,01 | 23,43 | 25,09 |
| PO₄⁼ (μM) | 2,54 | 1,34 | 1,34 | 0,90 | 2,54 | 1,62 |
| SiO₃⁼ (μM) | 54,75 | 54,05 | 54,05 | 33,26 | 54,75 | 69,86 |

Tabla 5.5: Frecuencia de aparición en las muestras cuantitativas, densidad promedio y densidad máxima registradas para las distintas especies de *Pseudo-nitzschia* durante la transecta de 2003, junto a los valores de temperatura, salinidad y nutrientes observados durante los picos máximos de abundancia. Los valores entre paréntesis (*) indican la frecuencia observada al considerar también las muestras cualitativas.

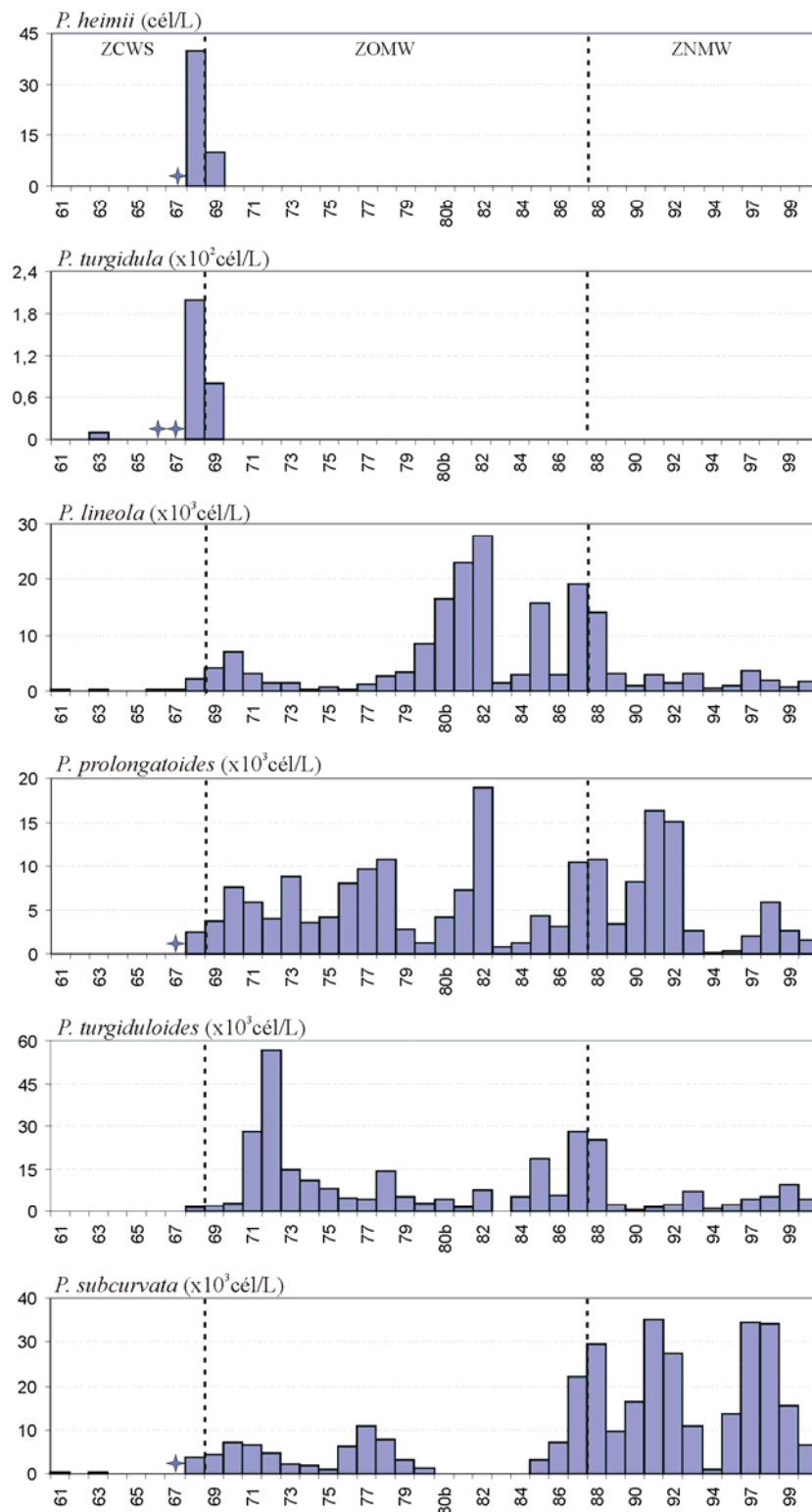


Figura 5.7: Abundancia de las distintas especies de *Pseudo-nitzschia* durante la transecta de 2003. Las estrellas representan presencias cualitativas.

5.3.3.- TRANSECTA DE VERANO DE 2004

5.3.3.1- Características físico-químicas y cobertura de hielo

Las tendencias generales en la distribución de temperatura y salinidad fueron las mismas que las observadas durante la transecta de 2003. En la Fig. 5.8a puede apreciarse una tendencia general hacia la disminución de temperatura en sentido norte-sur; con máximos en la ZCWS (máx. = 0,68 °C, E3) y mínimos en la ZNMW (mín. = -1,49 °C, E39). Por el contrario, la salinidad mostró una tendencia opuesta, con máximos en la ZNMW (máx. = 34,01 psu, E38) y mínimos en la ZCWS. Sin embargo, estas tendencias generales se vieron alteradas por la influencia local del derretimiento de hielo, lo que dio como resultado una disminución de la temperatura y de la salinidad en las estaciones próximas al borde de hielo (Ej. E15–16) o a la barrera de hielo continental (E29).

La concentración de nutrientes fue elevada a lo largo de toda el área de estudio (Fig. 5.8b–d), mostrando rangos para los nitratos + nitritos, fosfatos y silicatos de 11,65–27,86 μM ; 0,58–1,75 μM y 16,33–75,88 μM , respectivamente. Las mayores concentraciones de nitratos + nitritos, fosfatos y silicatos se registraron en la ZOMW (Tabla 5.6), mientras que en unas pocas estaciones de la ZCWS (E4 y 7) y la ZNMW (E27, 31, 32, 35, 37) se observó una marcada disminución en la concentración de los mismos.

| Transecta 2004 | ZCWS (E1–9) | ZOMW (E10–26) | ZNMW (E27–39) |
|---|----------------|------------------|------------------|
| Temperatura (°C) | -0,22 ± 0,54 | -0,84 ± 0,33 | -0,81 ± 0,58 |
| Salinidad (Psu) | 33,45 ± 0,25 | 33,63 ± 0,18 | 33,62 ± 0,44 |
| NO ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻ (μM) | 21,37 ± 2,07 | 24,86 ± 2,83 | 18,10 ± 4,21 |
| PO ₄ ⁼ (μM) | 1,22 ± 0,30 | 1,55 ± 0,19 | 1,16 ± 0,33 |
| SiO ₃ ⁼ (μM) | 53,58 ± 14,94 | 63,64 ± 8,36 | 43,48 ± 12,18 |

Tabla 5.6: Valores promedio ± desviación estándar de temperatura, salinidad y concentración de nutrientes (nitritos+nitratos, fosfatos y silicatos) registrados en las distintas regiones del área de estudio durante la transecta de 2004.

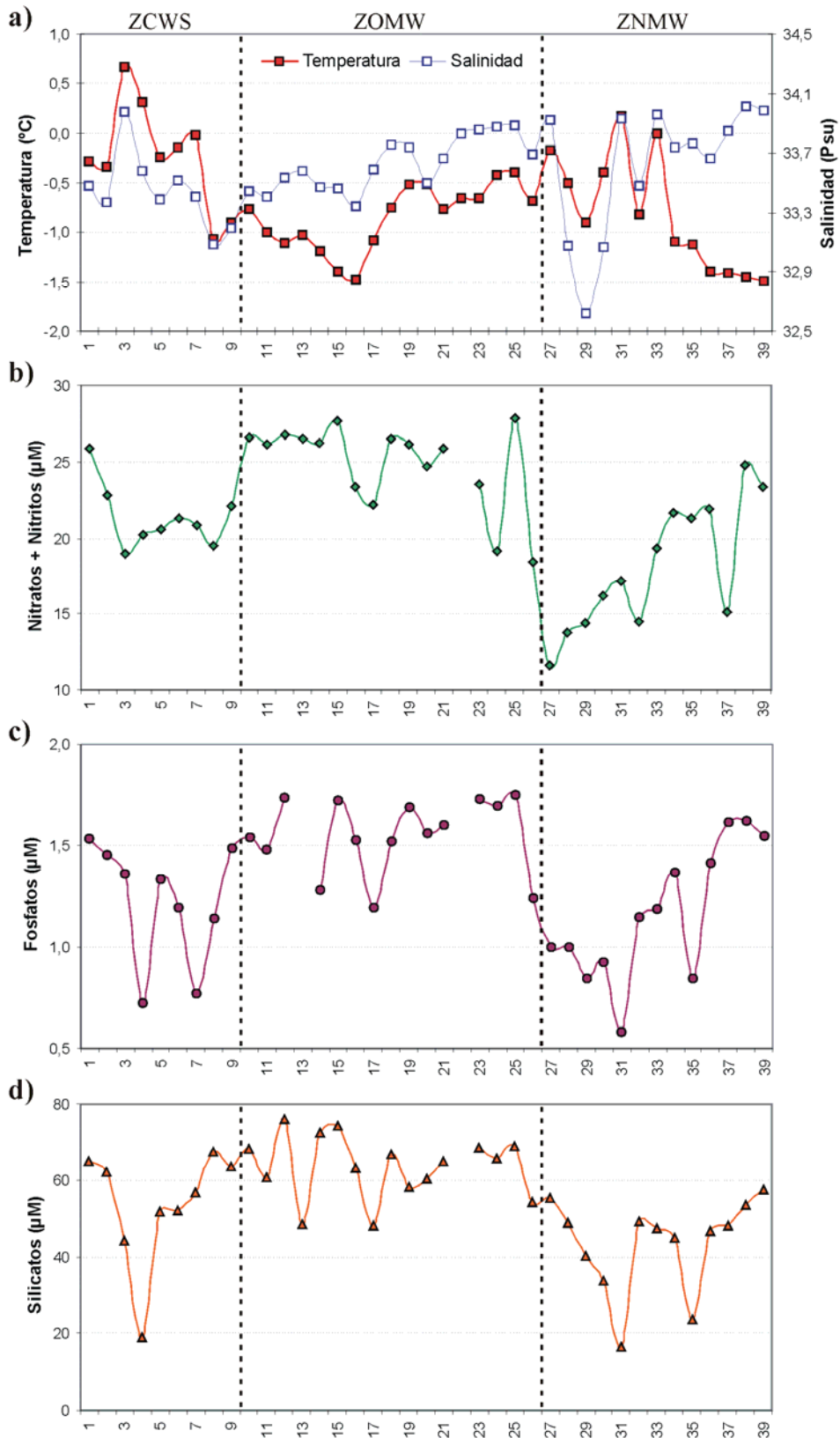


Figura 5.8: Distribución de temperatura y salinidad (a), concentración de nitratos + nitritos (b), fosfatos (c) y silicatos (d) observada durante la transecta de 2004.

La distribución de la cubierta de hielo marino durante el período de muestreo puede apreciarse en la Fig. 5.9. Al igual que lo ocurrido en el 2003, la transecta de 2004 se desarrolló en una zona que estuvo libre de hielo marino durante la mayor parte de la navegación, con la excepción de dos sectores principales en los que algunos campos de hielo fueron interceptados por el buque (E15–16 y 33–39). Sin embargo, la extensión de la cubierta de hielo observada en la transecta de 2004 presentó una disposición diferente a la del 2003, debido a una fuerte retracción del borde de hielo hacia el oeste en la parte central del Mar de Weddell, a una masa de hielo en pleno retroceso en la región norte y a un estadio de retroceso temprano en la región sur. Como consecuencia de este retroceso diferencial, las distancias entre las estaciones de muestreo y el borde de hielo fueron mayores en la parte central de la transecta (E19–24), intermedias en la parte norte (E1–9) e inferiores en la parte sur (E30–39).

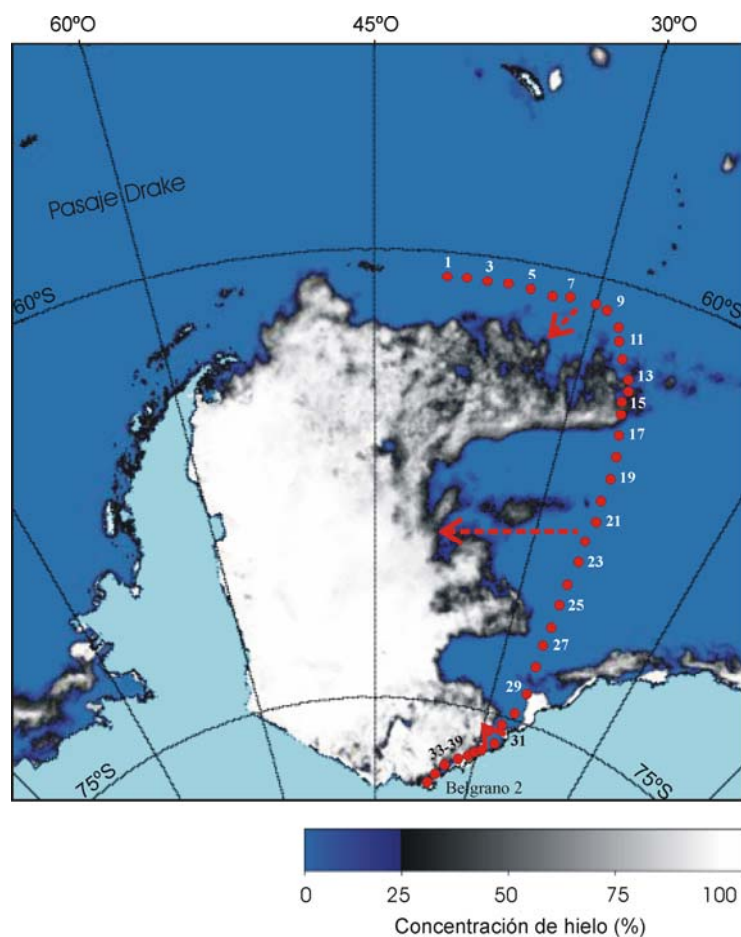


Figura 5.9: Concentración de hielo marino en el Mar de Weddell durante la transecta de 2004. La longitud de las flechas es indicativa de las distancias relativas entre el borde de la cubierta de hielo y las estaciones de muestreo.

5.3.3.2- Biomasa, composición y abundancia del fitoplancton

Tanto la distribución de clfa como la abundancia total de fitoplancton mostraron un patrón general de tipo bimodal, con máximos en la ZCWS y ZNMW, y valores inferiores en la ZOMW (Fig. 5.10a; Tabla 5.7). La concentración de clfa varió entre 0,2 y 8,1 mg m⁻³, con un promedio de 2,0 mg m⁻³. Las mayores concentraciones fueron observadas en las estaciones 5–7 (6,2–6,6 mg m⁻³) y en la estación 27 (8,1 mg m⁻³), y estuvieron asociadas con floraciones de diatomeas en el primer caso y de pequeños fitoflagelados ($\leq 5 \mu\text{m}$) en el segundo, respectivamente. La abundancia total del fitoplancton fluctuó entre $7,1 \times 10^4$ y $6,2 \times 10^6$ células l⁻¹ (Fig. 5.10a), con un promedio de $1,16 \times 10^6$ células l⁻¹, y mostró una correlación positiva con la concentración de clfa ($r = 0,78$; $p < 0,0001$).

Al igual que lo observado en la campaña de 2003, los dos grupos más importantes con respecto a su contribución a la abundancia total celular fueron las diatomeas y los fitoflagelados ($\leq 5 \mu\text{m}$) (Fig. 5.10b). Con abundancias relativamente inferiores, se encontraron dinoflagelados, prasinofíceas, silicoflagelados, fitoflagelados (6–15 μm) y criptofíceas, que en conjunto representaron un promedio de 15% respecto a la abundancia total.

Las diatomeas presentaron densidades entre $1,8 \times 10^4$ (E11) y $1,3 \times 10^6$ células l⁻¹ (E7), y su contribución relativa con respecto al total celular fue variable en las distintas zonas identificadas. En la zona norte, central y sur las diatomeas dominaron respectivamente en un 100, 47 y 23% de las estaciones (Fig. 5.10b). Por su parte, la abundancia de los fitoflagelados ($\leq 5 \mu\text{m}$) fluctuó entre $3,7 \times 10^4$ (E11) y $6,0 \times 10^6$ células l⁻¹ (E27). Sin embargo, a diferencia de las diatomeas, su abundancia relativa aumentó de norte a sur, dominando en un 0, 53 y 77% de las estaciones analizadas en la región norte, central y sur, respectivamente.

Las especies predominantes en la ZCWS (E1–9), caracterizada por altas concentraciones de clfa y dominancia de diatomeas, fueron *Pseudo-nitzschia prolongatoides* (ver más adelante), *F. cylindrus* (máx. = $3,4 \times 10^5$ células l⁻¹, E2), *Dactyliosolen antarcticus* (máx. = $2,4 \times 10^5$ células l⁻¹, E8) y *Ch. bulbosus* (máx. = $2,3 \times 10^5$ células l⁻¹, E6) (Fig. 5.10c). En cambio, en la ZOMW se observó un notorio predominio de *F. cylindrus* (máx. = $2,3 \times 10^5$ células l⁻¹, E10), acompañada por *F. curta* (máx. = $9,3 \times 10^4$ células l⁻¹, E16) y *Ch. neglectus* (máx. = $3,7 \times 10^4$ células l⁻¹, E20) (Fig. 5.10c). Esto coincidió con valores de clfa

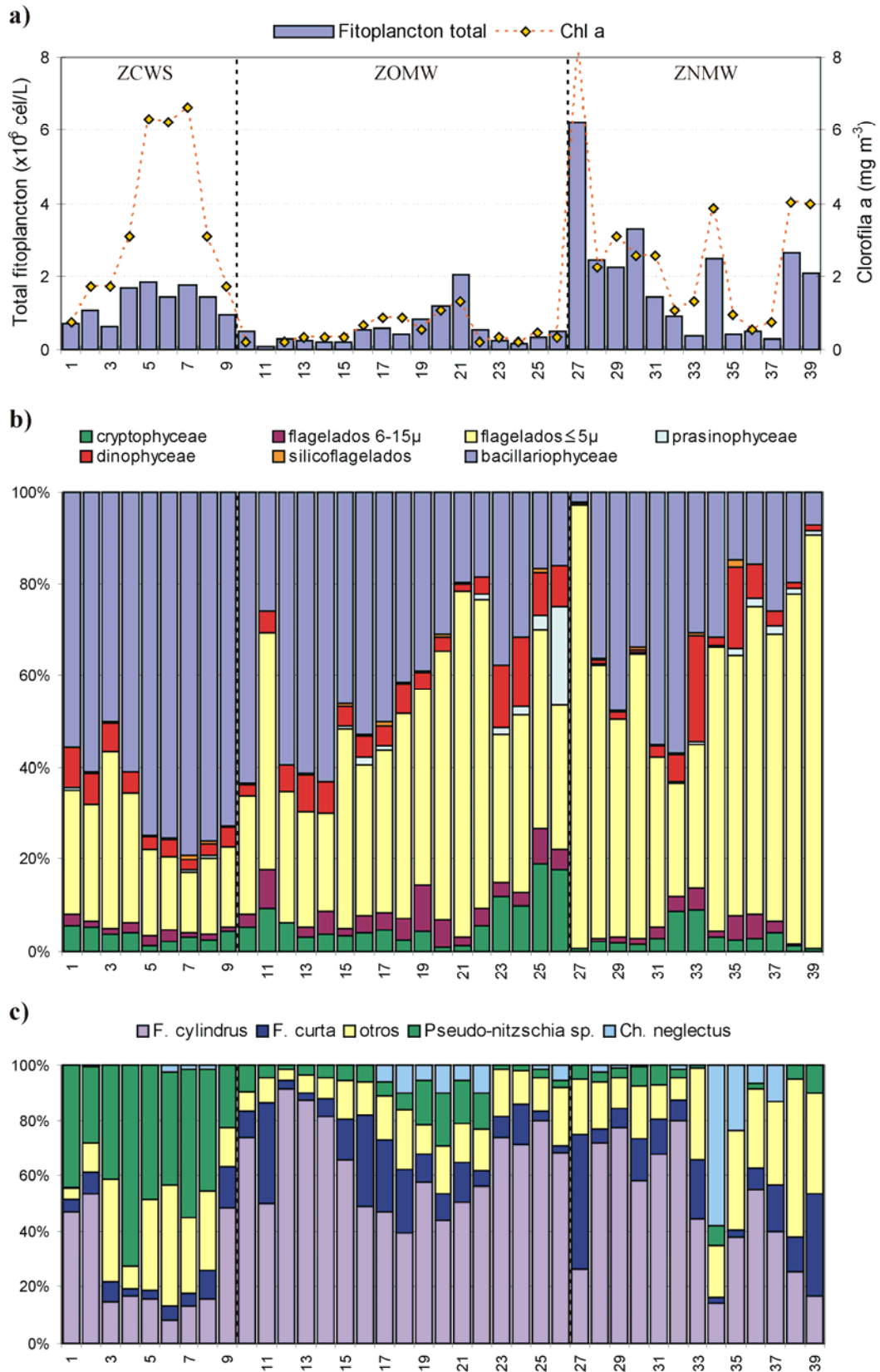


Figura 5.10: Distribución de clorofila a y abundancia total del fitoplancton (a); abundancia relativa de los principales grupos del fitoplancton (b) y Abundancia relativa de los principales taxa de diatomeas (c), identificados a lo largo de la transecta de 2004.

generalmente inferiores a 1 mg m^{-3} y una dominancia alternada de diatomeas y fitoflagelados ($\leq 5\mu\text{m}$). Por último, en la ZNMW, con un marcado contraste entre valores altos (Ej. E27, 34, 38, 39) y bajos (Ej. E32, 35–37) de clfa, los fitoflagelados ($\leq 5\mu\text{m}$) dominaron en la mayor parte de las muestras, destacándose en la estación 27, en la que se observó una importante floración de *P. antarctica* ($\sim 6 \times 10^6$ células l^{-1}). No obstante, las diatomeas también alcanzaron abundancias considerables en algunas muestras de esta zona ($\sim 10^6$ células l^{-1} , E29, 30), observándose un predominio alternado de *F. cylindrus* (máx. = $8,2 \times 10^5$ células l^{-1} , E29), *F. curta* (máx. = $1,7 \times 10^5$ células l^{-1} , E30), *Ch. neglectus* (máx. = $4,5 \times 10^5$ células l^{-1} , E34) y *Ch. cf. costatus* (máx. = $2,4 \times 10^5$ células l^{-1} , E38) (Fig. 5.10c).

| Transecta 2004 | ZCWS (E1–9) | ZOMW (E10–26) | ZNMW (E27–39) |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Clorofila-a (mg m^{-3}) | $3,5 \pm 2,3$ | $0,5 \pm 0,3$ | $2,7 \pm 2,1$ |
| Total Fitoplancton (células l^{-1}) | $1,3 \times 10^6 \pm 4,6 \times 10^5$ | $5,1 \times 10^5 \pm 4,7 \times 10^5$ | $1,9 \times 10^6 \pm 1,6 \times 10^6$ |
| Diatomeas (células l^{-1}) | $8,8 \times 10^5 \pm 3,9 \times 10^5$ | $1,8 \times 10^5 \pm 1,2 \times 10^5$ | $4,8 \times 10^5 \pm 4,0 \times 10^5$ |
| Flagelados ($\leq 5\mu\text{m}$) (células l^{-1}) | $2,6 \times 10^5 \pm 9,5 \times 10^4$ | $2,5 \times 10^5 \pm 3,6 \times 10^5$ | $1,3 \times 10^6 \pm 1,6 \times 10^6$ |
| <i>Pseudo-nitzschia</i> sp. (células l^{-1}) | $4,0 \times 10^5 \pm 2,6 \times 10^5$ | $1,3 \times 10^4 \pm 1,9 \times 10^4$ | $1,9 \times 10^4 \pm 2,1 \times 10^4$ |
| % contribución de <i>Pseudo-nitzschia</i> | $42,9 \pm 15,1$ | $4,8 \pm 4,9$ | $3,0 \pm 2,1$ |

Tabla 5.7: Valores promedio \pm desviación estándar de concentración de clorofila *a*, abundancia total del fitoplancton, diatomeas, dinoflagelados, *Pseudo-nitzschia* y su contribución relativa a la abundancia total de diatomeas, en las distintas regiones del área de estudio durante la transecta de 2004.

5.3.3.3- Distribución de *Pseudo-nitzschia* spp.

El género *Pseudo-nitzschia* estuvo presente en todas las muestras analizadas, con densidades que fluctuaron entre $2,2 \times 10^2$ y $7,5 \times 10^5$ células l^{-1} ($\bar{x} = 1,05 \times 10^5$ células l^{-1}). Las mayores abundancias ($>10^5$ células l^{-1}) fueron observadas en la ZCWS (E1–9), disminuyendo marcadamente al sur del FW (Fig. 5.11a). La contribución promedio de *Pseudo-nitzschia* con respecto a la abundancia total de diatomeas fue de 13%, alcanzando las mayores proporciones en la ZCWS, con un máximo de 71% en la E4 (Fig. 5.11a, Tabla 5.7).

Seis especies de *Pseudo-nitzschia* fueron identificadas durante el análisis de esta transecta: *P. heimii*, *P. lineola*, *P. prolongatoides*, *P. subcurvata*, *P. turgidula* y *P. turgiduloides*. Las altas densidades en la ZCWS, estuvieron principalmente relacionadas con una floración de *P. prolongatoides* (máx. = $7,3 \times 10^5$ células l^{-1}) registrada fundamentalmente entre las

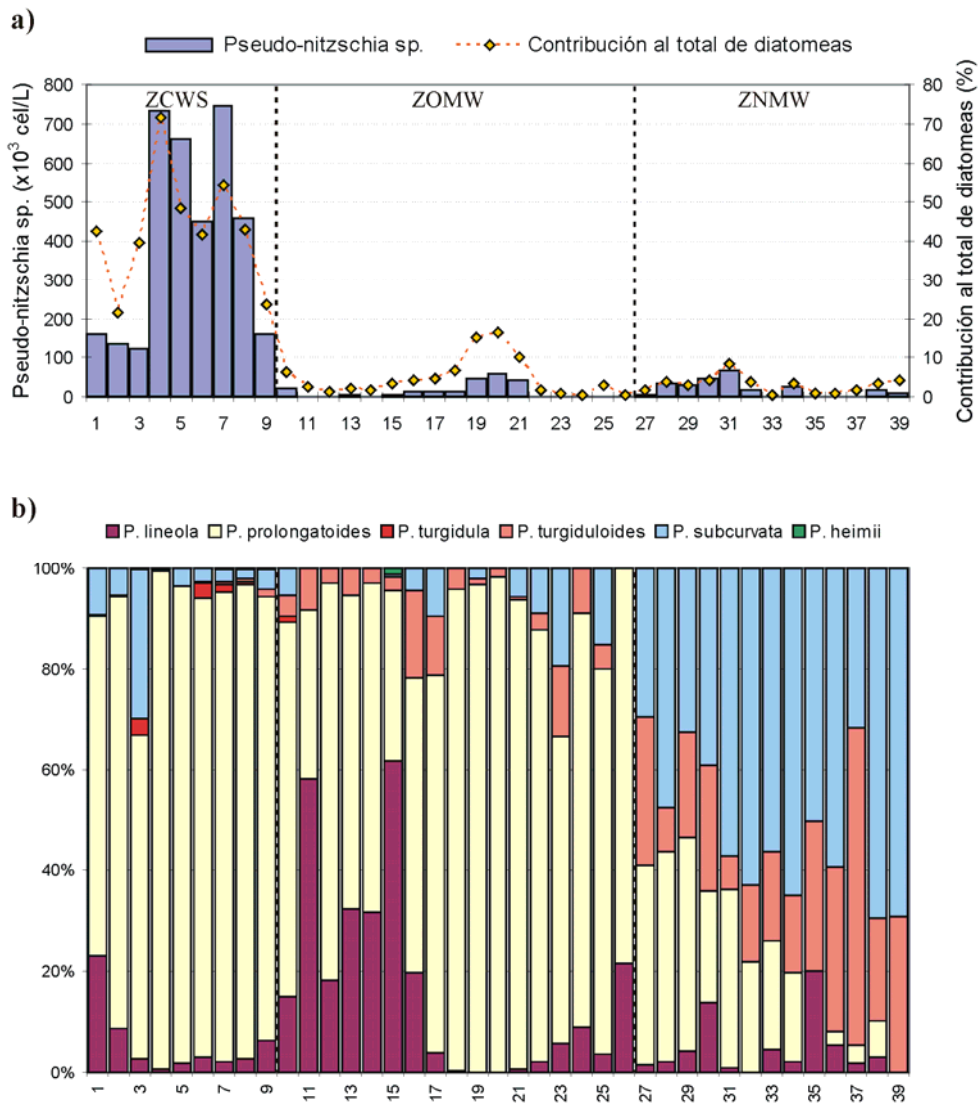


Figura 5.11: Abundancia de *Pseudo-nitzschia* a lo largo de la transecta de 2004. **a)** Abundancia del género *Pseudo-nitzschia* y su contribución relativa a la densidad total de diatomeas. **b)** Abundancia relativa de las especies de *Pseudo-nitzschia*.

estaciones 4 y 8 (Figs 5.11b, 5.12). El resto de las especies mostraron picos de abundancia de un orden de magnitud inferior (Fig. 5.12, Tabla 5.8).

P. heimii y *P. turgidula* fueron observadas casi exclusivamente en la ZCWS, mientras que *P. prolongatoides*, *P. subcurvata*, *P. lineola* y *P. turgiduloides* estuvieron presentes en toda el área de estudio (Fig. 5.12). *P. prolongatoides* fue la especie de *Pseudo-nitzschia* más abundante en el 67% de las muestras analizadas, seguida por *P. subcurvata* (25,5%), *P. lineola* (5%) y *P. turgiduloides* (2,5%). De hecho, el predominio de estas últimas cuatro especies mostró dos situaciones contrastantes a lo largo de la transecta: *P. prolongatoides* y

P. lineola predominaron hacia el norte del FTA, mientras que *P. subcurvata* y *P. turgiduloides* fueron las especies más abundantes hacia el sur (Fig. 5.11b).

| Transecta 2004 | <i>P. heimii</i> | <i>P. lineola</i> | <i>P. prolong.</i> | <i>P. subcurvata</i> | <i>P. turgidula</i> | <i>P. turgiduloides</i> |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|
| Frecuencia | 9 (13) | 35 (37) | 37 (39) | 31 (32) | 8 (10) | 38 (40) |
| Densidad \bar{x} (cél. Γ^{-1}) | $4,06 \times 10^2$ | $3,99 \times 10^3$ | $9,72 \times 10^4$ | $8,52 \times 10^3$ | $4,03 \times 10^3$ | $1,63 \times 10^3$ |
| Densidad máx. (cél. Γ^{-1}) | $1,28 \times 10^3$ | $3,66 \times 10^4$ | $7,25 \times 10^5$ | $3,84 \times 10^4$ | $1,23 \times 10^4$ | $1,13 \times 10^4$ |
| Estación | 7 | 1 | 4 | 31 | 6 | 30 |
| Temperatura (°C) | -0,02 | -0,28 | 0,31 | 0,18 | -0,14 | -0,39 |
| Salinidad (Psu) | 33,41 | 33,48 | 33,59 | 34,12 | 33,52 | 33,07 |
| NO₂⁻ + NO₃⁻ (μM) | 20,85 | 25,87 | 20,19 | 17,2 | 21,32 | 16,22 |
| PO₄⁼ (μM) | 0,77 | 1,54 | 0,72 | 0,58 | 1,19 | 0,92 |
| SiO₃⁼ (μM) | 56,77 | 64,95 | 19,18 | 16,33 | 52,05 | 33,77 |

Tabla 5.8: Frecuencia de aparición en las muestras cuantitativas, densidad promedio y densidad máxima registradas para las distintas especies de *Pseudo-nitzschia* durante la transecta de 2004, junto a los valores de temperatura, salinidad y nutrientes observados durante los picos máximos de abundancia. Los valores entre paréntesis (*) indican la frecuencia observada al considerar también las muestras cualitativas.

5.3.4.- RELACIONES ENTRE LAS ESPECIES Y VARIABLES AMBIENTALES

El análisis de Correspondencia Canónica (ACC) muestra que los dos primeros ejes de ordenación extraídos del ACC explicaron respectivamente el 43,7 y el 13,5% de la varianza total (61,9%) de la matriz de datos de las especies. La prueba de permutación de Monte Carlo mostró que tanto el primer eje canónico como el conjunto de todos los ejes fueron altamente significativos ($p = 0,001$).

En la Figura 5.13 se muestra la representación bidimensional de la ordenación especies-ambiente resultante del ACC para los dos primeros ejes de ordenación. Las flechas y los triángulos representan a las distintas variables ambientales y especies consideradas, respectivamente. El largo de la flechas indica la correlación múltiple de las variables ambientales con los dos ejes principales de ordenación, reflejando su importancia relativa en el modelo de ordenamiento (Ter Braak & Verdonschot 1995). Por ejemplo, las variables latitud, salinidad, distancia al hielo, clorofila y temperatura, con una fuerte componente horizontal en sus vectores, estuvieron más fuertemente asociadas con el primer eje de ordenamiento (horizontal), mientras que la profundidad y el fotoperíodo dominaron en el segundo eje (vertical). En cambio, los nitratos+nitritos, los silicatos y los fosfatos, con vectores más cortos, tuvieron una menor incidencia en el modelo de ordenación, mostrando

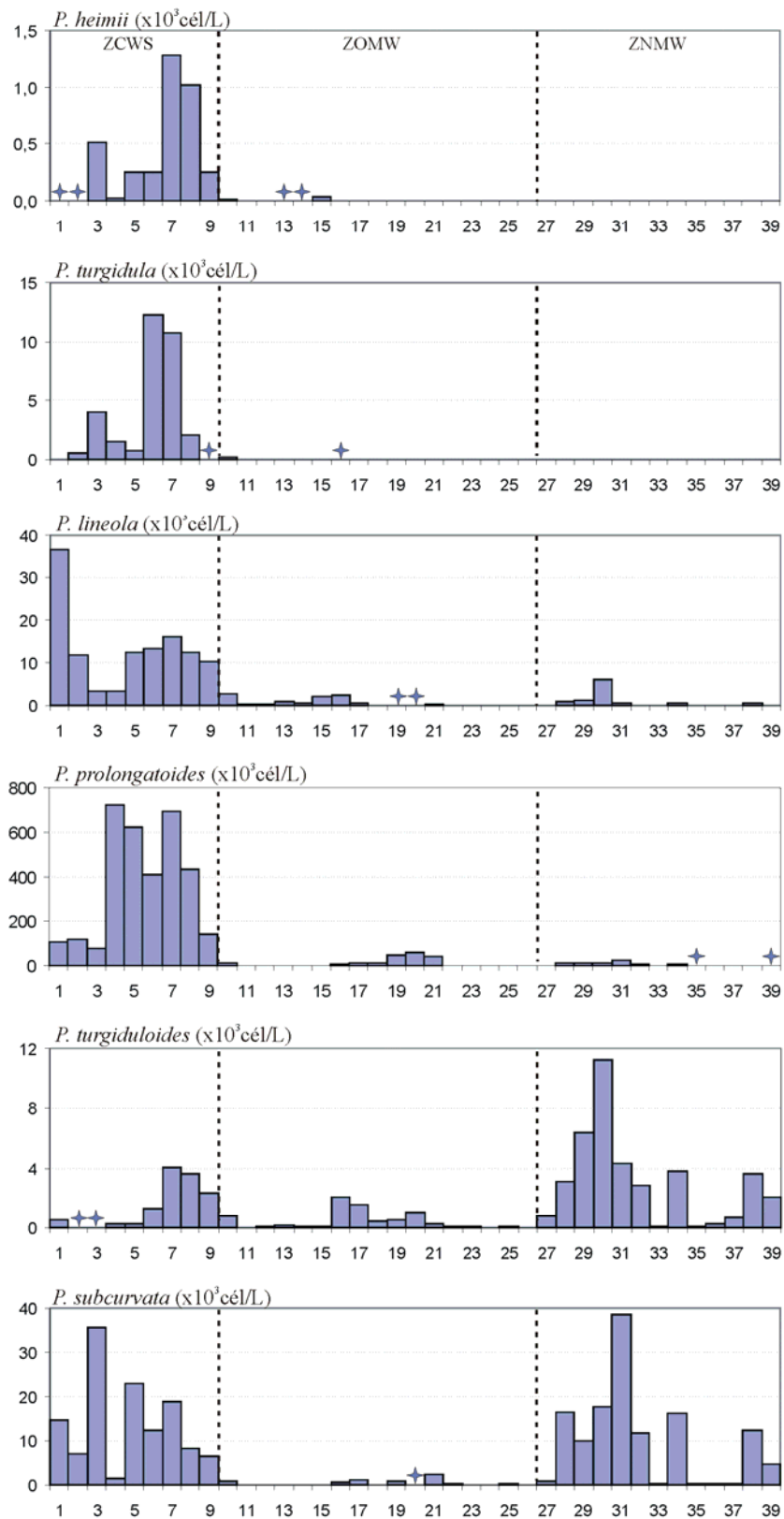


Figura 5.12: Abundancia de las distintas especies de *Pseudo-nitzschia* durante la transecta de 2004. Las estrellas representan presencias cualitativas.

los dos primeros y el último una correlación débil con los ejes 1 y 2 respectivamente (Tabla 5.9).

Desde un punto de vista práctico, cada una de las flechas apunta en dirección del máximo incremento de los valores de dicha variable ambiental, representando el origen su valor promedio, mientras que el ángulo entre las flechas refleja el grado de correlación entre las variables: positivo si el ángulo es agudo y negativo si es obtuso. De esta forma, se puede observar que la variable latitud estuvo positivamente correlacionada con la salinidad ($r = 0,39$) y en forma negativa con la temperatura ($r = -0,39$), reflejando los gradientes de aumento de la salinidad y disminución de la temperatura observados en sentido norte-sur (Figs 5.3a y 5.8a). Asimismo, la distancia al hielo mostró una asociación negativa con la salinidad ($r = -0,22$) y con la latitud ($r = -0,66$) y positiva con la temperatura ($r = 0,53$); mientras que el fotoperíodo estuvo correlacionado en forma positiva con la latitud ($r = 0,66$) y negativa con la profundidad ($r = -0,57$).

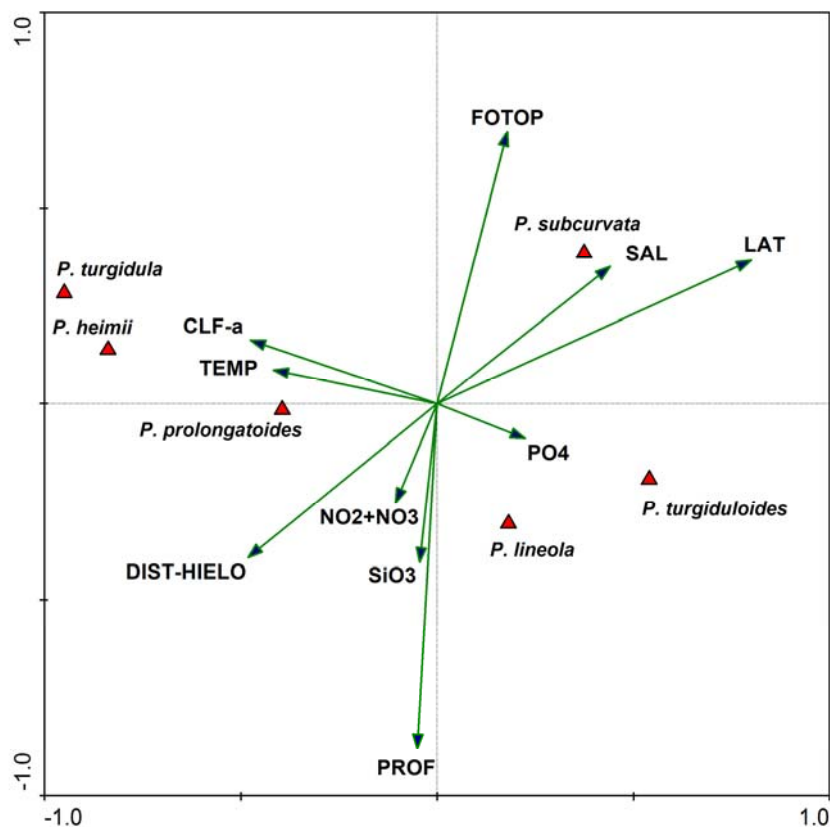


Figura 5.13: Diagrama de ordenación resultante del Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) mostrando la relación entre las especies de *Pseudo-nitzschia* (triángulos) y las variables ambientales (flechas).

La ubicación de las especies en el diagrama de ordenación refleja la relación entre sus patrones de distribución y las variables ambientales. De esta forma, dos grandes grupos de especies pueden discriminarse respecto al primer eje o eje horizontal de ordenación. El primer grupo, formado por *P. subcurvata*, *P. turgiduloides* y *P. lineola* presentó valores positivos (hacia la derecha en la Fig. 5.13), lo que sugiere que estas especies tienden a prevalecer en latitudes superiores, en sitios fríos y salinos, cercanos al borde de hielo y con poca biomasa (clorofila *a*). Por el contrario, el segundo grupo formado por *P. turgidula*, *P. heimii* y *P. prolongatoides* mostró valores negativos, indicando su preferencia por latitudes inferiores, sitios con temperaturas superiores y menor salinidad, alejados del borde de hielo y con mayor biomasa. Por otro lado, el primer grupo de especies puede subdividirse de acuerdo a los valores observados en el eje vertical de ordenación. Es decir, *P. subcurvata*, con valores positivos, tiende a prevalecer en zonas neríticas y en condiciones de fotoperíodo largo; mientras que *P. turgiduloides* y *P. lineola* tienden a predominar en zonas oceánicas y en condiciones de fotoperíodo corto.

| | Eje 1 | Eje 2 |
|---|-------|-------|
| <i>P. heimii</i> | -0,91 | 0,15 |
| <i>P. lineola</i> | 0,20 | -0,33 |
| <i>P. prolongatoides</i> | -0,43 | -0,02 |
| <i>P. subcurvata</i> | 0,40 | 0,42 |
| <i>P. turgidula</i> | -1,04 | 0,31 |
| <i>P. turgiduloides</i> | 0,59 | -0,21 |
| NO ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻ (NO ₂ +NO ₃) | -0,10 | -0,25 |
| PO ₄ ⁼ (PO ₄) | 0,22 | -0,09 |
| SiO ₃ ⁼ (SiO ₃) | -0,05 | -0,40 |
| Temperatura (TEMP) | -0,42 | 0,08 |
| Salinidad (SAL) | 0,44 | 0,35 |
| Profundidad (PROF) | -0,05 | -0,88 |
| Distancia al hielo (DIST-HIELO) | -0,48 | -0,39 |
| Fotoperiodo (FOTOP) | 0,18 | 0,69 |
| Clorofila <i>a</i> (CLF- <i>a</i>) | -0,47 | 0,16 |
| Latitud (LAT) | 0,80 | 0,37 |

Tabla 5.9: Correlación de las especies de *Pseudo-nitzschia* y las variables ambientales con los dos primeros ejes canónicos.

5.4.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El género *Pseudo-nitzschia* ha sido objeto de atención de numerosas investigaciones en los últimos veinte años. Sin embargo, escasos estudios han sido desarrollados en la región antártica, siendo este el primer intento para comprender su distribución y abundancia en una amplia región del Mar de Weddell mediante el análisis de datos biológicos, físicos y químicos.

El área de estudio examinada se caracteriza por una hidrografía compleja y por el retroceso estacional de la cobertura de hielo marino. Mediante el análisis conjunto de los perfiles verticales de temperatura colectados durante la campaña de muestreo del 2004 y de datos bibliográficos se identificaron los principales frentes en el Mar de Weddell, los cuales permiten definir tres grandes regiones: la zona de confluencia Weddell-Scotia (hacia el norte del frente de Weddell) y las regiones oceánica y nerítica del Mar de Weddell (hacia el norte y sur del frente de talud Antártico, respectivamente). En términos generales, la zona de confluencia Weddell-Scotia se caracterizó por presentar temperaturas más elevadas y salinidades más bajas. Por el contrario, las aguas más frías y salinas se observaron principalmente en la región nerítica del Mar de Weddell, mientras que la región pelágica presentó valores intermedios entre las dos anteriores. Sin embargo, las propiedades del agua superficial en las distintas regiones establecidas se vieron modificadas localmente por la influencia de la cubierta de hielo marino, que durante el período de muestreo, se encontró en pleno proceso de retroceso (Moore & Abbott 2000). Dado que la dinámica de la cubierta de hielo marino estacional cumple un rol clave en la determinación de la estructura de las asociaciones fitoplanctónicas en los ecosistemas antárticos (Ej. Eicken 1992; Ferreyra et al. 2005; Garibotti et al. 2005; Gomi et al. 2007), su distribución durante el período de muestreo fue determinada mediante el empleo de imágenes satelitales.

Una de las características sobresalientes de la estructura de la comunidad fitoplanctónica observada durante este estudio fue la variación interanual en la distribución de zonas ricas y pobres en biomasa, generalmente asociadas con el predominio de diatomeas y pequeños fitoflagelados ($\leq 5\mu\text{m}$), respectivamente (Figs 5.5a-b, 5.10a-b). En la transecta del año 2003 los fitoflagelados dominaron en la región norte y las diatomeas en la zona sur, mientras que en el año 2004 se observó un panorama opuesto.

La dinámica de las floraciones fitoplanctónicas en el Océano Austral ha representado una paradoja para los investigadores desde épocas tempranas (Boyd 2002). A pesar de que sus aguas se caracterizan por una excesiva concentración de micronutrientes (nitratos, fosfatos

y silicatos), el Océano Austral es considerado desde un punto de vista global, como una zona de baja productividad primaria (Sullivan et al. 1993), con desarrollo de asociaciones fitoplanctónicas pobres en biomasa y predominio de fitoflagelados dentro de las fracciones del picoplancton ($<2 \mu\text{m}$) y del nanoplancton (entre 2 y $20\mu\text{m}$) durante gran parte del año. Sin embargo, durante el retroceso estacional de la cubierta de hielo marino las asociaciones fitoplanctónicas sufren un cambio cuantitativo y cualitativo, alcanzando elevadas concentraciones de biomasa principalmente vinculadas con floraciones de organismos microplanctónicos ($>20 \mu\text{m}$) (Smetacek et al. 1990; Kopczynska 1992; Mangoni et al. 2004; Garibotti et al. 2005). En la actualidad, existe un consenso general dentro de la comunidad científica en el sentido de que la productividad primaria y la acumulación de la biomasa fitoplanctónica en la Antártida se encuentran limitadas por dos factores principales: a) la disponibilidad de luz, dependiente de la intensidad incidente y de los procesos de mezcla en la columna de agua, y b) la concentración de oligoelementos, especialmente el hierro (Boyd 2002; Ferreyra et al. 2005).

La Fig. 5.14 representa un modelo conceptual de la dinámica espacio-temporal de las floraciones fitoplanctónicas en la zona de hielo marginal (tomado de Ferreyra et al. 2005). Durante la mayor parte del año, la presencia de la cubierta de hielo y de una espesa capa de nieve que se deposita sobre la misma, reducen la penetración de la luz en la columna de agua. Asimismo, la formación de hielo produce la liberación de iones salinos a las capas de aguas superiores de la columna de agua, que al ser más frías y salinas, inducen la profundización de la capa de mezcla por convección termo-halina (Eicken 1992). Bajo estas condiciones, el fitoplancton que se desarrolla bajo el hielo presenta una biomasa reducida, predominio de pequeños fitoflagelados y bajas densidades de diatomeas (Fryxell 1989; Kang & Fryxell 1993; Scharek et al. 1994). Sin embargo, durante la primavera y el verano austral (principalmente en diciembre y enero), la cubierta de hielo sufre un notable retroceso hacia el continente (Moore & Abbott 2000; Meguro et al. 2004), lo que modifica sustancialmente las propiedades físicas, químicas y biológicas en la zona marginal al hielo. Su derretimiento incorpora una gran masa de agua de baja salinidad a la superficie del océano, originando la formación de una capa poco profunda bien estratificada. Asimismo, produce la liberación de hierro, que se encuentra retenido en el hielo por depositación atmosférica a través de la nieve (Meguro et al. 2004). En consecuencia, el fitoplancton queda retenido en la capa eufótica, rica en micronutrientes y oligoelementos esenciales, bajo condiciones óptimas para la acumulación de biomasa. Esto da como resultado la formación de profusas floraciones de diatomeas y de la primnesiofícea *Phaeocystis antarctica* (Kang et al. 2001; Hegseth & Von Quillfeldt 2002; Garibotti et al. 2005). Estas

condiciones especiales de estabilidad inducida por el derretimiento del hielo en la zona marginal al hielo pueden observarse hasta una distancia aproximada de 200 km (Sullivan et al. 1988; Comiso et al. 1990; Park et al. 1999). Más allá de esta distancia, la columna de agua comienza a perder estabilidad por efecto de los vientos, provocando una disminución en la biomasa fitoplanctónica (Ferreyra et al. 2005).

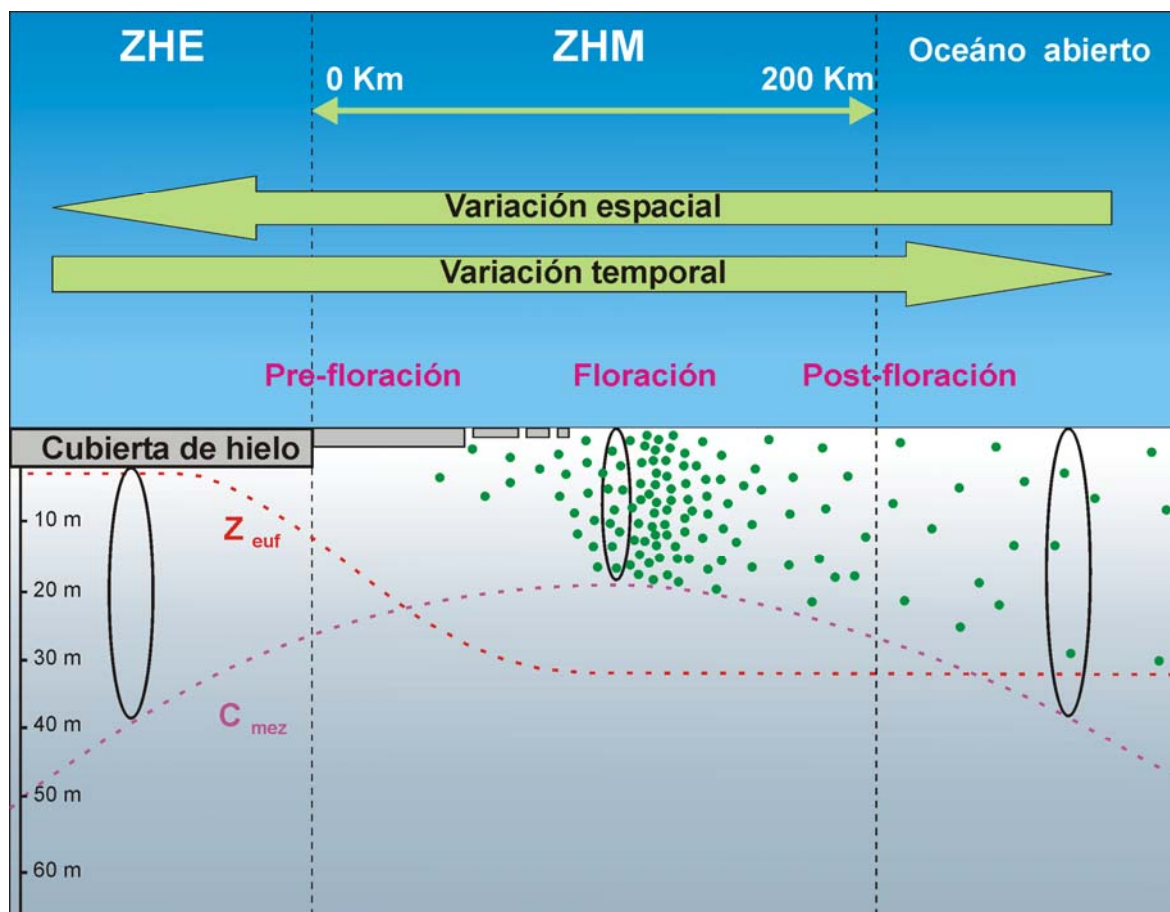


Figura 5.14: Modelo conceptual de la dinámica espacio-temporal de las floraciones fitoplanctónicas en regiones antárticas y su relación con la extensión de la cubierta de hielo marino, elaborado en base a Ferreyra et al. (2005). ZHE = Zona de hielo estacional; ZHM = zona de hielo marginal; Z_{euf} = zona eufótica; C_{mez} = capa de mezcla.

En este contexto, la variación interanual en la composición y abundancia del fitoplancton observada en el área de estudio durante los dos períodos de muestreo puede interpretarse en gran medida como resultante de su relación con la dinámica del hielo marino estacional. La Fig. 5.15 muestra la distribución de la cobertura de hielo respecto a las estaciones de muestreo durante las dos transectas analizadas, en forma conjunta con el predominio observado de fitoflagelados ($\leq 5\mu\text{m}$) o diatomeas. En ella puede apreciarse que en las derrotas de los años 2003 y 2004 se interceptaron distintas etapas en el retroceso de la

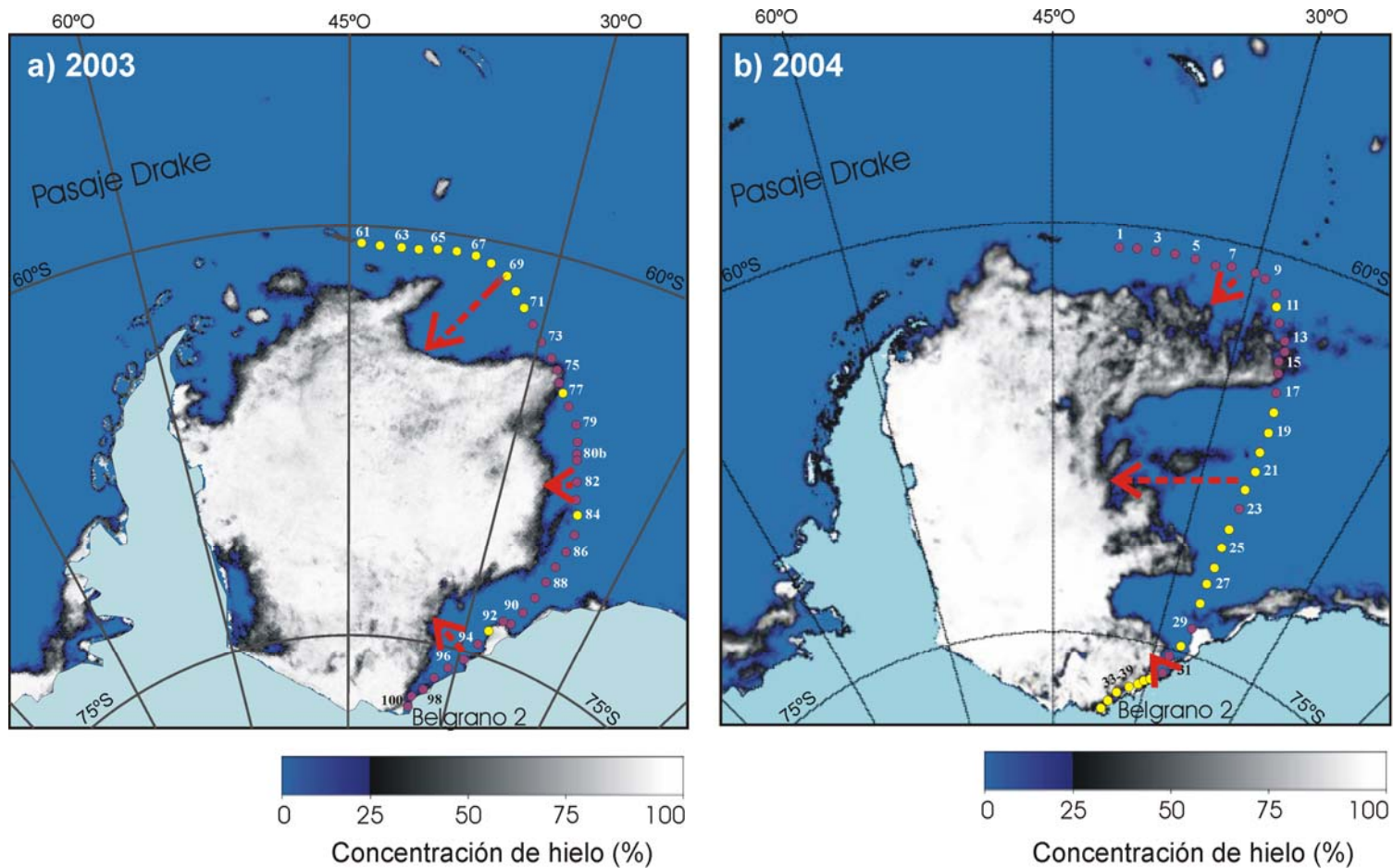


Figura 5.15: Distribución de la cobertura de hielo respecto a la ubicación de las estaciones de muestreo (círculos) durante las transectas de 2003 y 2004, respectivamente. El color de las estaciones de muestreo indica el predominio de flagelados (en amarillo) o diatomeas (en morado) en cada una de ellas. La longitud de las flechas es indicativa de las distancias relativas entre el borde de la cubierta de hielo y las estaciones de muestreo

cubierta de hielo, lo cual podría explicar en gran parte la variación interanual observada en la composición y abundancia del fitoplancton (Garibotti et al. 2005; Wu et al. 2007). Si bien las características del muestreo no posibilitaron el seguimiento temporal del fitoplancton, las diferencias observadas en la abundancia y composición del mismo a lo largo de la transectas y su relación con la distancias al borde de hielo sugieren la presencia de distintos estadios de sucesión. Las distancias observadas entre el borde de hielo y las estaciones de muestreo, utilizables como un indicador de las condiciones de estabilidad de la columna de agua, fueron mayores en la zona norte de la transecta de 2003 y en la parte central en la de 2004 (Fig. 5.15). Asimismo, estos sectores estuvieron caracterizados por bajas concentraciones de clorofila *a* y predominio de fitoflagelados ($\leq 5\mu\text{m}$), sugiriendo la presencia de un estadio de post-floración (Fig. 5.16). En contraposición, la zona central y sur de la transecta de 2003 y la parte norte de la de 2004, donde la distancia entre las estaciones y el borde de hielo fue intermedia, se observó un predominio de diatomeas, altas concentraciones de biomasa y una menor cantidad de nutrientes (probablemente debido a su consumo por el fitoplancton), que representan condiciones típicas de un estadio de floración propiamente dicho (Fig. 5.16). Finalmente, en la parte sur de la transecta de 2004, donde el hielo estuvo muy próximo a las estaciones de muestreo, se observaron alternadamente valores bajos y altos de clorofila *a*, concentración de micronutrientes y asociaciones fitoplanctónicas principalmente dominadas por fitoflagelados. En estas condiciones sobresalió una floración de *Phaeocystis antarctica* observada en la zona del frente de talud Antártico, aunque las diatomeas también fueron numéricamente importantes, sugiriendo la presencia de un estadio de floración temprana (Fig. 5.16). En tal sentido, Arrigo et al. (1999) encontraron que el predominio de *P. antarctica* sobre las diatomeas se observa bajo condiciones de capa de mezcla profundas con estratificación débil, debido a la ventaja que le confiere su mayor actividad fotosintética en condiciones de luminosidad reducida. Asimismo, y en concordancia con estos resultados, otros autores han reportado la presencia de floraciones de *P. antarctica* en zonas frontales (Estrada & Delgado 1990; Krell et al. 2005), y su predominio sobre las diatomeas en las etapas tempranas de la floración (Hegseth & Von Quillfeldt 2002; Gomi et al. 2007). Por otro lado, durante un floración inducida experimentalmente por la adición de hierro en el sector Índico del Océano Austral, Boyd et al. (2000) observaron un cambio semejante en la composición florística, con dominancia de *Phaeocystis* y pico-eucariotas en los primeros días de la floración y su posterior reemplazo por diatomeas microplanctónicas.

Desde el punto de vista de la composición taxonómica del fitoplancton, durante este estudio se observó el predominio de unos pocos *taxa*, que aparecieron de manera reiterativa en las

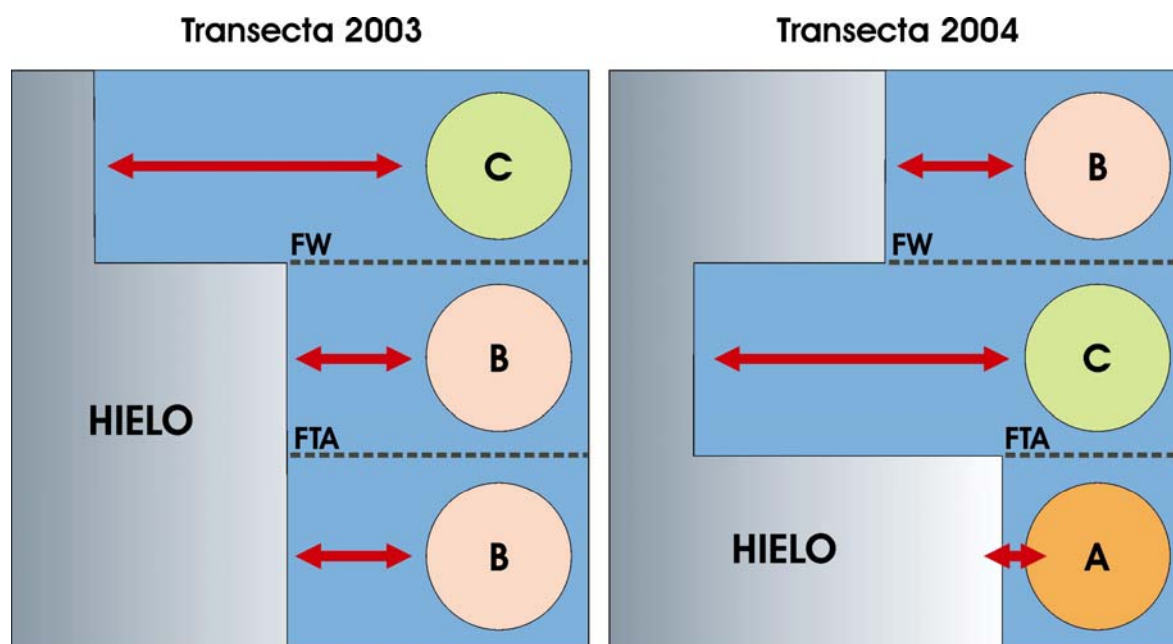


Figura 5.16: Modelo hipotético de la relación entre las distancias al borde de hielo y el estado de las asociaciones fitoplanctónicas observadas durante las transectas de 2003 y 2004. A) floración temprana; B) floración y C) post-floración. FW = Frente de Weddell; FTA = Frente de Talud Antártico.

dos transectas analizadas. Por ejemplo, el género *Fragilariopsis* representó en promedio el 67% de la abundancia total de diatomeas, seguido por *Chaetoceros* (13%) y *Pseudo-nitzschia* (9%). Por otro lado, solo dos especies, *F. curta* y *Ch. neglectus*, fueron observadas en floraciones con abundancias mayores a las 10^6 células l^{-1} . La dominancia del género *Fragilariopsis* y el florecimiento de varias de sus especies, principalmente *F. cylindrus*, *F. curta* y *F. pseudonana*, parece ser un fenómeno recurrente en el Mar de Weddell de acuerdo a lo publicado por varios autores (Estrada & Delgado 1990; Nöthig et al. 1991; Kang & Fryxell 1993; Kang et al. 2001; Krell et al. 2005). Por otro lado, la importancia numérica de otros *taxa*, tales como *Chaetoceros dictaeta*, *Ch. neglectus*, *Ch. criophilus*; *Thalassiosira* spp., *Nitzschia* spp. y *Pseudo-nitzschia* spp. también ha sido mencionada por Estrada & Delgado (1990), Bianchi et al. (1992), Kang & Fryxell (1993), Schloss & Estrada (1994), Kang et al. (2001) y Krell et al. (2005). Dentro del grupo de los fitoflagelados $<5\mu m$, el predominio de *Phaeocystis antarctica* encontrado durante este estudio coincide con estudios previos donde fue observada con amplias distribuciones y elevadas densidades (Estrada & Delgado 1990; Kang & Fryxell 1993; Schloss & Estrada 1994; Kang et al. 2001; Krell et al. 2005).

Nuestros resultados indican que durante el verano el género *Pseudo-nitzschia* se encuentra ampliamente distribuido en el Mar de Weddell, siendo un componente frecuente del

fitoplancton (100% de ocurrencia) y pudiendo representar una fracción significativa del total de diatomeas (transecta 2003 \bar{x} = 4% y máx.= 17%; transecta 2004 \bar{x} = 13% y máx. 71%). Si bien para la región analizada no existen estudios semejantes que brinden datos comparables en forma directa con los resultados obtenidos, algunas referencias bibliográficas arrojan cierta evidencia a favor de los mismos. Por ejemplo, *Pseudo-nitzschia* figura entre los *taxa* más frecuentes y abundantes observados por Estrada & Delgado (1990), superado en abundancia sólo por el género *Fragilariopsis* entre las diatomeas. Lo mismo sucede en el trabajo de Kang & Fryxell (1993), donde dos especies de *Pseudo-nitzschia* se destacan entre las especies del fitoplancton de mayor abundancia relativa. Asimismo, en los estudios de Kang et al (2001) y Schloss & Estrada (1994) también se menciona a *Pseudo-nitzschia* spp. entre los *taxa* predominantes del fitoplancton para distintos sectores del Mar de Weddell.

En términos de abundancia y contribución relativa al total de diatomeas, la importancia de *Pseudo-nitzschia* fue variable, mostrando dos escenarios principales contrastantes. En el primero, observado durante toda la transecta de 2003 y en las regiones oceánica y nerítica del Mar de Weddell durante el 2004, *Pseudo-nitzschia* estuvo presente en abundancias bajas o moderadas ($\sim 0,1-80 \times 10^3$ células l^{-1}) y representó una fracción leve del total de diatomeas ($\sim 1-15\%$). Al contrario, durante la transecta de 2004 su importancia fue notable en la zona de confluencia Weddell-Scotia, mostrando densidades de $1,2-7,5 \times 10^5$ células l^{-1} y una contribución del 21-71% al total de diatomeas (Figs 5.6a; 5.11a).

De las 31 especies descritas para el género *Pseudo-nitzschia* a nivel mundial (Tabla 3.1), solo un limitado número de ellas ha sido observado en la Antártida (Hasle & Medlin 1990), en contraposición a lo que sucede en otras regiones de aguas templadas o cálidas (Villac 1996; Fryxell et al. 1997; Cho et al. 2002; Orsini et al. 2002; Skov et al. 2004; Fehling et al. 2006). En el presente estudio se describe la presencia de seis especies en el Mar de Weddell, a saber: *P. heimii*, *P. lineola*, *P. prolongatoides*, *P. subcurvata*, *P. turgidula* y *P. turgiduloides*. De éstas, sólo tres especies (*P. prolongatoides*, *P. subcurvata* y *P. turgiduloides*) han sido descritas como endémicas de Antártida (Hasle & Syvertsen 1997) mientras que las restantes son conocidas como cosmopolitas (Hasle & Syvertsen 1997), aunque se encuentran mejor representadas en regiones australes de aguas frías (Hasle 1964, 1965; Ferrario & Licea 2006). La presencia de *P. inflatula*, una especie cosmopolita (Hasle & Syvertsen 1997), usualmente observada en forma esporádica y poco abundante en el sector subantártico del océano Pacífico Sur (Hasle 1965) y el sudeste del Mar de Weddell (Hegseth & Von Quillfeldt 2002), no fue detectada durante este estudio.

El análisis de la distribución de las especies de *Pseudo-nitzschia* permitió diferenciar dos patrones principales, que fueron recurrentes durante las dos transectas examinadas. Por un lado, *P. turgidula* y *P. heimii* fueron observadas casi exclusivamente en la zona de Confluencia Weddell-Scotia, en forma esporádica y en bajas concentraciones. Por el contrario, el resto de las especies fueron encontradas en forma frecuente a lo largo de toda el área de estudio y en mayores densidades.

La similitud en los patrones de distribución de *P. turgidula* y *P. heimii*, caracterizados por su ausencia hacia el sur de los ~62°S, se ve reflejada en el diagrama de ordenación resultante del análisis de Correspondencia Canónica, donde aparecen muy próximas entre sí (Fig. 5.13). Asimismo, su ubicación en el cuadrante superior izquierdo sugiere que estas especies encuentran condiciones favorables para su crecimiento en latitudes inferiores, en sitios con temperaturas más elevadas y salinidades más bajas, alejados del borde de hielo y con altas concentraciones de biomasa (clorofila *a*). Hace más de 40 años, y en base a un estudio detallado sobre el género *Pseudo-nitzschia* en el sector Pacífico del Océano Austral, Hasle (1965) sugirió que *P. heimii* y *P. turgidula* posiblemente fueran componentes típicos de la flora subantártica, presentando una distribución “más o menos similar” entre sí, delimitada hacia el sur por la zona de convergencia Antártica (~62°S). Los resultados obtenidos en esta tesis confirman las hipótesis de Hasle (1965), aportando evidencia adicional sobre la similitud en los patrones de distribución y en las preferencias ambientales de *P. heimii* y *P. turgidula* en el Mar de Weddell y corroborando la ausencia de las mismas en latitudes superiores a los 62°S aproximadamente. En particular, nuestros resultados sugieren que en el sector Atlántico del Océano Austral, su distribución se encuentra confinada hacia el sur por la ocurrencia del frente de Weddell, que representa el límite entre la zona de confluencia Weddell-Scotia y las aguas más frías y salinas del Mar de Weddell propiamente dicho. Como es bien conocido, dado que las zonas frontales representan zonas de transición entre distintas masas de agua (Sokolov & Rintoul 2002; Acha et al. 2004), a menudo originan discontinuidades en la distribución del fitoplancton (Kopczynska et al. 1986; Estrada & Delgado 1990; Krell et al. 2005). Asimismo, el frente de Weddell también ha sido descrito como el límite sur en la distribución de algunos *taxa* del zooplancton en la misma región analizada en este capítulo (Ward et al. 2004).

A diferencia de lo observado para *P. heimii* y *P. turgidula*, el resto de las especies de *Pseudo-nitzschia* (*P. prolongatoides*, *P. subcurvata*, *P. turgiduloides* y *P. lineola*), fueron componentes frecuentes del fitoplancton a lo largo de toda el área de estudio. Considerando las dos transectas analizadas en forma conjunta (2003–2004), *P. prolongatoides* y *P. subcurvata* fueron las especies más abundantes de *Pseudo-nitzschia* en un 35,4 % de las

estaciones cada una, seguidas por *P. turgiduloides* (17,7%) y *P. lineola* (11,4%). Sin embargo, el predominio de estas especies presentó cierta variabilidad interanual en las dos transectas analizadas.

Durante la transecta de 2003, *P. prolongatoides* estuvo presente en bajas densidades y solo predominó entre las *Pseudo-nitzschia* en unas pocas estaciones de la zona oceánica del Mar de Weddell. En cambio, en la transecta de 2004 fue la especie predominante de *Pseudo-nitzschia* hacia el norte del frente de talud Antártico, observándose en altas abundancias en la zona de confluencia Weddell-Scotia con densidades máximas de $7,2 \times 10^5$ células l^{-1} que representaron más del 70% de la abundancia total de diatomeas. De hecho, esta floración mostró los valores más altos de abundancia de *Pseudo-nitzschia* registrados a lo largo de este estudio. En concordancia con estos resultados, la presencia de *P. prolongatoides* en elevadas concentraciones ($\sim 1,4\text{--}2,5 \times 10^5$ células l^{-1}) ha sido encontrada previamente en el noroeste del Mar de Weddell (Kang & Fryxell 1993) y en el sector Índico del Océano Austral (Kopczynska et al. 1986; Gomi et al. 2007), lo que sugiere que esta especie es un componente conspicuo del fitoplancton y un formador habitual de floraciones en regiones antárticas. En el presente estudio, el predominio de *P. prolongatoides* estuvo asociado a latitudes relativamente bajas, sitios más cálidos y menos salinos, alejados del borde de hielo y con elevada biomasa (Fig. 5.13).

En el sector Índico del Océano Austral, *P. prolongatoides* fue hallada como dominante en una floración de diatomeas inducida por el derretimiento de la cubierta de hielo en el mes de enero, en una estación de muestreo en aguas oceánicas ubicada a los 64°S y 140°E (Gomi et al. 2007). Durante esta floración, se observó que las densidades de esta especie se incrementaban rápidamente al comienzo de la misma, predominando sobre el resto de las especies en el mes de enero. Sin embargo, la densidad de la población también disminuyó rápidamente durante el transcurso de la floración, siendo superada por *Fragilariopsis* spp. en el mes de febrero. En coincidencia con estos resultados, las mayores concentraciones de *P. prolongatoides* encontradas durante el presente estudio, se dieron en la zona de confluencia Weddell-Scotia durante una floración de diatomeas posiblemente inducida por el derretimiento de la cubierta de hielo. Sin embargo, hacia el sur del frente de talud Antártico sus concentraciones fueron bajas durante las dos transectas analizadas, incluso durante el florecimiento de diatomeas observado en la transecta de 2003.

P. subcurvata, otra de las especies predominantes de *Pseudo-nitzschia* durante este estudio, mostró un patrón opuesto al de *P. prolongatoides*, alcanzando sus mayores abundancias en la Zona Nerítica del Mar de Weddell en las dos transectas analizadas. Los

resultados del análisis de Correspondencia Canónica indican que el predominio de *P. subcurvata* tiende a presentarse en zonas neríticas de latitudes superiores, en sitios más fríos y salinos, cercanos al borde de hielo, con poca biomasa y en condiciones de fotoperíodo largo. Sin embargo, y a pesar de su amplio predominio dentro del género *Pseudo-nitzschia* en la zona nerítica del Mar de Weddell, es de destacar que sus abundancias fueron siempre moderadas, con máximos de $3,5\text{--}3,8 \times 10^4$ células l^{-1} en las transectas de 2003/4, respectivamente.

En concordancia con estos resultados, Hegseth & Von Quillfeldt (2002) mencionaron a *P. subcurvata* como una especie subdominante (sin precisar su abundancia) sobre la plataforma continental antártica, al sudeste del Mar de Weddell. Asimismo, Kang et al. (2001) encontraron a *P. subcurvata* en altas densidades (máx. = $1,2 \times 10^6$ células l^{-1}) en una zona próxima al borde de hielo sobre la plataforma de la Península Antártica, al noroeste del Mar de Weddell. Por otro lado, Hasle (1964, 1965) en sus trabajos sobre *Pseudo-nitzschia* realizados en el sector Pacífico del Océano Austral, sugiere que las mayores abundancias de *P. subcurvata* respecto a *P. prolongatoides* se observan “hacia el sur”. Sin embargo, esta apreciación es limitada, debido a que esta autora agrupó a ambas especies durante los recuentos celulares en un solo taxón denominado “*Nitzschia closterioides*”; lo cual no permitió reconocer la importancia relativa de estas dos especies en el Pacífico Sur (Hasle 1964, 1965). Casualmente, y como fuera discutido en el capítulo 3, estos dos *taxa* poseen una morfología semejante, lo cual pudo haber sido el motivo por el cual los patrones aquí observados no fueran mencionados previamente en los estudios sobre el fitoplancton del Mar de Weddell, en los que la distribución del género *Pseudo-nitzschia* no fue abordada con el mismo detalle que en la presente tesis.

Por último, *P. turgiduloides* y *P. lineola* no mostraron preferencias marcadas por ninguna de las tres zonas consideradas, ya que las mismas se distribuyeron de manera más o menos uniforme en el área de estudio. Del análisis de Correspondencia Canónica se desprende que ambas especies predominan mayormente en zonas oceánicas de latitudes superiores, en sitios más fríos y salinos, cercanos al borde de hielo, con poca biomasa y en condiciones de fotoperíodo corto. En particular, y en forma comparativa para ambas especies, se observó que *P. turgiduloides* tiende a predominar sobre *P. lineola* en sitios más fríos, próximos al borde de hielo.

Una floración reducida de *P. turgiduloides* (máx. $5,7 \times 10^4$ células l^{-1} y 17% del total de diatomeas) fue observada en la zona oceánica del Mar de Weddell durante la transecta de 2003, representando la mayor abundancia de *Pseudo-nitzschia* registrada para esta

transecta. Sin embargo, durante la transecta de 2004, *P. turgiduloides* exhibió un patrón semejante al de *P. subcurvata*, presentando sus mayores abundancias en la zona nerítica del Mar de Weddell (máx. $1,13 \times 10^4$ células l^{-1}). Asimismo, es importante destacar que *P. turgiduloides* fue la única especie de *Pseudo-nitzschia* presente en el 100% de las muestras analizadas, indicando una amplia distribución en el Mar de Weddell. Por su parte, *P. lineola* alcanzó sus mayores abundancias durante la transecta de 2003 en la zona oceánica del Mar de Weddell (máx. $2,79 \times 10^4$ células l^{-1}), mientras que durante el 2004 mostró un patrón semejante al de *P. prolongatoides*, con picos máximos en la zona de confluencia Weddell-Scotia (máx. $3,66 \times 10^4$ células l^{-1}) y predominando en algunas muestras recolectadas en la zona oceánica del Mar de Weddell. En contraste con estos resultados, Hasle (1965) sugirió que en el sector Pacífico del Océano Austral, la distribución de *P. lineola* es más amplia que la de *P. turgiduloides*. Sin embargo, señaló que *P. turgiduloides* fue más abundante en “las muestras del sur”, lo que en cierta forma concuerda con nuestros resultados, dado que a diferencia de *P. turgiduloides*, *P. lineola* no alcanzó nunca densidades importantes en la zona nerítica del Mar de Weddell, al sur del frente de talud Antártico. Posiblemente, la similitud morfológica que poseen estas dos especies (ver capítulo 3), ha sido la causa de que en muchos de los trabajos previos realizados en el Mar de Weddell fueran consideradas en forma conjunta como un solo taxón “*turgiduloides/lineola*” (Ej. Schloss & Estrada 1994; Kang et al. 2001), imposibilitando su comparación con estos resultados.

En resumen, a pesar de que el estudio de dos transectas de verano no es suficiente para trazar adecuadamente los patrones de distribución y las preferencias ambientales de las distintas especies, en este capítulo se brinda información de base sobre la distribución, composición y abundancia del género *Pseudo-nitzschia* en el Mar de Weddell y su relación con las distintas variables ambientales consideradas. Los datos aquí obtenidos podrían servir como condiciones de referencia en el caso de que se descubra la toxicidad de alguna de estas especies en el futuro.

La aparente ausencia de toxicidad en especies de *Pseudo-nitzschia* de ambientes antárticos resulta llamativa, considerando el notorio incremento observado a nivel mundial en la cantidad de especies potencialmente productoras de ácido domoico (AD) y de registros de episodios de intoxicación vinculados a AD durante los últimos 20 años (Bates & Trainer 2006). Sin embargo, resulta difícil discernir si la ausencia de observaciones sobre toxicidad para especies de *Pseudo-nitzschia* en la Antártida se relaciona con las particularidades del medio o si es producto de las escasas investigaciones en el tema que se han desarrollado en esta región. De las seis especies encontradas en el Mar de Weddell durante este estudio, únicamente *P. turgidula* posee antecedentes de producción de AD en estudios de campo y

experimentales desarrollados en Nueva Zelanda (Rhodes et al. 1996). Sin embargo, existen incertidumbres respecto a la identificación de esta especie (Fryxell & Hasle 2004). Por el contrario, las pruebas de toxicidad en cultivos de *P. subcurvata*, *P. turgiduloides* y *P. lineola* aisladas en la Antártida y en cepas de *P. heimii* aisladas en Nueva Zelanda, arrojaron resultados negativos (Fryxell et al. 1991; Kang et al. 1993; Rhodes 1998), mientras que no existe información disponible sobre la producción de AD en *P. prolongatoides*. Por lo tanto, hasta que no se desarrollen nuevos estudios destinados a evaluar la producción de AD en cultivo de cepas antárticas, la respuesta acerca de la toxicidad real de las mismas quedará sin responder.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

Capítulo 6

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

Capítulo 6

En base a los resultados presentados en los capítulos anteriores, surgidos del análisis de los muestreos realizados en el Mar Argentino (~38–55°S) y en el Mar de Weddell (~61–77°S), se presentan las siguientes consideraciones finales.

Comparativamente, la distribución de clorofila *a* y la abundancia total del fitoplancton en ambas regiones presentaron valores semejantes (Tabla 6.1). No obstante, las floraciones observadas en el Mar Argentino mostraron una mayor acumulación de biomasa que las registradas en el Mar de Weddell. Por ejemplo, el máximo de clorofila *a* para el Mar Argentino, coincidente con una floración de la diatomea *Chaetoceros debilis*, duplicó al correspondiente valor máximo de clorofila *a* para el Mar de Weddell, durante una floración de la primnesiofícea *Phaeocystis antarctica*.

Desde el punto de vista de la composición general del fitoplancton, las diatomeas fueron generalmente más abundantes y a su vez representaron la mayor proporción en lo que respecta a la densidad total del fitoplancton en el Mar de Weddell, mientras que en el Mar Argentino predominaron ampliamente los fitoflagelados de talla $\leq 5\mu\text{m}$ (Tabla 6.1).

El género *Pseudo-nitzschia* representó un componente frecuente del fitoplancton tanto en el Mar Argentino como en el Mar de Weddell, registrándose respectivamente en el 90% y 100% de las muestras examinadas. No obstante, su abundancia y contribución relativa en el contexto de la composición general del fitoplancton mostraron una importante variabilidad, fluctuando entre estaciones de muestreo en las que por sus bajas densidades solo pudo ser detectado en muestras concentradas de red, hasta otras en las que se observó formando floraciones, sobresaliendo entre los géneros más abundantes del fitoplancton. Desde el punto de vista de su densidad y contribución relativa al total de las diatomeas, el género *Pseudo-nitzschia* estuvo mejor representado en el Mar de Weddell que en el Mar Argentino, no así con respecto a la cantidad de especies observadas, la cual fue mayor en este último (Tabla 6.1) donde además se registraron cuatro nuevas citas para la región.

En términos de su distribución y abundancia, *P. pungens* y *P. australis*, caracterizadas desde el punto de vista biogeográfico como especies cosmopolitas (Hasle 2002), fueron las especies mejor representadas en el Mar Argentino. Por su parte, *P. prolongatoides*, *P. subcurvata*, *P. turgiduloides* y *P. lineola* fueron las especies más conspicuas del género en el Mar de Weddell, las tres primeras previamente mencionadas como endémicas de

regiones de agua fría del hemisferio sur y la última como cosmopolita (Hasle & Syvertsen 1997). Un resultado interesante de esta investigación es que la elevada abundancia y la amplia distribución de *P. lineola* en el Mar del Weddell sugieren que la misma encuentra condiciones favorables para su desarrollo en regiones de agua fría.

| Variable | Mar Argentino | Mar de Weddell |
|---|---|---|
| Clorofila a (mg m ⁻³) | 2,6 (0,1 – 19,2) | 1,9 (0,1 – 8,1) |
| Fitoplancton total (células l ⁻¹) | 1,2x10 ⁶ (2,0x10 ⁵ – 7,5x10 ⁶) | 1,2x10 ⁶ (7,1x10 ⁴ – 6,2x10 ⁶) |
| Fitoflagelados ≤5µm (células l ⁻¹) | 8,7x10 ⁵ (1,5x10 ⁵ – 4,9x10 ⁶) | 4,6x10 ⁵ (3,7x10 ⁴ – 6,0x10 ⁶) |
| Contribución Fitoflagelados ≤5µm (%) | 75,2 (15,5 – 99,3) | 38,1 (8,0 – 96,5) |
| Diatomeas (células l ⁻¹) | 1,3x10 ⁵ (80 – 3,1x10 ⁶) | 6,6x10 ⁵ (1,2x10 ⁴ – 2,9x10 ⁶) |
| Contribución diatomeas (%) | 6,3 (0,01 – 57,7) | 49,1 (2,3 – 87,9) |
| <i>Pseudo-nitzschia</i> (células l ⁻¹) | 1,8x10 ³ (10 – 6,1x10 ⁴) | 6,4x10 ⁴ (120 – 7,5x10 ⁵) |
| Contribución <i>Pseudo-nitzschia</i> (%) | 4,3 (0,1 – 50) | 8,2 (0,4 – 71,4) |

Tabla 6.1: Valores promedio y rangos (entre paréntesis) observados durante el período de muestreo para la concentración de clorofila *a* y abundancia total del fitoplancton; densidad y contribución relativa de fitoflagelados ≤ 5µm y diatomeas con respecto al total celular; y densidad y contribución relativa del género *Pseudo-nitzschia* con respecto al total de diatomeas, en el Mar Argentino y el Mar de Weddell.

En base a los resultados obtenidos en el presente estudio y en el trabajo de Ferrario & Licea (2006) para el Pasaje de Drake se pueden diferenciar cuatro grupos principales de especies de *Pseudo-nitzschia*, según los patrones de distribución a gran escala observados en el Océano Atlántico Austral y Sudoccidental (~38–78°S) (Fig. 6.1). El primer grupo, integrado por *P. americana*, *P. australis*, *P. cf. calliantha/pseudodelicatissima*, *P. fraudulenta* y *P. pungens*, incluye a aquellas especies que solo fueron halladas en el Mar Argentino. En contraposición, el segundo grupo contiene a una única especie, *P. prolongatoides*, la cual fue hallada exclusivamente en aguas del Mar de Weddell. Por su parte, en el tercer grupo se encuentran *P. turgidula* y *P. heimii* las que, si bien alcanzan sus máximas concentraciones

en aguas del Pasaje de Drake (Ferrario & Licea 2006), se extienden en su distribución tanto hacia el norte como el sur, observándose en aguas del Mar Argentino y en el sector norte del Mar de Weddell. Finalmente, el cuarto grupo abarca a *P. lineola*, *P. turgiduloides* y *P. subcurvata*, especies que alcanzan sus mayores abundancias en el Mar de Weddell, pero se extienden en su distribución hacia el norte, observándose con frecuencia y densidad decrecientes en aguas del Pasaje de Drake (Ferrario & Licea 2006) y del Mar Argentino.

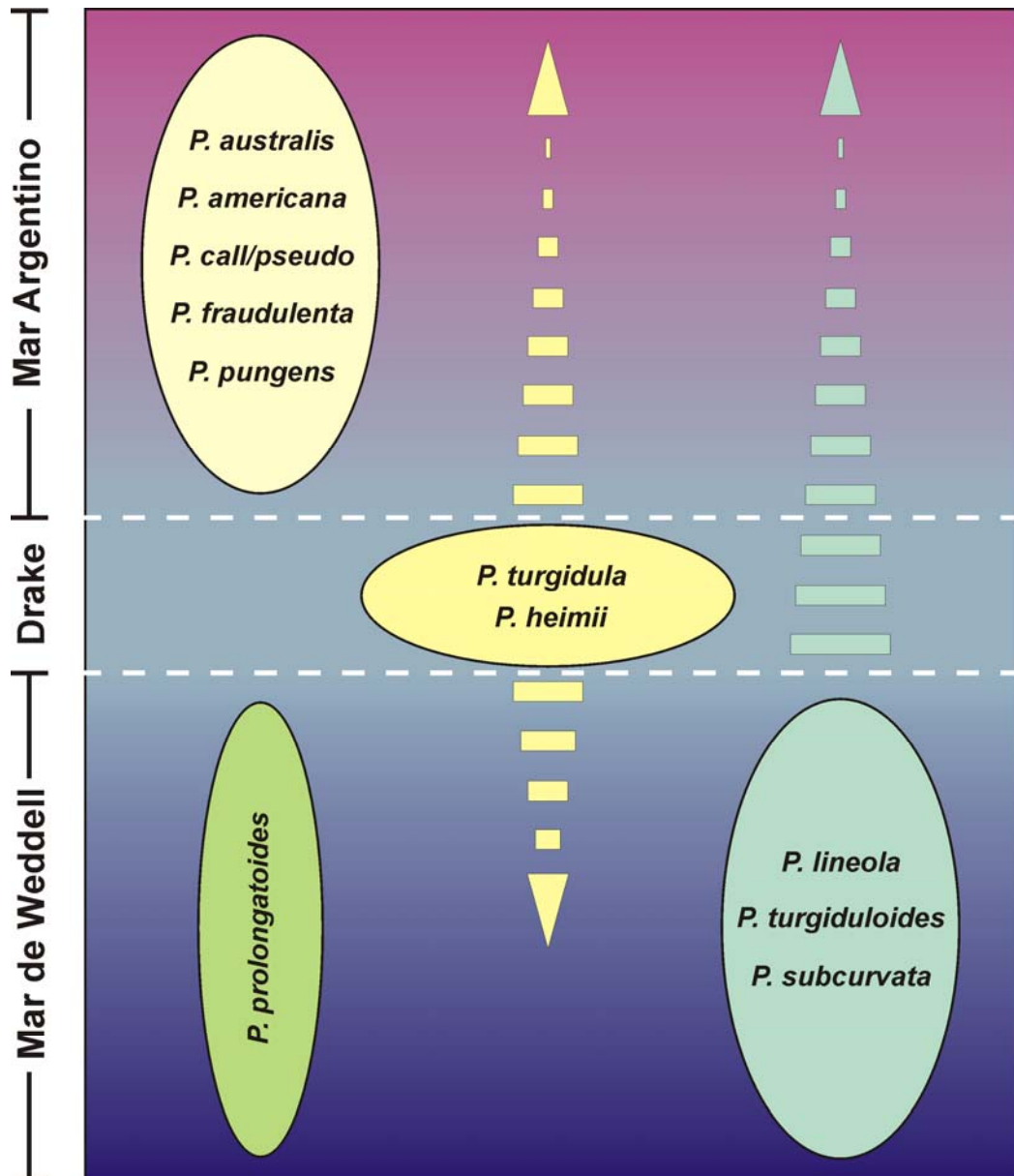


Figura 6.1: Representación esquemática de los distintos patrones de distribución general observados para las especies de *Pseudo-nitzschia* en el Océano Atlántico Austral y Sudoccidental (~38–78°S).

Los patrones de distribución de *Pseudo-nitzschia* observados en el Mar Argentino sugieren la presencia de cierta estacionalidad en la composición y abundancia del género a lo largo de la plataforma continental, vinculada con la variabilidad de las condiciones físico-químicas registrada durante el verano y el otoño. Entre los casos más notorios, se destacó la extensión hacia el sur de *P. pungens* y *P. australis* durante el verano y su posterior desplazamiento hacia el norte durante el otoño, en coincidencia con la presencia de aguas más cálidas y pobres en nutrientes. Asimismo, el hallazgo de *P. heimii*, *P. lineola*, *P. turgidula* y *P. turgiduloides* principalmente en la zona sur de la plataforma y durante el otoño, vinculada al aporte de aguas frías y ricas en nutrientes provenientes de la Antártida.

Por su parte, las observaciones realizadas en el Mar de Weddell sugieren, por un lado, que la ocurrencia de los Frentes del Mar de Weddell y del Talud Antártico influye sobre la composición y abundancia de *Pseudo-nitzschia* en las tres zonas que delimitan. Por otro lado, y en sentido más amplio, la variación interanual observada en la distribución general del fitoplancton y en particular en la composición y abundancia de *Pseudo-nitzschia*, se relaciona con las distintas etapas de retroceso de la cubierta de hielo marino estacional encontradas durante los dos períodos de muestreo.

A pesar de las limitaciones impuestas por el tipo de muestreo en superficie y su acotada resolución temporal, los resultados de esta tesis representan el primer intento de elucidar los patrones de distribución de las distintas especies del género *Pseudo-nitzschia* a lo largo de una extensa área del Mar Argentino y el Mar de Weddell. Esta información contribuye significativamente al conocimiento del comportamiento de este género en su ambiente natural y plantea una serie de nuevos interrogantes para dar dirección a futuros estudios experimentales, necesarios para llegar a comprender la ocurrencia de floraciones tanto en el Océano Atlántico Austral y Sudoccidental como en otras regiones del planeta.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

- Acha EM, Mianzan HM, Guerrero RA, Favero M, Bava J (2004) Marine fronts at the continental shelves of austral South America. Physical and ecological processes. *J. Mar. Syst.* 44: 83–105
- Akselman R (2001) Un nuevo dinoflagelado (Peridiniales, Dinophyceae) causante de discoloraciones en el Atlántico Sudoccidental. *Bol. Soc. Argent. Bot. (Supl.)* 36: 55 (resumen)
- Anderson CR, Brzezinski MA, Washburn L, Kudela R (2006) Circulation and environmental conditions during a toxicogenic *Pseudo-nitzschia australis* bloom in the Santa Barbara Channel, California. *Mar Ecol Prog Ser* 327: 119–133
- Anonymous (1975) Proposals for a standardization of diatom terminology and diagnoses. *Nova Hedwigia Beih.* 53: 323–354
- Arrigo KR, Robinson DH, Worthen DL, Dunbar RB, DiTullio GR, Van Woert M, Lizotte MP (1999) Phytoplankton community structure and the drawdown of nutrients and CO₂ in the Southern Ocean. *Science* 283: 365–367
- Artamonov YuV, Bulgakov NP, Lomakin PD, Skripaleva EA (2004) Vertical thermohaline structure, water masses, and large-scale fronts in the southwest Atlantic and neighboring Antarctic water areas. *Physical Oceanography* 14: 161–172
- Balech E (1964) El plancton de Mar del Plata durante el período 1961-62. *Bol. Inst. Biol. Mar. Mar del Plata* 4: 1–49
- Balech E (1971) Microplancton de la campaña oceanográfica Productividad III. *Rev. Mus. Arg. Cs. Nat. "Bernardino Rivadavia" e Inst. Nac. Invest. Cs. Hidrobiología* 3: 1–202
- Balech E (1988) Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental. *Publ. Espec. Inst. Español de Oceanogr.* 1, 310 pp
- Balech E (2002) Dinoflagelados tecdos tóxicos del cono sur americano. In: Sar EA, Ferrario ME, Reguera B (eds), *Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano*. Instituto Español Oceanográfico de Madrid, Vigo, pp. 125–144
- Balestrini CF, Poisson AR, Ferreyra GA, Ferrario ME, Schauer B, Schloss IR, Molina DA, Sala H, Bianchi AA, Ruiz-Pino D, Piola AR, Saraceno M (2000) Project "ARGAU". Preliminary data-report I/B A.R.A. Alnte. Irizar, Cruise ARGAU ZERO. Instituto Antártico Argentino, Contribución 529, 1–30
- Barber HG, Haworth EY (1981) A guide to the morphology of the diatom frustule with a key to the British freshwater genera. *Freshwater Biological Association, Scient. Public.* 44, pp. 1–112
- Bates SS, Bird CJ, de Freitas ASW, Foxall R, Gilgan M, Hanic LA, Jonson GR, McCulloch AW, Odense P, Pocklington R, Quilliam MA, Sim PG, Smith JC, Subba Rao DV, Todd ECD, Walter JA, Wright JLC (1989) Pennate diatom *Nitzschia pungens* as the primary source of domoic acid,

a toxin in shellfish from eastern Prince Edward Island, Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 1203–1215

- Bates SS, Garrison DL, Horner RA (1998) Bloom dynamics and physiology of domoic-acid-producing *Pseudo-nitzschia* species. In: Anderson DM, Cembella AD, Hallegraeff GM (eds), *Physiological ecology of harmful algal blooms*. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 267–292
- Bates SS, Trainer VL (2006) The Ecology of harmful diatoms. In: Granéli E, Turner JT (eds), *Ecology of Harmful Algae*. Ecological Studies 189. Springer Verlag, Berlin, pp. 81–93
- Besiktepe S, Ryabushko L, Ediger D, Yilmaz D, Zenginer A, Ryabushko V, Lee R (2008) Domoic acid production by *Pseudo-nitzschia calliantha* Lundholm, Moestrup et Hasle (Bacillariophyta) isolated from the Black Sea. *Harmful Algae* (en prensa)
- Bianchi AA, Bianucci L, Piola AR, Ruiz-Pino D, Schloss IR, Poisson A, Balestrini CF (2005) Vertical stratification and air-sea CO₂ fluxes in the Patagonian shelf. *J. Geophys. Res.* 110, C07003 doi:10.1029/2004JC002488
- Bianchi F, Boldrin A, Cioce F, Dieckmann G, Kuosa H, Larsson A-M, Nöthig E-M, Sehlstedt P-I, Socal G, Syvertsen EE (1992) Phytoplankton distribution in relation to sea ice, hydrography and nutrients in the northwestern Weddell Sea in early spring 1988 during EPOS. *Polar Biol.* 12: 225–235
- Bill BD, Lundholm N, Connell L, Baugh KA, Trainer V (2005) Domoic acid in *Pseudo-nitzschia cuspidata* from Washington State coastal waters. Abstracts of the 3rd Symposium on Harmful Algae in the U.S., Monterey, California, p. 77
- Bold HC, Wynne MJ (1985) *Introduction to the Algae. Structure and reproduction*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 720 pp
- Bolstovskoy A (1995) Taxonomía y morfología de los dinoflagelados: métodos de trabajo. In: Alveal K, Ferrario ME, Oliveira EC, Sar EA (eds), *Manual de Métodos Ficológicos*. Universidad de Concepción, Editora A. Pinto, Chile, pp. 55–82
- Boyd PW (2002) Environmental factors controlling phytoplankton processes in the Southern Ocean. *J. Phycol.* 38: 844–861
- Brandon MA, Naganobu M, Demer DA, Chernyshkov P, Trathan PN, Thorpe SE, Kameda T, Berezhinskiy OA, Hawker EJ, Grant S (2004) Physical oceanography in the Scotia Sea during the CCAMLR 2000 survey, austral summer 2000. *Deep-Sea Res. II* 51: 1301–1321
- Buck KR, Uttal-Cooke L, Pilskaín CH, Roelke DL, Villac MC, Fryxell GA, Cifuentes LA, Chavez FP (1992) Autoecology of the diatom *Pseudo-nitzschia australis*, a domoic acid producer, from Monterey Bay, California. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 84: 293–302

- Caroppo C, Congestri R, Bracchini L, Albertano P (2005) On the presence of *Pseudo-nitzschia calliantha* Lundholm, Moestrup et Hasle and *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden in the Southern Adriatic Sea (Mediterranean Sea, Italy). *J. Plankton Res.* 27: 763–774
- Carreto JI, Lutz VA, Carignan MO, Cucchi Colleoni AD, De Marcos SG (1995) Hidrography and chlorophyll *a* in a transect from the coast to the shelf-break in the Argentinean Sea. *Cont. Shelf Res.* 15: 315–336
- Carreto JI, Montoya NG, Benavides HR, Guerrero R, Carignan MO (2003) Characterization of spring phytoplankton communities in the Río de La Plata maritime front using pigment signatures and cell microscopy. *Mar. Biol.* 143: 1013–1027
- Carreto JI, Verona CA, Casal AB, Laborde MA (1974) Fitoplancton, pigmentos y condiciones ecológicas del Golfo San Matías III. Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires Contrib. 237. Inst. Biol. Mar. de Mar del Plata. Informe 10: 49–76
- Casteleyn G, Chepurnov VA, Leliaert F, Mann DG, Bates SS, Lundholm N, Rhodes L, Sabbe K, Vyverman W (2008) *Pseudo-nitzschia pungens* (Bacillariophyceae): a cosmopolitan diatom species?. *Harmful Algae* 7: 241–257
- Cerino F, Orsini L, Sarno D, Dell'Aversano C, Tartaglione L, Zingone A (2005) The alternation of different morphotypes in the seasonal cycle of the toxic diatom *Pseudo-nitzschia galaxiae*. *Harmful Algae* 4: 33–48
- Charpy C, Charpy L (1977) Biomasse phytoplanktonique, production primaire et facteurs limitant la fertilité des eaux du Golfe San José (Península Valdes, Argentine). Thèse. Centre Universitaire de Marseille-Luminy Université d'aix-Marseille II: 1–185
- Cho ES, Hur HJ, Byun HS, Lee SG, Rhodes LL, Jeong CS, Park JG (2002) Monthly monitoring of domoic acid producer *Pseudo-nitzschia multiseriis* (Hasle) Hasle using species-specific DNA probes and WGA lectins and abundance of *Pseudo-nitzschia* species (Bacillariophyceae) from Chinhae Bay, Korea. *Bot. Mar.* 45: 364–372
- Cleve PT (1897) Report on the phytoplankton collected on the expedition of H.M.S. "Research" 1896. Fifteenth Annual Report of the Fishery Board for Scotland 3: 296–304
- Cleve PT, Möller JD (1882) "Diatoms", Part. 6, Nos. 277–324, pp. 1–6. Uppsala, Suecia
- Comiso JC, Maynard NG, Smith Jr. WO, Sullivan CW (1990) Satellite ocean color studies of Antarctic ice edges in summer and autumn. *J. Geophys. Res.* 95: 9.481–9.496
- Cusack C, Raine R, Patching JW (2004) Occurrence of species from the genus *Pseudo-nitzschia* Peragallo in Irish waters. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, Vol. 104B (1): 55–74
- Eicken H (1992) The role of sea ice in structuring Antarctic ecosystems. *Polar Biol.* 12: 3–13

- Estrada M, Delgado M (1990) Summer phytoplankton distributions in the Weddell Sea. *Polar Biol.* 10: 441–449
- Fahrbach E, Hoppema M, Rohardt G, Schröder M, Wisotzki A (2004) Decadal-scale variations of water mass properties in the deep Weddell Sea. *Ocean Dynamics* 54: 77–91
- Fehling J, Davidson K, Bates SS (2005) Growth dynamics of nontoxic *Pseudo-nitzschia delicatissima* and toxic *P. seriata* (Bacillariophyceae) under simulated spring and summer photoperiods. *Harmful Algae* 4: 763–769
- Fehling J, Davidson K, Bolch C, Tett P (2006) Seasonality of *Pseudo-nitzschia* spp. (Bacillariophyceae) in western Scottish waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 323: 91–105
- Fernández LF, Brandini FP (1999) Comunidades microplanctónicas no Oceano Atlântico Sul Ocidental: biomasa e distribuição em novembro de 1992. *Rev. Bras. Oceangr.* 47: 189–205
- Ferrario M, Almandoz G, Garibotti I, Licea S (2003) Nuevos registros de diatomeas típicas de sedimento en el plancton de la costa del Mar Argentino. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 38: 123–129
- Ferrario M, Licea S, Almandoz G, Garibotti I (2008) Species of *Coscinodiscus* (Bacillariophyta) from the Gulf of Mexico, Argentina and Antarctic waters: morphology and distribution. *Nova Hedwigia Beih.* 133: 187–216
- Ferrario ME, Galván N (1989) Catálogo de las diatomeas marinas citadas entre los 36° y los 60°S con especial referencia en el Mar Argentino. Dirección Nacional del Antártico. Inst. Ant. Arg. Publ. 20: 1–327
- Ferrario ME, Licea S (2006) Species of the genus *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyta) in Antarctic waters: morphology and distribution. *Nov. Hed. Beih.* 130: 1–16
- Ferrario ME, Sar EA, Castaños C, Hinz F (1999) Potentially toxic species of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* in Argentinian coastal waters. *Nova Hedwigia* 68(1-2), 131–147
- Ferrario ME, Sar EA, Sala S (1995) Metodología básica para el estudio del fitoplancton con especial referencia a las diatomeas. In: Alveal K, Ferrario ME, Oliveira EC, Sar EA (eds), *Manual de Métodos Ficológicos*, Universidad de Concepción, Editora A. Pinto, Chile, pp. 1–23
- Ferrario ME, Sar EA, Sala S (2002) Diatomeas Potencialmente Toxígenas del Cono Sur Americano. In: Sar EA, Ferrario ME, Reguera B (eds), *Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano*. Instituto Español Oceanográfico de Madrid, Vigo, pp. 167–194
- Ferreyra G, Schloss I, Demers S (2005) Rôle de la glace saisonnière dans la dynamique de l'écosystème marin de l'Antarctique: impact potentiel du changement climatique global. *Vertigo* 5: 1–11
- Fraga S, Álvarez MJ, Miguez A, Fernandez ML, Costas E, Lopez-Rodas V (1998) *Pseudo-nitzschia* species isolated from Galician waters: toxicity, DNA content and lectinbinding assay. In: Reguera

- B, Blanco J, Fernández ML, Wyatt T (eds), Harmful Microalgae. Xunta de Galicia & UNESCO, Paris, 270–273
- Frenguelli J (1928) Diatomeas del Océano Atlántico frente a Mar del Plata. Anales Mus. Nac. Hist. Nat. Bernardino Rivadavia 34: 497–572
- Frenguelli J (1930) Diatomeas marinas de la costa atlántica de Miramar (Provincia de Buenos Aires). Anales Mus. Nac. Hist. Nat. Bernardino Rivadavia 36: 243–311
- Frenguelli J (1938) Diatomeas de la Bahía San Blas (Provincia de Buenos Aires). Rev. Mus. La Plata 1: 251–337
- Frenguelli J (1939) Diatomeas del Golfo de San Matías (Río Negro). Rev. Mus. La Plata 2: 201–226
- Fritz L, Quilliam MA, Wright JLC, Beale AM, Work TM (1992) An outbreak of domoic acid poisoning attributed to the pennate diatom *Pseudo-nitzschia australis*. J. Phycol. 28: 439–442
- Fritz L, Quilliam MA, Wright JLC, Beale AM, Work TM (1992) An outbreak of domoic acid poisoning attributed to the pennate diatom *Pseudo-nitzschia australis*. J. Phycol. 28: 439–442
- Fryxell G, Villac MC, Shapiro LP (1997) The occurrence of the toxic diatom genus *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) on the West Coast of the USA, 1920–1996: a review. Phycologia 36: 419–437
- Fryxell GA (1989) Marine phytoplankton at the Weddell Sea ice edge: seasonal changes at the specific level. Polar Biol. 10: 1–18
- Fryxell GA, Garza SA, Roelke DL (1991) Auxospore formation in an antarctic clone of *Nitzschia subcurvata* Hasle. Diatom Res. 6: 235–245
- Fryxell GA, Hasle GR (2004) Taxonomy of harmful diatoms. In: Hallegraeff GM, Anderson DM, Cembella AD (eds), Manual on Harmful Marine Microalgae. Monographs on Oceanographic Methodology 11. UNESCO Publishing, France, pp 465–509
- Garibotti IA, Vernet M, Ferrario ME (2005) Annually recurrent phytoplanktonic assemblages during summer in the seasonal ice zone west of the Antarctic Peninsula (Southern Ocean). Deep-Sea Res. I 52: 1823–1841
- Garrison DL, Conrad SM, Eilers PP, Waldron EM (1992) Confirmation of acid production by *Pseudo-nitzschia australis* (Bacillariophyceae) in culture. J. Phycol. 28: 604–607
- Gayoso AM (1989) Species of the diatom genus *Thalassiosira* from a coastal zone of the South Atlantic (Argentina). Bot. Mar. 32: 331–337
- Gayoso AM, Podestá GP (1996) Surface hydrography and phytoplankton of the Brazil-Malvinas currents confluence. J. Plank. Res. 18: 941–951

- Gomi Y, Taniguchi A, Fukuchi M (2007) Temporal and spatial variation of the phytoplankton assemblage in the eastern Indian sector of the Southern Ocean in summer 2001/2002. *Polar Biol.* 30: 817–827
- Graham LE, Wilcox LW (2000) *Algae*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, 640 pp
- Greuter W, McNeill J, Barrie FR, Burdel HM, Demoulin V, Filgueiras TS, Nicholson DH, Silva PC, Skog JE, Trehane P, Turland NJ, Hawksworth DL (2000) International Code of Botanical Nomenclature (St. Louis Code). *Regnum Vegetabile*, 131. Koeltz Scientific Books, Königstein
- Guerrero RA, Piola AR (1997) Masas de agua en la plataforma continental. En: Boschi EE (ed), *El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Antecedentes históricos de las exploraciones en el mar y las características ambientales*, vol. 1. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata, Argentina, pp. 107–118
- Hallegraeff GM (2004) Harmful algal blooms: A global overview. In: Hallegraeff GM, Anderson DM, Cembella AD (eds), *Manual on Harmful Marine Microalgae. Monographs on Oceanographic Methodology* 11. UNESCO Publishing, France, pp. 25–49
- Hasle GR (1964) *Nitzschia* and *Fragilariopsis* species studied in the light and electron microscopes. Part I. Some marine species of the groups *Nitzschiella* and *Lanceolatae*. *Skr. Norske Vidensk.-Acad. I. Mat-Nat. Kl. N.S.* 16: 1–48
- Hasle GR (1965) *Nitzschia* and *Fragilariopsis* species studied in the light and electron microscopes. Part II. The group *Pseudonitzschia*. *Skr. Norske Vidensk.-Acad. I. Mat-Nat. Kl. N.S.* 18: 1–45
- Hasle GR (1971) *Nitzschia pungiformis* (Bacillariophyceae), a new species of the *Nitzschia seriata* group. *Norw. J. Bot.* 18: 139–144
- Hasle GR (1974) Validation of the names of some marine planktonic species of *Nitzschia* (Bacillariophyceae). *Taxon* 23: 425–428
- Hasle GR (1993) Nomenclatural notes on marine planktonic diatoms. The family Bacillariaceae. *Nova Hedwigia Beih.* 106: 315–321
- Hasle GR (1994) *Pseudo-nitzschia* as a genus distinct from *Nitzschia* (Bacillariophyceae). *J. Phycol.* 30: 1036–1039
- Hasle GR (1995) *Pseudo-nitzschia pungens* and *P. multiseriata* (Bacillariophyceae): Nomenclatural history, morphology and distribution. *J. Phycol.* 31: 428–435
- Hasle GR (2002) Are most of the domoic-acid producing species of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* cosmopolites? *Harmful Algae* 1: 137–146
- Hasle GR, Lange BC, Syvertsen EE (1996) A review of *Pseudo-nitzschia*, with special reference to the Skagerrak, North Atlantic, and adjacent waters. *Helgoländer Meeresun* 50: 131–175
- Hasle GR, Lundholm N (2005) *Pseudo-nitzschia seriata* f. *obtusa* (Bacillariophyceae) raised in rank based on morphological, phylogenetic and distributional data. *Phycologia* 44: 608–619

- Hasle GR, Medlin LK (1990) Family Bacillariaceae: the genus *Nitzschia* section *Pseudo-nitzschia*. In: Medlin LK, Priddle J (eds), Polar Marine Diatoms. British Antarctic Survey, Natural Environment Research Council, Cambridge, pp 169–176
- Hasle GR, Syvertsen EE (1997) Marine Diatoms. In: Tomas CR (ed.) Identifying Marine Phytoplankton. Academic Press, San Diego, pp 5–385
- Hegseth EN, Von Quillfeldt CH (2002) Low phytoplankton biomass and ice algal blooms in the Weddell Sea during the ice-filled summer of 1997. *Antarct. Sci* 14: 231–243
- Heiden H, Kolbe RW (1928) Die marinen diatomeen der Deutschen Südpolar-Expedition 1901-3. *Deutsche Südpolar-Expedition 1901-1903* 8: 447–715
- Hernández-Becerril DU (1998) Species of the planktonic diatom genus *Pseudo-nitzschia* of the Pacific coasts of Mexico. *Hydrobiologia* 379: 77–84
- Hernández-Becerril DU, Díaz-Almeyda EM (2006) The *Nitzschia bicapitata* group, new records of the genus *Nitzschia*, and further studies on species of *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyta) from Mexican Pacific coasts. *Nova Hedwigia Beih.* 130: 293–306
- Heywood KJ, King BA (2002) Water masses and baroclinic transports in the South Atlantic and Southern oceans. *J. Mar. Res.* 60: 639–676
- Heywood KJ, Naveira Garbato AC, Stevens DP, Muench RD (2004) On the fate of the Antarctic Slope Front and the origin of the Weddell Front. *J. Geophys. Res.* 109, C06021, DOI 10.1029/2003JC002053
- Holm-Hansen O, Naganobu M, Kawaguchi S, Kameda T, Krasovski I, Tchernyshkov P, Priddle J, Korb R, Brandon M, Demer D, Hewitt RP, Kahru M, Hewes CD (2004) Factors influencing the distribution, biomass, and productivity of phytoplankton in the Scotia Sea and adjoining waters. *Deep-Sea Res. II* 51: 1333–1350
- Hustedt F (1958) Diatomeen aus der Antarktis und dem Südatlantik. *Deutsche antarktische Expedition 1938/39* 2: 103–191
- Kaczmarek I, LeGresley MM, Martin JL, Ehrman J (2005) Diversity of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* Peragallo in the Quoddy Region of the Bay of Fundy, Canada. *Harmful Algae* 4: 1–19
- Kaczmarek I, Martin JL, Ehrman JM, LeGresley MM (2007) *Pseudo-nitzschia* species population dynamics in the Quoddy Region, Bay of Fundy. *Harmful Algae* 6: 861–874
- Kaleschke L, Lüpkes C, Vihma T, Haarpaintner J, Bochert A, Hartmann J, Heygster G (2001) SSM/I Sea Ice Remote Sensing for Mesoscale Ocean-Atmosphere Interaction Analysis. *Can. J. Remote Sens.* 27: 526–537
- Kang S-H, Fryxell GA (1993) Phytoplankton in the Weddell Sea, Antarctica: composition, abundance and distribution in water-column assemblages of the marginal ice-edge zone during austral autumn. *Marine Biology* 116: 335–348

- Kang S-H, Fryxell GA, Roelke DL (1993) *Fragilariopsis cylindrus* compared with other species of the diatom family Bacillariaceae in Antarctic marginal ice-edge zones. *Nova Hedwigia Beih.* 106: 335–352
- Kang S-H, Kang J-S, Lee S, Chung KH, Kim D, Park MG (2001) Antarctic phytoplankton assemblages in the marginal ice zone of the northwestern Weddell Sea. *J. Plankton Res.* 23: 333–352
- Kopczynska EE (1992) Dominance of microflagellates over diatoms in the Antarctic areas of deep vertical mixing and krill concentrations. *J. Plankton Res.* 14: 1031–1054
- Kopczynska EE, Weber LH, El-Sayed SZ (1986) Phytoplankton species composition and abundance in the Indian Sector of the Antarctic Ocean. *Polar Biol.* 6: 161–169
- Kotaki Y, Koike K, Yoshida M, Thuoc CV, Huyen NTM, Hoi NC, Fukuyo Y, Kodama M (2000) Domoic acid production in *Nitzschia* sp. isolated from a shrimp-culture pond in Do Son, Vietnam. *J. Phycol.* 36: 1057–1060
- Kotaki Y, Lundholm N, Onodera H, Kobayashi K, Bajarias FFA, Furio E, Iwataki M, Fukuyo Y, Kodama M (2004) Wide distribution of *Nitzschia navis-varingica*, a new domoic acid-producing benthic diatom found in Vietnam. *Fish. Sci.* 70: 28–32
- Krell A, Schnack-Schiel SB, Thomas DN, Kattner G, Zipan W, Dieckmann G (2005) Phytoplankton dynamics in relation to hydrography, nutrients and zooplankton at the onset of sea ice formation in the eastern Weddell Sea (Antarctica). *Polar Biol.* 28: 700–713
- Lagos N (2002) Principales toxinas de origen fitoplanctónico: identificación y cuantificación mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). In: Sar EA, Ferrario ME, Reguera B (eds), *Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano*. Instituto Español Oceanográfico de Madrid, Vigo, pp. 57–76
- Lange C (1985) Spatial and seasonal variations of diatom assemblages off the Argentinian coast (South Western Atlantic). *Oceanol. Acta* 8: 361–370
- Lefebvre KA, Powell CL, Busman M (1999) Detection of domoic acid in northern anchovies and California sea lions associated with an unusual mortality event. *Nat. Toxins* 7: 85–92
- Lundholm N, Hansen PJ, Kotaki Y (2004) Effect of pH on growth and domoic acid production by potentially toxic diatoms of the genera *Pseudo-nitzschia* and *Nitzschia*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 273: 1–15
- Lundholm N, Hasle GR, Fryxell GA, Hargraves PE (2002) Morphology, phylogeny and taxonomy of species within the *Pseudo-nitzschia americana* complex (Bacillariophyceae) with descriptions of two new species, *Pseudo-nitzschia brasiliensis* and *Pseudo-nitzschia lineata*. *Phycologia* 41: 480–497
- Lundholm N, Moestrup Ø (2002) The marine diatom *Pseudo-nitzschia galaxiae* sp. nov (Bacillariophyceae): morphology and phylogenetic relationships. *Phycologia* 41: 594–605

- Lundholm N, Moestrup Ø (2006) The biogeography of Harmful Algae. In: Granéli E, Turner JT (eds), Ecology of Harmful Algae. Ecological Studies 189. Springer Verlag, Berlin, pp 23–35
- Lundholm N, Moestrup Ø, Hasle GR, Hoef-Emden K (2003) A study of the *P. pseudodelicatissima/cuspidata* complex (Bacillariophyceae): What is *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*? J. Phycol. 39: 797–813
- Lundholm N, Moestrup Ø, Kotaki Y, Hoef-Emden K, Scholin C, Miller P (2006) Inter- and intraspecific variation of the *Pseudo-nitzschia delicatissima* complex (Bacillariophyceae) illustrated by rRNA probes, morphological data and phylogenetic analyses. J. Phycol. 42: 464–481
- Lundholm N., Skov J, Pocklington R, Moestrup Ø (1994) Domoic acid, the toxic amino acid responsible for amnesic shellfish poisoning, now in *Pseudo-nitzschia seriata* (Bacillariophyceae) in Europe. Phycologia 33: 475–478
- Lutz VA, Subramaniam A, Negri RM, Silva RI, Carreto JI (2006) Annual variations in bio-optical properties at the 'Estación Permanente de Estudios Ambientales (EPEA)' coastal station, Argentina. Cont. Shelf Res. 26: 1093–1112
- Mangoni O, Modigh M, Conversano F, Carrada GC, Saggiomo V (2004) Effects of summer ice coverage on phytoplankton assemblages in the Ross Sea, Antarctica. Deep-Sea Res. I 51: 1601–1617
- Manguin E (1957) Premier inventaire de diatomées de la Terre Adélie. Espèces nouvelles. Revue Algologique 3: 111–134
- Manguin E (1960) Les diatomées de la Terre Adélie. Campagne du "Commandant Charcot" 1949-1950. Annales des Sciences Naturelles Botanique 12: 223–363
- Maranda L, Wang R, Musauda K, Shimizu Y (1990) Investigation of the source of domoic acid in mussels. In: Granéli E, Sundström B, Edler L, Anderson DM (eds), Toxic marine phytoplankton. Elsevier Sci. Publ. Co., Inc., New York, pp. 300–304
- Martin JL, Haya K, Burrige LE, Wildish DJ (1990) *Nitzschia pseudodelicatissima* - a source of domoic acid in the Bay of Fundy, eastern Canada. Mar. Ecol. Prog. Ser. 67: 177–182
- Meguro H, Toba Y, Murakami H, Kimura N (2004) Simultaneous remote sensing of chlorophyll, sea ice and sea surface temperature in the Antarctic waters with special reference to the primary production from ice algae. Adv. Space Res. 33: 1168–1172
- Miguez A, Fernandez ML, Fraga S (1996) First detection of domoic acid in Galicia (NW of Spain). In: Yasumoto T, Oshima Y, Fukuyo Y (eds), Harmful and Toxic Algal Blooms. IOC UNESCO, Paris, 143–145
- Moore JK, Abbott MR (2000) Phytoplankton chlorophyll distributions and primary production in the Southern Ocean. J. Geophys. Res. 105: 28.709 –28.722
- Mos L (2001) Domoic acid: a fascinating marine toxin. Environ. Toxicol. Pharmacol. 9: 79–85

- Negri RM, Inza D (1998) Some potentially toxic species of *Pseudo-nitzschia* in the Argentine Sea (35S–39°S). Harmful algae. In: Reguera B, Blanco J, Fernandez ML, Wyatt T (eds), Proceedings of the VIII International Conference on Harmful Algae. Xunta de Galicia and IOC of UNESCO Publishers, Vigo, pp. 84–85
- Negri RM, Montoya NG, Carreto JI, Akselman R, Inza D (2004) *Pseudo-nitzschia australis*, *Mytilus edulis*, *Engraulis anchoita*, and Domoic Acid in the Argentine Sea. In: Steidinger KA, Landsberg JH, Tomas CR, Vargo GA (eds), Harmful Algae 2002. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, Florida Institute of Oceanography, and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, St. Petersburg, Florida, USA, pp. 139–141
- Nöthig EM, von Bodungen B, Sui Q (1991) Phyto- and protozooplankton biomass during austral summer in surface waters of the Weddell Sea and vicinity. *Polar Biol.* 11: 293–304
- Odebrecht C, Ferrario ME, Ciotti AM, Kitzmann D, Odete M, Moreira P, Hinz F (2001) The distribution of the diatom *Pseudo-nitzschia* off southern Brazil and relationships with oceanographic conditions. In: Hallegraeff GM, Blackburn SI, Bolch CJ, Lewis RJ (eds), Harmful Algal Blooms 2000. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris, pp. 42–45
- Olguín HF, Alder V (2004) Distribución de diatomeas en el Mar Argentino y el océano Antártico (verano austral 2002). V° Simposio Argentino y I° Latinoamericano sobre Investigaciones Antárticas, Actas on-line
- Olguin HF, Boltovskoy D, Lange CB, Brandini F (2007) Distribution of spring phytoplankton (mainly diatoms) in the upper 50 m of the Southwestern Atlantic Ocean (30–61°S). *J. Plank. Res.* 28: 1107–1128
- Orlova TYu, Shevchenko OG (2002) The first finding of *Pseudo-nitzschia americana* (Bacillariophyta) in Russian Seas. *Russ. J. Mar. Biol.* 28: 336–339
- Orsini L, Sarno D, Procaccini G, Poletti R, Dahlmann J, Montresor M (2002) Toxic *Pseudo-nitzschia multistriata* (Bacillariophyceae) from the Gulf of Naples: morphology, toxin analysis and phylogenetic relationship with other *Pseudo-nitzschia* species. *Eur. J. Phycol.* 37: 247–257
- Palma ED, Matano RP, Piola AR (2004) A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: barotropic response to tidal and wind forcing. *J. Geophys. Res.* 109, C08014, doi:10.1029/2004JC002315
- Pan YL, Parsons ML, Busman M, Moeller PDR, Dortch Q, Powell CL, Doucette GJ (2001) *Pseudo-nitzschia* sp cf. *pseudodelicatissima* - a confirmed producer of domoic acid from the northern Gulf of Mexico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 220: 83–92
- Park MG, Yang SR, Kang S-H, Chung KH, Shim JH (1999) Phytoplankton biomass and primary production in the marginal ice zone of the northwestern Weddell Sea during austral summer. *Polar Biol.* 21: 251–261.

- Peragallo H, Peragallo M (1897–1908) Diatomées marines de France et des districts maritimes voisins. M. J. Tempère, Micrographe-Editeur, Grez-sur-Loing, Text: 491 pp, Atlas: 137 lams
- Priisholm K, Moestrup Ø, Lundholm N (2002) Taxonomic notes on the marine diatom genus *Pseudo-nitzschia* in the Andamian Sea near the island of Phuket, Thailand, with a description of *Pseudo-nitzschia micropora* sp. nov. *Diatom Res.* 17, 153–175
- Prygiel J, Coste M (2000) Guide Méthodologique pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Diatomées. Agence de l'Eau, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Direction de l'Eau & CEMAGREF, France. 134 pp
- Qi Y, Wang J, Zheng L (1994) The taxonomy and bloom ecology of *Pseudo-nitzschia* on the coast of China. In: Nontji A, Soemodihargo S, Ilahude AG, Setiapermana D, Praseno DP, Moosa MK, Onkosongo OSR (eds), Proceedings IOC-WESTPAC Third International Scientific Symposium, Bali, Indonesia, pp. 88–95
- Quiroga I (2006) *Pseudo-nitzschia* blooms in the Bay of Banyuls-sur-Mer, northwestern Mediterranean Sea. *Diatom Res.* 21: 91–104
- Reguera B (2002) Establecimiento de un programa de seguimiento de microalgas tóxicas. In: Sar EA, Ferrario ME, Reguera B (eds), Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano. Instituto Español Oceanográfico de Madrid, Vigo, pp. 19–54
- Rhodes L (1998) Identification of potentially toxic *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) in New Zealand coastal waters, using lectins. *New Zeal J Mar Fresh* 32: 537–544
- Rhodes L, Scholin C, Garthwaite I, Haywood A, Thomas A (1998) Domoic acid producing *Pseudo-nitzschia* species educed by whole cell DNA probe-based and immunochemical assays. In: Reguera B, Blanco BJ, Fernandez ML, Wyatt T (eds), Harmful Algae. Xunta de Galicia and IOC of UNESCO Publishers, pp. 274–277
- Rhodes L, White D, Syhre M, Atkinson M (1996) *Pseudo-nitzschia* species isolated from New Zealand coastal waters: domoic acid production in vitro and links with shellfish toxicity. In: Yasumoto T, Oshima Y, Fukuyo Y (eds), Harmful and toxic algal blooms. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, pp. 155–158
- Rhodes LL, Adamson J, Scholin C (2000) *Pseudo-nitzschia multistriata* (Bacillariophyceae) in New Zealand. *New Zeal. J. Mar. Fresh.* 34: 463–467
- Rivas AL (2006) Quantitative estimation of the influence of surface thermal fronts over chlorophyll concentration at the Patagonian shelf. *J. Mar. Syst.* 63: 183–190
- Rivas AL, Dogliotti AI, Gagliardini DA (2006) Seasonal variability in satellite-measured surface chlorophyll in the Patagonia Shelf. *Cont. Shelf Res.* 26: 703–720
- Rivera P (1985) Las especies del género *Nitzschia* Hassall, sección *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae), en las aguas marinas chilenas. *Gayana Bol.* 42: 9–38

- Romero SI, Piola AR, Charo M, Eiras García CA (2006) Chlorophyll-a variability off Patagonia based on SeaWiFS data. *J. Geophys. Res.* 111 C05021, doi: 10.1029/2005JC003244
- Round FE, Crawford RM, Mann DG (1990) *The Diatoms. Biology and Morphology of the Genera.* Cambridge University Press, Cambridge, 747 pp
- Sabatini M, Reta R, Matano RP (2004) Circulation and zooplankton biomass distribution over the southern Patagonian shelf during late summer. *Cont. Shelf Res.* 24: 1359–1373
- Sar EA, Andrinolo D, Sunesen I (2006) Análisis morfológico y toxicológico de cultivos de *Pseudo-nitzschia pungens* var. *pungens* (Bacillariophyceae). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 41: 193–201
- Sar EA, Ferrario ME, Castaños C (1998) Authentication of the type materials of *Pseudo-nitzschia australis* Frenguelli. *Diatom Res.* 13: 183–185
- Sar EA, Sunesen I, Castaños C (2001) Marine diatoms from Buenos Aires coastal waters (República Argentina). I *Thalassiosiraceae*. *Nova Hedwigia* 73: 199–228
- Sar EA, Sunesen I, Fernández PV (2007) Marine diatoms from Buenos Aires coastal waters (Argentina). II. *Thalassionemataceae* and *Rhaphoneidaceae*. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 80: 63–79
- Sar EA, Sunesen I, Lavigne AS (2002) The diatom genus *Thalassiosira*: species from the northern San Matías Gulf (Río Negro, Argentina). *Nova Hedwigia* 74: 373–386
- Sarthou G, Timmermans KR, Blain S, Tréguer P (2005) Growth physiology and fate of diatoms in the ocean: a review. *J. Sea Res.* 53: 25–42
- Sastre A, Santinelli N, Esteves J, Ferrario M (2001) Aspectos ecológicos de especies de *Pseudo-nitzschia* en aguas costeras patagónicas (Argentina). In: Alveal K, Antezana T (eds), *Sustentabilidad de la biodiversidad.* Universidad de Concepción, Concepción, pp. 217–235
- Sastre A, Santinelli N, Marino G, Solís M, Pujato L, Ferrario M (2007) First detection of domoic acid produced by *Pseudo-nitzschia* species, Chubut coastal waters, Patagonia, Argentina. *Harmful Algae News* 34: 12–14
- Scharek R, Smetacek V, Fahrbach E, Gordon LI, Rohardt G, Moore S (1994) The transition from winter to early spring in the eastern Weddell Sea, Antarctica: Plankton biomass and composition in relation to hydrography and nutrients. *Deep-Sea Res.* 41: 1231–1250
- Schloss IR, Estrada M (1994) Phytoplankton composition in the Weddell-Scotia Confluence area during austral spring in relation to hydrography. *Polar Biol.* 14: 77–90
- Schloss IR, Ferreyra GA, Ferrario ME, Almandoz GO, Codina R, Bianchi AA, Balestrini CF, Ochoa HA, Ruiz Pino D, Poisson A (2007) Role of plankton communities in the sea–air variation of $p\text{CO}_2$ in the SW Atlantic Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 332, 93–106
- Schnetzer A, Miller PE, Schaffner RA, Stauffer BA, Jones BH, Weisberg SB, DiGiacomo PM, Berelson WM, Caron DA (2007) Blooms of *Pseudo-nitzschia* and domoic acid in the San Pedro Channel

and Los Angeles harbor areas of the Southern California Bight, 2003–2004. *Harmful Algae* 6: 372–387

Scholín CA, Gulland F, Doucette GJ, Benson S, Busman M, Chavez FP, Cordaro J, DeLong R, De Vogelaere A, Harvey J, Haulena M, Lefebvre K, Lipscomb T, Loscutoff S, Lowenstine LJ, Marin R, Miller PE, McLellan WA, Moeller PDR, Powell CL, Rowles T, Silvagni P, Silver M, Spraker T, Trainer V, Van Dolah FM (2000) Mortality of sea lions along the central California coast linked to a toxic diatom bloom. *Nature* 403: 80–83

Sierra-Beltrán A, Palafox-Uribe M, Grajales-Montiel J, Cruz-Villacorta A, Ochoa JL (1997) Sea bird mortality at Cairo San Lucas, Mexico: evidence that toxic diatom blooms are spreading. *Toxicon*, Vol. 35, 447-453

Sierra-Beltrán AP, Cruz A, Nuñez E, Del Villar LM, Cerecero J, Ochoda JL (1998) An overview of the marine food poisoning in Mexico. *Toxicon* 36: 1493–1502

Simonsen R (1974) The diatom plankton of the Indian Ocean Expedition of RV Meteor 1964-1965. *Meteor Forschungsergebnisse* 19: 1–107

Skov J, Lundholm N, Moestrup Ø, Larsen J (1999) Potentially toxic phytoplankton. 4. The diatom genus *Pseudonitzschia* (Diatomophyceae/Bacillariophyceae). In: Lindley JA (ed), ICES identification leaflets for plankton. No. 185. ICES, Copenhagen

Skov J, Ton TP, Do TBL (2004) Bacillariophyceae. In: Larsen J, Nguyen NL (eds), Potentially Toxic Microalgae of Vietnamese Waters. *Opera Botanica* 140: 203–216

Smetacek V, De Baar HJW, Bathmann UV, Lochte K, Rutgers Van Der Loeff MM (1997) Ecology and biogeochemistry of the Antarctic Circumpolar Current during austral spring: a summary of Southern Ocean JGOFS cruise ANT X/6 of R.V. Polarstern. *Deep-Sea Res. II* 44: 1–21

Smetacek V, Scharek R, Nöthig EM (1990) Seasonal and regional variation in the pelagial and its relationship to the life history cycle of krill. In: Kerry K, Hempel G (eds), Antarctic ecosystems: Ecological change and conservation. Springer Verlag, Berlin, pp 103–114

Smith JC, Odense P, Angus R, Bates SS, Bird CJ, Cormier P, de Freitas ASW, Léger C, O'neil D, Pauley K, Worms J (1990) Variation in domoic acid levels in *Nitzschia* species: implications for monitoring programs. *Bull. Aquacult. Assoc. Canada* 90 : 27–31

Socal G, Nöthig EM, Bianchi F, Boldrin A, Mathot S, Rabitti S (1997). Phytoplankton and particulate matter at the Weddell/Scotia Confluence (47°W) in summer 1989, as a final step of a temporal succession (EPOS project). *Polar Biol.* 18: 1–9

Sokolov S, Rintoul SR (2002) Structure of Southern Ocean fronts at 140°E. *J. Mar. Syst.* 37: 151–184

Strickland JDH, Parsons TR (1972) A practical handbook of sea-water analysis, 2nd Ed. J. Fish. Res. Bd. Canada 167, 311 pp

- Sullivan CW, Arrigo KR, McClain CR, Comiso JC, Firestone J (1993) Distributions of phytoplankton blooms in the Southern Ocean. *Science* 262: 1832–1837
- Sullivan CW, McClain CR, Comiso JC, Smith Jr. WO (1988) Phytoplankton standing crops within an Antarctic ice edge assessed by satellite remote sensing. *J. Geophys. Res.* 93: 12.487–12.498
- Sunesen I, Sar EA (2004) *Thalassiosira fryxelliae* nov. spec. (Bacillariophyceae) from Argentinian coastal waters. *Bot. Mar.* 47: 238–247
- Sunesen I, Sar EA (2007) Marine diatoms from Buenos Aires coastal waters (Argentina). IV. *Rhizosolenia s. str.*, *Neocalyptrella*, *Pseudosolenia*, *Proboscia*. *Phycologia* 46: 628–643
- Takano H (1995) *Pseudo-nitzschia multistriata* (Takano) Takano, a new combination for the pennate diatom *Nitzschia multistriata* Takano. *Diatom. Jpn. J. Diatomol.* 10: 73–74
- Takano H, Kuroki K (1977) Some diatoms in the section *Pseudo-nitzschia* found in coastal waters of Japan. *Bull. Tokai Reg. Fish Res. Lab.* 91: 41–51
- Ter Braak CJF (1986) Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67: 1167–1179
- Ter Braak CJF, Šmilauer P (2002) CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, New York. 500 pp. <http://www.canoco.com>
- Ter Braak CJF, Verdonschot PFM (1995) Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences* 57: 255–289
- Thessen AE, Dortch Q, Parsons ML, Morrison W (2005) Effect of salinity on *Pseudo-nitzschia* species (Bacillariophyceae) growth and distribution. *J Phycol* 41: 21–24
- Thronsen J (1997) The planktonic marine flagellates. In: Tomas CR (ed.), *Identifying marine phytoplankton*: 591-730. Academic Press. San Diego
- Utermöhl H (1958). Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton-methodik. *Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 9, 1–38
- Verona CA, Carreto JI, Hinojal A (1974) Fitoplancton, pigmentos y condiciones ecológicas del Golfo San Matías II. Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires. Contrib. 236. Inst. Biol. Mar. de Mar del Plata. Informe 10: 23–49
- Villac MC (1996) Synecology of the genus *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo from Monterey Bay, California, U.S.A. PhD Dissertation, Texas A&M University, College Station, Texas, 258 pp
- Villac MC, Fryxell GA (1998) *Pseudo-nitzschia pungens* var. *cingulata* var. nov. (Bacillariophyceae) based on field and culture observations. *Phycologia* 37: 269–274

- Villac MC, Roelke DL, Chavez FP, Cifuentes LA, Fryxell GA (1993) *Pseudo-nitzschia australis* Frenguelli and related species from the west coast of the USA: occurrence and domoic acid production. *Journal of Shellfish Research* 12: 457–465
- Vouilloud AA (2003) Catálogo de diatomeas continentales y marinas de Argentina. Versión 1.0. Asociación Argentina de Ficología, La Plata. 304 pp. Formato digital. ISBN 987-21041-0-7
- Ward P, Grant S, Brandon M, Siegel V, Sushin V, Loeb V, Griffiths H (2004) Mesozooplankton community structure in the Scotia Sea during the CCAMLR 2000 survey: January–February 2000. *Deep-Sea Res. II* 51: 1351–1367
- Whitworth T, Nowlin Jr WD, Orsi AH, Locarnini RA, Smith SG (1994) Weddell Sea Shelf Water in the Bransfield Strait and Weddell Scotia Confluence. *Deep-Sea Res.* 41: 629–641
- Whitworth T, Orsi AH, Kim SJ, Nowlin WD, Locarnini RA (1998) Water masses and mixing near the Antarctic Slope Front. In: Jacobs SS, Weiss RF (eds), *Ocean, Ice, and Atmosphere: Interactions at the Antarctic Continental Margin*. *Antarct. Res. Ser.* 75, AGU, Washington, D.C., pp 1–27
- Work TM, Barr B, Beale AM, Fritz L, Quilliam MA, Wright JLC (1993) Epidemiology of domoic acid poisoning in brown pelicans (*Pelecanus occidentalis*) and Brandt's cormorants (*Phalacrocorax penicillatus*) in California. *J Zoo Wildlife Medicine* 24: 54–62
- Wu Y, Peterson IK, Tang CCL, Platt T, Sathyendranathi S, Fuentes-Yaco C (2007) The impact of sea ice on the initiation of the spring bloom on the Newfoundland and Labrador Shelves. *J. Plankton Res.* 29: 509–514

ANEXOS

| Estación | Fecha | Latitud | Longitud |
|----------|------------|----------|----------|
| 1 | 07/02/2003 | 39°39.6 | 61°29.7 |
| 2 | 07/02/2003 | 40°20.49 | 61°37.26 |
| 3 | 07/02/2003 | 41°06.36 | 61°51.35 |
| 4 | 07/02/2003 | 41°38.79 | 62°15.76 |
| 5 | 07/02/2003 | 42°15.69 | 62°44.08 |
| 6 | 07/02/2003 | 42°51.39 | 63°11.14 |
| 7 | 07/02/2003 | 43°21.21 | 63°41.28 |
| 8 | 07/02/2003 | 43°54.13 | 64°16.69 |
| 9 | 08/02/2003 | 44°28.54 | 64°49.69 |
| 10 | 08/02/2003 | 45°05.42 | 65°08.11 |
| 11 | 08/02/2003 | 45°45.74 | 65°12.87 |
| 12 | 08/02/2003 | 46°25.76 | 65°17.52 |
| 13 | 08/02/2003 | 47°09.44 | 65°20.98 |
| 14 | 08/02/2003 | 47°42.83 | 65°19.77 |
| 15 | 08/02/2003 | 48°24.81 | 65°39.18 |
| 16 | 08/02/2003 | 49°01.39 | 66°04.43 |
| 17 | 09/02/2003 | 49°36.70 | 66°34.89 |
| 18 | 09/02/2003 | 50°12.96 | 67°05.52 |
| 19 | 09/02/2003 | 50°40.96 | 67°17.77 |
| 20 | 09/02/2003 | 51°19.43 | 67°17.33 |
| 20b | 09/02/2003 | 51°42.18 | 67°02.62 |
| 21 | 09/02/2003 | 51°53.53 | 66°55.19 |
| 22 | 09/02/2003 | 52°49.42 | 66°14.92 |
| 23 | 09/02/2003 | 53°13.00 | 66°55.24 |
| 24 | 09/02/2003 | 53°32.20 | 65°24.19 |
| 25 | 10/02/2003 | 54°26.47 | 64°59.41 |

Anexo 1a: Fecha de muestreo y coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo realizadas en el Mar Argentino durante la Transecta de verano, Campaña ARGAU 3.

| Estación | Fecha | Latitud | Longitud |
|----------|------------|----------|----------|
| 290 | 15/05/2003 | 52°19.56 | 67°59.53 |
| 291 | 16/05/2003 | 51°35.1 | 67°44.69 |
| 292 | 16/05/2003 | 50°51.1 | 67°26.6 |
| 293 | 16/05/2003 | 50°09.1 | 67°02.7 |
| 294 | 16/05/2003 | 49°32.22 | 66°31.45 |
| 295 | 16/05/2003 | 48°57.86 | 66°02.75 |
| 296 | 16/05/2003 | 48°18.67 | 65°34.88 |
| 297 | 16/05/2003 | 47°29.52 | 65°20.90 |
| 298 | 16/05/2003 | 46°20.56 | 65°16.85 |
| 299 | 17/05/2003 | 46°00.44 | 65°15.18 |
| 300 | 17/05/2003 | 45°18.54 | 65°11.09 |
| 301 | 17/05/2003 | 44°38.37 | 64°55.06 |
| 302 | 17/05/2003 | 43°59.72 | 64°22.89 |
| 303 | 17/05/2003 | 43°22.66 | 63°42.79 |
| 304 | 17/05/2003 | 42°44.66 | 63°07.01 |
| 305 | 17/05/2003 | 42°07.69 | 62°38.08 |
| 306 | 17/08/2003 | 41°34.07 | 62°13.27 |
| 307 | 18/05/2003 | 40°59.79 | 61°48.59 |
| 308 | 18/05/2003 | 40°34.38 | 61°41.86 |
| 309 | 19/05/2003 | 39°07.21 | 60°13.30 |
| 310 | 19/05/2003 | 38°59.85 | 59°20.63 |
| 311 | 19/05/2003 | 38°47.37 | 58°28.63 |
| 312 | 19/05/2003 | 38°29.73 | 57°43.56 |

Anexo 1b: Fecha de muestreo y coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo realizadas en el Mar Argentino durante la Transecta de otoño, Campaña ARGAU 3.

| Estación | Fecha | Latitud | Longitud |
|----------|------------|----------|----------|
| 7 | 09/10/2005 | 39°15.66 | 55°24.36 |
| 9 | 10/10/2005 | 41°17.88 | 56°25.32 |
| 21 | 12/10/2005 | 41°26.28 | 62°54.18 |
| 22 | 12/10/2005 | 41°21.18 | 63°22.02 |
| 33 | 15/10/2005 | 43°26.58 | 60°48.72 |
| 34 | 15/10/2005 | 43°34.14 | 60°19.02 |
| 35 | 15/10/2005 | 43°47.88 | 59°40.32 |
| 36 | 15/10/2005 | 43°45.3 | 59°17.46 |
| 39 | 17/10/2005 | 47°23.7 | 59°32.7 |
| 40 | 17/10/2005 | 47°25.62 | 60°06.12 |
| 43 | 17/10/2005 | 47°30.96 | 61°36.9 |

Anexo 1c: Fecha de muestreo y coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo realizadas en el Mar Argentino durante la Transecta de primavera, Campaña GEF Patagonia 1

| Estación | Fecha | Latitud | Longitud |
|----------|------------|----------|----------|
| 61 | 17/02/2003 | 60°52.09 | 43°34.39 |
| 62 | 17/02/2003 | 60°59.57 | 42°14.24 |
| 63 | 17/02/2003 | 60°58.05 | 40°40.80 |
| 64 | 18/02/2003 | 61°01.19 | 39°25.25 |
| 65 | 18/02/2003 | 60°59.72 | 38°01.28 |
| 66 | 18/02/2003 | 60°58.75 | 36°34.89 |
| 67 | 18/02/2003 | 60°59.92 | 35°10.06 |
| 68 | 18/02/2003 | 61°13.05 | 33°54.82 |
| 69 | 18/02/2003 | 61°30.56 | 32°39.53 |
| 70 | 18/02/2003 | 62°00.64 | 31.44.70 |
| 71 | 18/02/2003 | 62°32.40 | 30°51.19 |
| 72 | 19/02/2003 | 63°04.59 | 29°55.90 |
| 73 | 19/02/2003 | 63°35.86 | 28°57.71 |
| 74 | 19/02/2003 | 64°03.91 | 27°50.48 |
| 75 | 19/02/2003 | 64°24.40 | 27°07.03 |
| 76 | 19/02/2003 | 64°46.94 | 26°35.32 |
| 77 | 19/02/2003 | 65°07.54 | 26°01.76 |
| 78 | 19/02/2003 | 65°31.24 | 25°12.00 |
| 79 | 19/02/2003 | 66°04.06 | 24°01.75 |
| 80 | 20/02/2003 | 66°39.94 | 23°22.74 |
| 80b | 20/02/2003 | 67°02.30 | 23°03.69 |
| 81 | 20/02/2003 | 67°18.80 | 22°49.88 |
| 82 | 20/02/2003 | 67°57.40 | 22°09.16 |
| 83 | 20/02/2003 | 68°36.85 | 21°32.92 |
| 84 | 20/02/2003 | 69°09.08 | 20°48.11 |
| 85 | 20/02/2003 | 69°48.73 | 20°14.51 |
| 86 | 20/02/2003 | 70°30.20 | 20°18.97 |
| 87 | 20/02/2003 | 71°11.81 | 20°43.28 |
| 88 | 21/02/2003 | 71°52.45 | 21°09.62 |
| 89 | 21/02/2003 | 72°33.88 | 21°37.29 |
| 90 | 21/02/2003 | 73°16.02 | 22°24.32 |
| 91 | 21/02/2003 | 73°49.75 | 23°14.23 |
| 92 | 21/02/2003 | 73°49.30 | 24°17.39 |
| 93 | 21/02/2003 | 74°16.30 | 25°52.01 |
| 94 | 21/02/2003 | 74°55.80 | 26°43.01 |
| 95 | 21/02/2003 | 75°33.37 | 27°56.16 |
| 96 | 22/02/2003 | 76°02.70 | 29°55.11 |
| 97 | 22/02/2003 | 76°29.48 | 31°44.09 |
| 98 | 22/02/2003 | 76°55.46 | 33°17.99 |
| 99 | 22/02/2003 | 77°18.86 | 34°48.44 |
| 100 | 22/02/2003 | 77°41.70 | 35°20.11 |

Anexo 1d: Fecha de muestreo y coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo realizadas en el Mar de Weddell durante la Transecta de verano de 2003, Campaña ARGAU 3.

| Estación | Fecha | Latitud | Longitud |
|----------|------------|----------|----------|
| 1 | 30/01/2004 | 60°54.04 | 40°09.99 |
| 2 | 30/01/2004 | 60°51.13 | 38°51.61 |
| 3 | 30/01/2004 | 60°53.91 | 37°27.5 |
| 4 | 30/01/2004 | 60°55.3 | 36°05,06 |
| 5 | 30/01/2004 | 60°58.35 | 34°31 |
| 6 | 30/01/2004 | 61°01.85 | 33°02.38 |
| 7 | 30/01/2004 | 61°00.33 | 31°53.12 |
| 8 | 31/01/2004 | 60°59.88 | 30°04.79 |
| 9 | 31/01/2004 | 61°04.53 | 29°15.45 |
| 10 | 31/01/2004 | 61°29.91 | 28°13.99 |
| 11 | 31/01/2004 | 61°54.8 | 27°58.34 |
| 12 | 31/01/2004 | 62°29.36 | 27°19.74 |
| 13 | 31/01/2004 | 63°00.89 | 26°29.5 |
| 14 | 31/01/2004 | 63°20.11 | 26°12.67 |
| 15 | 31/01/2004 | 63°43.15 | 26°23.68 |
| 16 | 01/02/2004 | 64°10.85 | 26°09.13 |
| 17 | 01/02/2004 | 64°49.58 | 25°47.38 |
| 18 | 01/02/2004 | 65°33.42 | 25°22.47 |
| 19 | 01/02/2004 | 66°18.7 | 25°13.88 |
| 20 | 01/02/2004 | 67°06.26 | 25°22.79 |
| 21 | 01/02/2004 | 67°47.12 | 25°09.66 |
| 22 | 01/02/2004 | 68°33.31 | 25°23.19 |
| 23 | 01/02/2004 | 69°19.69 | 25°24.51 |
| 24 | 02/02/2004 | 70°05.32 | 25°38.26 |
| 25 | 02/02/2004 | 70°50.47 | 25°43.68 |
| 26 | 02/02/2004 | 71°36.89 | 25°49.03 |
| 27 | 02/02/2004 | 72°21.3 | 26°00.2 |
| 28 | 02/02/2004 | 73°03.10 | 25°58.63 |
| 29 | 02/02/2004 | 73°35.16 | 25°32.02 |
| 30 | 02/02/2004 | 74°05.44 | 25°58.56 |
| 31 | 02/02/2004 | 74°46.08 | 26°37.31 |
| 32 | 03/02/2004 | 75°20.09 | 27°48.57 |
| 33 | 03/02/2004 | 76°01.13 | 28°01.02 |
| 34 | 03/02/2004 | 76°27.34 | 30°07.6 |
| 35 | 03/02/2004 | 76°31.92 | 30°32.88 |
| 36 | 03/02/2004 | 76°38.2 | 31°10.87 |
| 37 | 03/02/2004 | 76°47.16 | 32°33.79 |
| 38 | 03/02/2004 | 77°15.74 | 34°00.6 |
| 39 | 06/02/2004 | 77°39.33 | 35°00.75 |

Anexo 1d: Fecha de muestreo y coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo realizadas en el Mar de Weddell durante la Transecta de verano de 2004, Campaña ARGAU 4.

Anexo 2: Lista de especies mencionadas en esta tesis.

Especie

Actinoptychus senarius (Ehrenberg) Ehrenberg
Amphora coffeaeformis (Agardh) Kützing
Asterionellopsis glacialis (Castracane) Round
Bacteriastrum delicatulum Cleve
Bacterosira bathyomphala (Cleve) Syvertsen & Hasle
Cerataulina pelagica (Cleve) Hendy
Ceratoneis closterium Ehrenberg
Chaetoceros bulbosus (Ehrenberg) Heiden
Chaetoceros cf. *costatus* Pavillard
Chaetoceros criophilus Castracane
Chaetoceros curvisetus Cleve
Chaetoceros debilis Cleve
Chaetoceros decipiens Cleve
Chaetoceros dichchaeta Ehrenberg
Chaetoceros neglectus Karsten
Coscinodiscus jonesianus (Greville) Ostenfeld
Dactyliosolen antarcticus castracane
Delphineis minutissima (Hustedt) Simonsen
Dictyocha speculum Ehrenberg
Ditylum brightwellii (West) Grunow
Emiliana huxleyi (Lohmann) Hay & Mohler
Eucampia antarctica (Castracane) Manguin
Fragilariopsis curta (V. H.) Hustedt
Fragilariopsis cylindrus (Grunow) Krieger
Fragilariopsis kerguelensis (O'Meara) Hustedt
Fragilariopsis pseudonana (Hasle) Hasle
Fragilariopsis rhombica (O'Meara) Hustedt
Fragilariopsis sublinearis (V. H.) Heiden & Kolbe
Guinardia delicatula (Cleve) Hasle
Guinardia striata (Stolterfoth) Hasle
Hyalodiscus radiatus (O'Meara) Grunow
Leptocylindrus minimus Gran
Meuniera membranacea (Cleve) Silva
Odontella sinensis (Greville) Grunow
Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve
Phaeocystis antarctica Karsten
Pseudo-nitzschia americana (Hasle) Fryxell
Pseudo-nitzschia australis Frenguelli
Pseudo-nitzschia brasiliana Lundholm, Hasle & Fryxell
Pseudo-nitzschia caciantha Lundholm, Moestrup & Hasle

Pseudo-nitzschia calliantha Lundholm, Moestrup & Hasle
Pseudo-nitzschia cuspidata (Hasle) Hasle emend. Lundholm, Moestrup & Hasle
Pseudo-nitzschia decipiens Lundholm et Moestrup
Pseudo-nitzschia delicatissima (Cleve) Heiden
Pseudo-nitzschia dolorosa Lundholm et Moestrup
Pseudo-nitzschia fraudulenta (Cleve) Hasle
Pseudo-nitzschia galaxiae Lundholm & Moestrup
Pseudo-nitzschia granii (Hasle) Hasle
Pseudo-nitzschia granii var. *curvata* (Hasle) Hasle
Pseudo-nitzschia heimii Manguin
Pseudo-nitzschia inflatula (Hasle) Hasle
Pseudo-nitzschia linea Lundholm, Hasle & Fryxell
Pseudo-nitzschia lineola (Cleve) Hasle
Pseudo-nitzschia micropora Priisholm & Moestrup
Pseudo-nitzschia multiseriata (Hasle) Hasle
Pseudo-nitzschia multistriata (Takano) Takano
Pseudo-nitzschia obtusa (Hasle) Hasle & Lundholm
Pseudo-nitzschia prolongatoides (Hasle) Hasle
Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima (Hasle) Hasle emend. Lundholm, Hasle & Moestrup
Pseudo-nitzschia pungens (Grunow ex Cleve) Hasle
Pseudo-nitzschia pungens (Grunow ex Cleve) Hasle
Pseudo-nitzschia pungiformis (Hasle) Hasle
Pseudo-nitzschia roundii Hernández-Becerril
Pseudo-nitzschia seriata (Cleve) H. Peragallo
Pseudo-nitzschia sinica Qi & Wang
Pseudo-nitzschia subcurvata (Hasle) Fryxell
Pseudo-nitzschia subfraudulenta (Hasle) Hasle
Pseudo-nitzschia subpacifica (Hasle) Hasle
Pseudo-nitzschia turgidula (Hustedt) Hasle
Pseudo-nitzschia turgiduloides (Hasle) Hasle
Raphoneis amphiceros (Ehrenberg) Ehrenberg
Rhizosolenia antennata f. *semispina* Sundström
Rhizosolenia pungens Cleve-Euler
Thalassionema nitzschioides Grunow ex Mereschkowsky
Thalassiosira anguste-lineata (A. Schmidt) Fryxell & Hasle
Thalassiosira cf. *tenera* Proschkiana-Lavrenko
Thalassiosira gracilis (Karsten) Hustedt
Thalassiosira gravida Cleve
Thalassiosira mala Takano

Anexo 3: Artículos derivados de esta tesis.

Almandoz G, Ferrario M, Ferreyra G, Schloss I, Esteves J, Paparazzo F (2007) The genus *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) in continental shelf waters of Argentina (Southwestern Atlantic Ocean, 38-55°S). *Harmful Algae* 6: 93–103

Almandoz G, Ferreyra G, Schloss I, Dogliotti A, Rupolo V, Paparazzo F, Esteves J, Ferrario M (2008) Distribution and ecology of *Pseudo-nitzschia* species in the Weddell Sea (Antarctica). *Polar Biology* 31: 429–442