

## Estructura y dinámica del fitoplancton estival de un lago antártico (Península Potter, Shetland del Sur)

FERNANDO UNREIN

Depto. Cs. Biológicas, Facultad de Cs. Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, ARGENTINA

**RESUMEN.** Se estudió la estructura y dinámica del fitoplancton estival de un lago antártico marítimo de Península Potter (SEIC N°13, Shetland del Sur). Se analizaron las fluctuaciones de las principales variables físico-químicas y del fitoplancton entre el 1 enero 1996 y el 13 febrero 1996, dando especial énfasis al efecto del descongelamiento sobre la composición de esta comunidad. Al comienzo del estudio el lago se hallaba aun parcialmente congelado; durante el proceso de deshielo tanto los parámetros abióticos como bióticos presentaron notables cambios. Junto con el aumento de la temperatura se observó un incremento en el pH, la conductividad y en la densidad y biomasa fitoplanctónica. La concentración de clorofila-a presentó valores típicos de lagos oligomesotróficos. La concentración de PRS (fósforo reactivo soluble) siempre fue inferior a 4 µg/L, mientras que el PT (fósforo total) osciló alrededor de 16 µg/L. Los dos grupos de algas mejor representados en términos de abundancia, de biomasa y de riqueza fueron las Chlorophyta y las Bacillariophyceae. El fitoplancton estuvo dominado claramente por *Pseudodictyosphaerium jurisii* (Hind.) Hind. (Chlorococcales). Como consecuencia de su elevada densidad, hacia fines del estudio se observó un brusco descenso de la equitatividad y la diversidad específica. Otras especies de Chlorophyta típicamente planctónicas también estuvieron presentes aunque en menor densidad. Las Bacillariophyceae, en su mayoría representadas por especies ticolanctónicas, fueron subdominantes, especialmente durante la última fase de descongelamiento. Esto se vio reflejado en un aumento de la riqueza y diversidad específicas y una disminución del índice de similitud (*SIMI*) aplicado a pares de muestras consecutivas en el tiempo.

**ABSTRACT. Summer phytoplankton structure and dynamics in an Antarctic lake (Potter Peninsula, South Shetland Islands):** The structure and dynamics of the phytoplankton community of a lake from Potter Peninsula (SSSI N° 13, South Shetland Islands) were analyzed during the 1995-1996 summer together with the main limnological features of this system. The surface of the water body was partially covered by ice (60%) at the beginning of the study. Important changes in the abiotic parameters and in the phytoplankton composition were observed during the melting process. Temperature, pH, conductivity and phytoplankton density and biomass increased during the ice-free period. Chlorophyll-a values were typical of oligo-mesotrophic lakes. SRP (soluble reactive phosphorus) values were always lower than 4 µg/L, while TP (total phosphorus) concentration fluctuated around 16 µg/L. Chlorophyta and Bacillariophyceae were the dominant groups in terms of density, biomass and species richness. *Pseudodictyosphaerium jurisii* (Hind.) Hind. (Chlorococcal) was the dominant species. A decrease in species equitability and diversity was observed as a consequence of the high density achieved by this species during the end of February. Other planktonic taxa of Chlorophyta were also present in low number. Bacillariophyceae, mainly represented by tycho planktonic species, showed a small peak just at the final phase of ice thawing. Thus, an increase in species richness and diversity and a decrease in the similarity index (*SIMI*) applied to consecutive samples were observed during this period.

### INTRODUCCIÓN

La zona conocida como Antártida Marítima abarca la Península Antártica y las islas asociadas que se extienden en un arco entre las

latitudes 60°40' y 73°25'S, y entre las longitudes 72°00' y 44°30'W. Al oeste de la Península Antártica se encuentra uno de los archipiélagos más importantes de la zona (Shetland del Sur), compuesto por una decena de islas. En el extremo sudoeste de la isla 25 de Mayo (King George Island) se ubica la Península Potter

✉ Depto Cs. Biológicas; Fac. de Cs. Exactas y Nat., Univ. de Buenos Aires; C. Universitaria - Pab. II; C1428EHA Buenos Aires; ARGENTINA. fer@bg.fcen.uba.ar

Recibido: 15 agosto 2000; Aceptado: 13 enero 2001

(62°14'S; 58°38'W) la que, debido a su riqueza y diversidad de ambientes (Drago 1983) y a la presencia de una importante densidad y diversidad de aves y mamíferos marinos, fue denominada por el Scientific Comitee for Antarctic Research como un Sitio de Especial Interés Científico (SEIC N° 13).

Los primeros estudios limnológicos llevados a cabo en la zona de las Shetland del Sur se centraron fundamentalmente en la isla 25 de Mayo, donde se encuentran la mayor cantidad de bases científicas. El lago Kitish, ubicado en las cercanías de la base chilena Teniente Marsh, fue uno de los cuerpos de agua más estudiados debido a que es utilizado como fuente de agua potable para los habitantes de dicha base (Contreras et al. 1991; Montecino et al. 1991). Investigaciones posteriores llevadas a cabo por Hansson & Håkansson (1992), Temniskova-Topalova et al. (1996), van de Vijver & Beyens (1997), Kawecka et al. (1998), Mrozinska et al. (1998) y Komárek (1999) en el mismo archipiélago estuvieron enfocadas principalmente hacia la taxonomía y ecología de las algas, especialmente de diatomeas.

En particular, en Península Potter los primeros trabajos se concentraron en la taxonomía, morfología y ecología del zooplancton (Paggi 1983, 1987, 1996) y en las características morfométricas de los cuerpos de agua lénticos (Drago 1983). Más recientemente se abordaron estudios que tratan acerca de la ecología y taxonomía de los productores primarios de los lagos y lagunas de Península Potter. Unrein & Vinocur (1999) analizaron la estructura y dinámica del fitoplancton de uno de estos lagos caracterizado por una moderada concentración de nutrientes y una elevada turbidez de origen inorgánico que limita el desarrollo del fitoplancton. Posteriormente, Vinocur & Unrein (2000) realizaron la primera tipificación de 26 cuerpos de agua lénticos en base a sus características físico-químicas y a su composición fitoplanctónica, clasificándose a los mismos en cinco grupos distribuidos a lo largo de un amplio gradiente trófico. Por otro lado, Vinocur & Pizarro (2000) estudiaron la comunidad algal epilítica en los mismos 26 cuerpos de agua y realizaron una caracterización de los ambientes en base a esta comunidad.

Una de las características más sobresalientes de los lagos antárticos es el extenso período

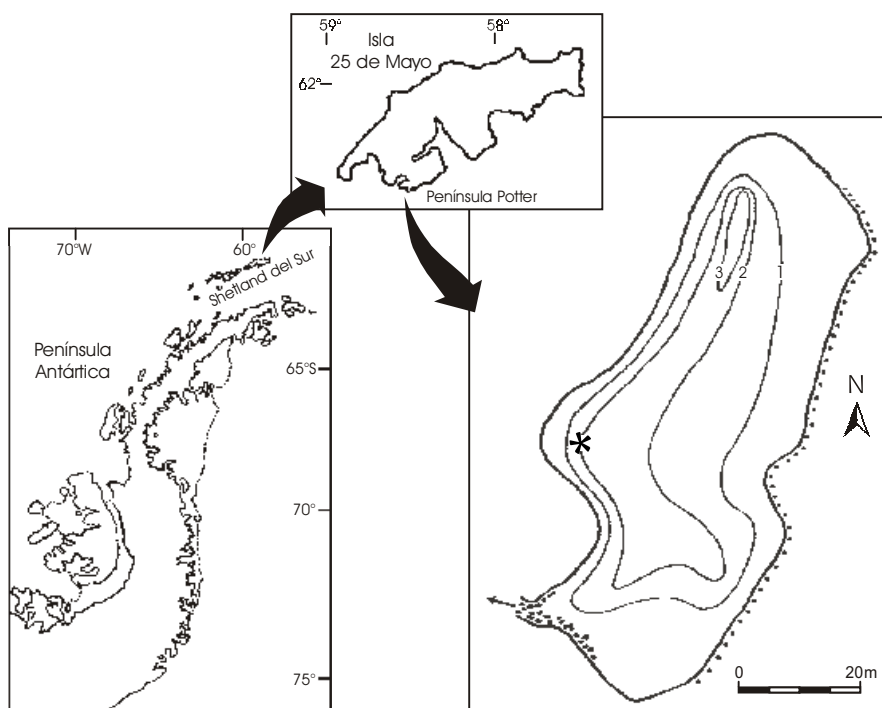
(8–10 meses) durante el cual permanecen cubiertos por hielo. Los cortos períodos de aguas libres se hallan restringidos al verano, siendo los procesos de congelamiento y descongelamiento de la superficie del cuerpo de agua los principales factores que regulan los cambios en las poblaciones fitoplanctónicas (Light et al. 1981; Hawes 1983; Ellis-Evans 1996; Izaguirre et al. 1998). La cobertura de hielo no solo limita la penetración de la luz sino que además determina los períodos de mezcla, generalmente restringidos a la época estival.

El lago estudiado en el presente trabajo (lago Z) fue uno de los 26 cuerpos de agua incluidos en la tipificación realizada por Vinocur & Unrein (2000) quienes lo caracterizaron como oligotrófico, junto a otros 17 cuerpos de agua de la península. A comienzos del estudio el lago se hallaba aún parcialmente congelado lo que permitió analizar el efecto del deshielo sobre los cambios que experimenta la comunidad fitoplanctónica a lo largo del verano y su relación con las principales variables físico-químicas.

## SITIO DE ESTUDIO

El cuerpo de agua estudiado se encuentra en las inmediaciones de la Base Científica Jubany (Argentina), emplazada en la Península Potter (Figura 1), la cual limita al norte con la caleta homónima, al sur y al oeste con el Mar de la Flota, y al este con un glaciar que cubre la isla en forma permanente. Esta península se halla libre de hielo durante el verano aunque son comunes los lóbulos de hielo y los bancos aislados de nieve (Drago 1983).

Los suelos de la península se originaron fundamentalmente a partir de rocas sedimentarias, metamórficas y basálticas. En particular, el lago estudiado se haya rodeado por depósitos morénicos (Godagnone 1997). Las inmediaciones del lago se encuentran escasamente colonizadas por diversas especies de líquenes y musgos (Vinocur & Unrein 2000) que no llegan a cubrir más de un 15% de su cuenca (Drago 1983). En comparación con otros lagos y lagunas aledañas, este cuerpo de agua posee una muy baja cobertura vegetal (Vinocur & Unrein 2000). Es importante destacar este aspecto, ya que la presencia de una densa cobertura de musgos tanto en la cuenca como en el lecho de la cubeta del lago generalmente



**Figura 1.** Ubicación del cuerpo de agua estudiado. El mapa batimétrico fue obtenido de Drago (1983). El asterisco indica el sitio de muestreo.

**Figure 1.** Map showing the location of the lake. Bathymetric map of the lake redrawn from Drago (1983). The asterisk shows the sampling site.

se halla asociado a una composición fitoplanctónica y epilítica distinta de la de aquellos no influenciados por la vegetación circundante (Ellis-Evans 1996; Vinocur & Unrein 2000). En particular, Vinocur & Pizarro (2000) observaron que en aquellos cuerpos de agua de Península Potter densamente colonizados por musgos el epilíton presenta una alta cobertura de algas filamentosas (*Zygnema* sp., *Spirogyra* sp.).

Este cuerpo de agua es el primero de una serie de lagos y lagunas encadenadas, siendo sus principales aportes de agua la nieve y una calota de hielo que abarca la margen oeste durante todo el verano y que nunca llega a descongelarse completamente. Posee un único efluente en el extremo sudoeste. Tanto su ubicación en una pequeña depresión, como su posición respecto a la dirección de los vientos este-oeste predominantes en esta zona (Servicio Meteorológico de la Fuerza Aérea Argentina, com. pers.) le confieren un considerable reparo contra la acción eólica.

Los principales datos morfométricos (Tabla 1, Figura 1) fueron obtenidos de la caracterización realizada por Drago (1983). En la Tabla 1

también se incluyen datos más recientes (RA del Valle, RA Vallverdú, JC Lusky & D Gomez Izquierdo, Instituto Antártico Argentino (Buenos Aires), com. pers.). La gran similitud entre ambos registros nos indica que la morfometría de este cuerpo de agua prácticamente no presentó cambios a lo largo de los últimos 20 años.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se fijó un sitio de muestreo en el lugar de máxima profundidad sobre la margen oeste del lago. Las muestras se tomaron entre el 1 enero 1996 y el 13 febrero 1996 con una frecuencia de entre 3 y 14 días.

En cada ocasión se midieron *in situ* la temperatura, el pH y la conductividad (con sensores de campo Hanna). Se tomaron muestras para medir oxígeno disuelto por el método de Winkler (APHA 1975) y el porcentaje de saturación se calculó utilizando tablas de conversión. Además, se colectaron muestras subsuperficiales de agua para análisis químicos, las cuales se filtraron a través de filtros Watman GF/F. El agua filtrada se utilizó para

**Tabla 1.** Variables morfométricas del lago estudiado. \*: datos de Drago (1983); \*\*: datos de RA del Valle, RA Vallverdú, JC Lusky & D Gomez Izquierdo (Instituto Antártico Argentino (Buenos Aires), com. pers.).

**Table 1.** Main morphometric features of the lake. \*: data from Drago (1983); \*\*: data from RA del Valle, RA Vallverdú, JC Lusky & D Gomez Izquierdo (Instituto Antártico Argentino (Buenos Aires), pers. com.).

Variable	Año	
	1978*	1999**
Altura (m.s.n.m.)	20	
Distancia al mar (m)	250	
Área (m <sup>2</sup> )	3890	3720
Volumen (m <sup>3</sup> )	4590	
Prof. máxima (m)	3.30	
Prof. media (m)	1.18	
Longitud (m)	122	128
Ancho (m)	45	39
Perímetro (m)	295	356
Desarrollo de línea de costa	1.33	1.65

estimar las concentraciones de fósforo reactivo soluble (PRS) por el método de cloruro estañoso (APHA 1975), N-NH<sub>4</sub> por la reacción de azul de bromotimol (APHA 1975) y N-(NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>) siguiendo el método del cadmio esponjoso (Mackereth et al. 1978). Se definió al nitrógeno inorgánico disuelto (NID) como la suma del N-NH<sub>4</sub> + N-(NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>). La concentración de fósforo total (PT) se calculó a partir de muestras no filtradas, luego de una digestión ácida (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), utilizando el mismo método empleado para PRS. La concentración de sólidos suspendidos se obtuvo a partir de muestras filtradas por filtros Watman GF/C (previamente secados y pesados). El peso seco se calculó siguiendo el método descrito en APHA (1975). La cobertura de hielo de la superficie del lago se estimó mediante observaciones de campo y fotografías.

Para calcular la concentración de clorofila-a se filtró el agua a través de un filtro Watman GF/F, y se almacenó en freezer a -20 °C. La extracción de clorofila-a se realizó con etanol caliente (65-70 °C). Se mantuvieron las muestras en frío (4 °C) y oscuridad durante 24 h para maximizar la extracción. La concentración de clorofila-a (corregida por feopigmentos) se midió con un espectrofotómetro antes y después de la acidificación con HCl (1 N). Los cálculos se realizaron utilizando las ecuaciones propuestas por Marker et al. (1980).

Para el análisis cualitativo del fitoplancton se colectaron muestras concentradas con red de 15 µm y se observaron *in vivo* en la Base Jubany. Para la clasificación taxonómica se siguió el criterio propuesto por van den Hoek et al. (1995). El análisis cuantitativo del fitoplancton se llevó a cabo a partir de muestras recolectadas con frascos de PVC de 250 mL y fijadas con Lugol 1% para su posterior recuento. Las densidades fitoplanctónicas se estimaron dejando sedimentar dos cámaras de sedimentación por cada muestra al menos 24 h y realizando los recuentos mediante el método del microscopio invertido (Utermöhl 1958). Se toleró como máximo un 20% de error en la estimación de la abundancia de la especie dominante (Venrick 1978). La diversidad específica se calculó siguiendo la fórmula de Shannon & Weaver (1949), y se calcularon la riqueza y equitatividad específicas (Pielou 1969). Los biovolúmenes algales se estimaron utilizando aproximaciones a figuras geométricas simples. Se tomaron en cuenta para este cálculo solo aquellas especies que al menos

**Tabla 2.** Valores medios, máximos (Máx.) y mínimos (Mín.) de las principales variables abióticas y bióticas medidas en el lago durante el período estudiado. n.d.: no detectable.

**Table 2.** Mean, maximum (Máx.) and minimum (Mín.) values of the main abiotic and biotic features of the lake during the study period. n.d.: non detectable.

	$\bar{x}$	Máx.	Mín.
Temperatura (°C)	3.9	6.8	2.0
pH	7.5	7.89	7.05
Conductividad (µS/cm)	132	160	109
OD (ppm)	12.3	13.3	11.5
OD (%)	115	105	127
PRS (µg/L)	1	4	n.d.
P total (µg/L)	16	30	n.d.
N-NO <sub>3</sub> (µg/L)	38	215	n.d.
N-NH <sub>4</sub> (µg/L)	27	69	n.d.
NID (µg/L)	63	257	n.d.
Clorofila-a (µg/L)	2.41	5.60	0.23
Densidad total (ind/mL)	9564	53392	742
Cyanophyta (ind/mL)	5	12	0
Chlorophyta (ind/mL)	8936	51194	477
Bacillariophyceae (ind/mL)	617	2198	185
Chrysophyceae (ind/mL)	6	25	0
Biovolumen total (mm <sup>3</sup> /L)	0.57	3.06	0.05
Riqueza específica	12	18	9
Diversidad específica	1.03	2.10	0.36
Equitatividad específica	0.40	0.74	0.16

una vez presentaron una densidad mayor a un 5% respecto del total de esa muestra.

Para analizar cambios en la sucesión temporal de la comunidad fitoplanctónica se utilizó el Índice de Similitud de Stander (SIMI; Elber & Schanz 1989) entre pares de muestras de fechas sucesivas, y entre la primera y la última muestra. Este índice se calculó como:

$$SIMI = \sum_{i=1}^s \left[ a_i \cdot b_i \left( \sum_{i=1}^s a_i^2 \cdot \sum_{i=1}^s b_i^2 \right)^{-1/2} \right],$$

donde  $a_i$  es el número de individuos de la especie  $i$  sobre el total de individuos de la muestra  $A$ ;  $b_i$  es el número de individuos de la especie  $i$  sobre el total de individuos de la muestra  $B$ ;  $s$  es el total de especies de ambas muestras. Este índice compara la composición de dos comunidades y varía entre 0 (no similares) y 1 (idénticas). Los taxones más abundantes aportan el mayor peso al índice. En el presente trabajo se utilizó este índice para describir la sucesión temporal del fitoplancton aplicándose tanto a las estimaciones de densidad como a las de biomasa (biovolúmenes). Según Elber & Schanz (1989) si dos comunidades son similares se podría considerar que es un período estable, tomando al valor 0.6 como límite de estabilidad.

## RESULTADOS

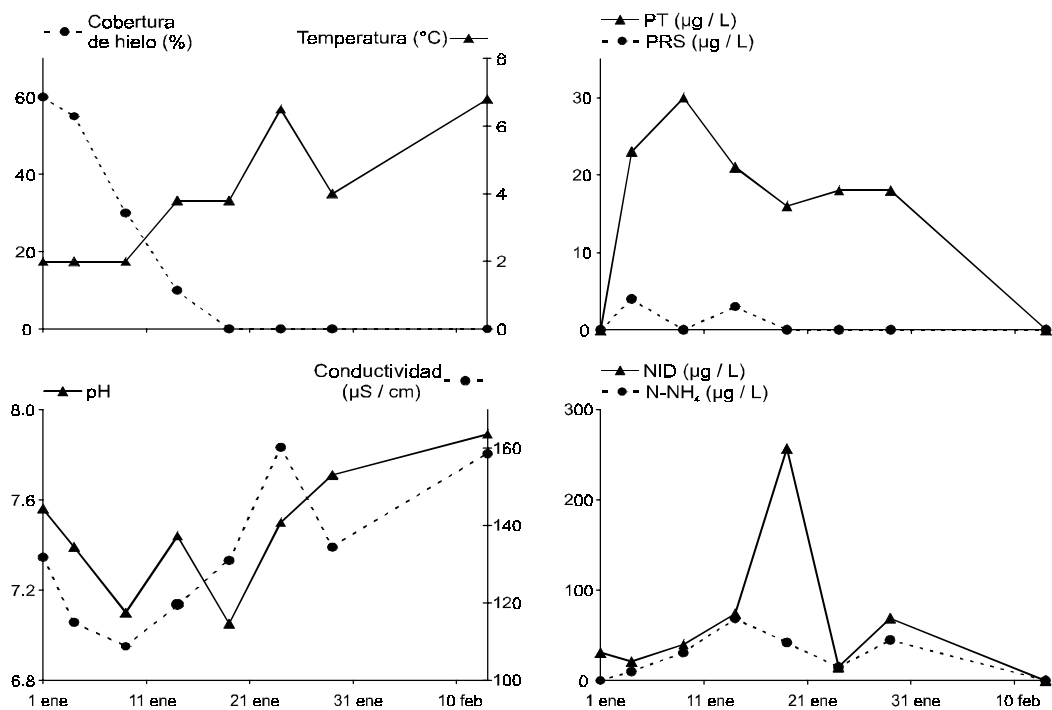
En la Tabla 2 y Figura 2 se presentan los resultados de las principales variables físico-químicas del lago a lo largo de todo el período estudiado. La superficie, que en los primeros muestreos se encontraba congelada aproximadamente en un 60%, sufrió un marcado descongelamiento, llegándose a encontrar totalmente libre de hielo 20 días después. La temperatura permaneció constante durante los primeros días del estudio con valores alrededor de los 2 °C, mientras que al avanzar el descongelamiento aumentó hasta valores cercanos a los 7 °C. El oxígeno disuelto presentó pequeñas fluctuaciones, aunque siempre se encontró en concentraciones superiores al nivel de saturación. El pH fue siempre >7 alcanzando su valor más alto hacia el final del estudio. Un patrón similar se observó para la conductividad, cuyos valores rondaron los 130  $\mu$ S/cm, con un máximo 160  $\mu$ S/cm hacia mediados de febrero.

**Tabla 3.** Lista de taxones hallados en el lago a lo largo de todo el período estudiado. Las variedades y especies en negrita corresponden a aquellos taxones que presentaron las densidades más altas. P: planctónico; T: ticoplanctónico.

**Table 3.** Floristic composition of the phytoplankton community. The most abundant taxa are shown in bold letters. P: planktonic; T: tychoplanktonic.

Taxón	Hábito
<b>Cyanobacteria</b>	
<b>Cyanophyceae</b>	
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> W. et G. S. West	P
<i>Leptolyngbya fragilis</i> (Gom.) Anag. et Kom.	T
<i>Leptolyngbya frigida</i> (Fritsch) Anag. et Kom.	T
<b>Chlorophyta</b>	
<b>Chlorophyceae</b>	
<i>Chlamydomonas nivalis</i> (Bauer) Wille	T
<b><i>Chlamydomonas</i> sp. 1</b>	P
<i>Chlamydomonas</i> sp. 2	P
<i>Chlamydomonas</i> sp. 3	P
<i>Chlamydomonium</i> cf. <i>starrii</i> (Fott) Ettl et Gärtner	T
<b><i>Closteriopsis acicularis</i> (G. M. Smith) Belcher et Swale</b>	P
<b><i>Monoraphidium contortum</i> (Thur.) Kom.-Legn.</b>	P
<i>Oonephris</i> sp.	P
<b><i>Pseudodictyosphaerium jurisii</i> (Hind.) Hind.</b>	P
<b>Klebsormidiophyceae</b>	
<i>Raphidonema nivale</i> Lagerh.	P
<b><i>Stichococcus minutissimus</i> Skuja</b>	P
<b>Heterokontophyta</b>	
<b>Bacillariophyceae</b>	
<b><i>Achnanthes biasoletiana</i> Grun.</b>	T
<i>Achnanthes delicatula</i> (Kütz.) Grun.	T
<b><i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. <i>lanceolata</i> var. <i>haynaldii</i> (Schaar.) Cl.</b>	T
<i>Achnanthes subatomoides</i> (Hust.) L.-Bert et Archibald	T
<i>Amphora</i> cf. <i>dusenii</i> Brun.	T
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz.	P
<i>Eumotia</i> sp.	
<i>Gomphonema clavatum</i> Ehr.	T
<b><i>Navicula capitata</i> var. <i>hungarica</i> (Grun.) Ross</b>	T
<i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.	T
<i>Navicula halophila</i> (Grun.) Cleve	T
<i>Nitzschia capitellata</i> Hust.	T
<b><i>Nitzschia inconspicua</i> Grun.</b>	T
<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) W. Smith	T
<i>Nitzschia</i> sp. 1	
<i>Pinnularia krookii</i> (Grun.) Cl.	T
<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehr.) Cl.	T
<i>Pinnularia</i> sp. 1	
<i>Stauroneis anceps</i> Ehr.	T
<b>Chrysophyceae</b>	
<i>Hydrurus foetidus</i> (Vill.) Trev.	T
<i>Phaeogloea mucosa</i> Chodat.	T

El PRS generalmente se encontró dentro de los límites de detección del método empleado para su valorización (<4  $\mu$ g/L), mientras que



**Figura 2.** Variaciones temporales de temperatura, porcentaje de superficie congelada del lago, pH, conductividad, fósforo reactivo soluble (PRS), fósforo total (PT),  $N-NH_4$  y nitrógeno inorgánico disuelto (NID).

**Figure 2.** Temporal changes of temperature, percentage of ice-cover, pH, conductivity, soluble reactive phosphorus (PRS), total phosphorus (PT),  $N-NH_4$  and dissolved inorganic nitrogen (NID).

el PT fluctuó alrededor de  $16 \mu g/L$  alcanzando los valores máximos durante la última fase del deshielo. El NID siempre permaneció por debajo de los  $75 \mu g/L$  con excepción del 19 de enero donde, debido a un pico de  $N-NO_3 + NO_2$ , alcanzó los  $257 \mu g/L$ . El NID estuvo compuesto por nitratos y amonio en proporciones aproximadamente iguales.

La concentración de sólidos en suspensión se midió en tres ocasiones a lo largo del estudio, registrándose siempre valores bajos, aunque hacia el final se midieron concentraciones sensiblemente superiores (desde  $0.9$  a  $5 \text{ mg/L}$ ).

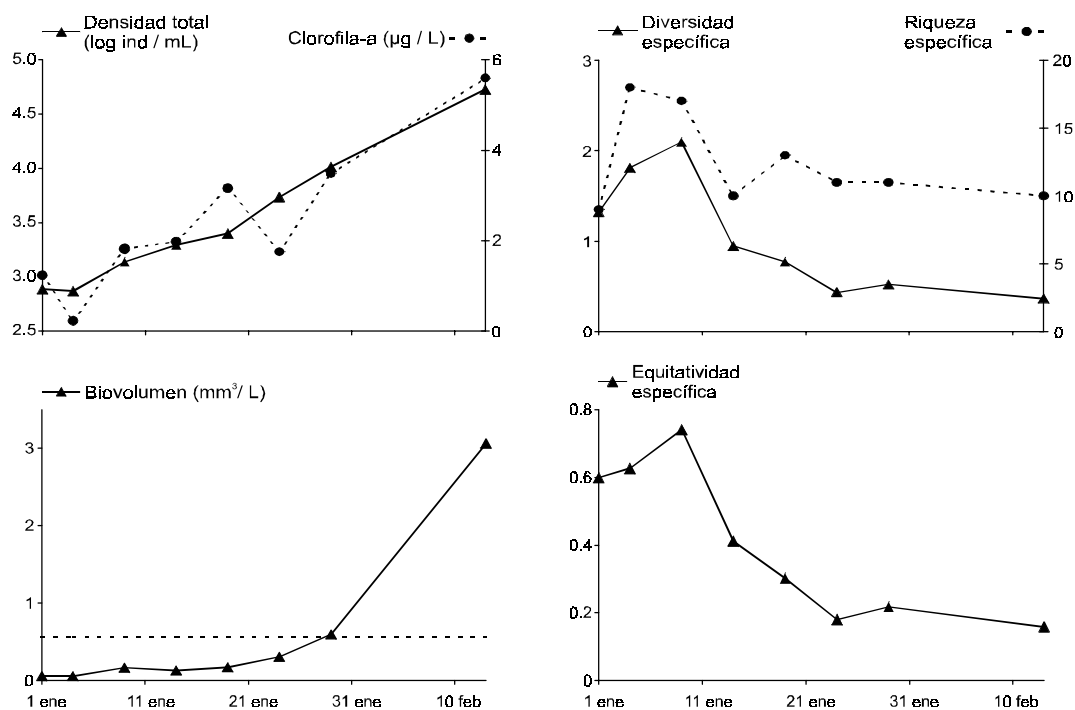
Se identificaron un total de 35 taxones algales específicos e infraespecíficos a lo largo de todo el período estudiado (Tabla 3). El grupo mejor representado fue el de las Bacillariophyceae (19 taxones) seguida por las Chlorophyta (11) y en menor medida las Cyanobacteria (3) y Chrysophyceae (2).

La mayoría de los taxones encontrados fueron de origen epilítico (ticoplancton) (21), en

particular gran parte de las diatomeas fueron especies y variedades de *Achnanthes* Bory de St. Vincent, *Navicula* Bory de St. Vincent, *Nitzschia* Hass. y *Pinnularia* Ehr. El resto correspondió a especies de hábito netamente planctónico (11), destacándose especialmente las Chlorophyta: *Pseudodictyosphaerium jurisii* (Hind.) Hind., *Chlamydomonas* sp. 1, *Closteriopsis acicularis* (G. M. Smith) Belcher et Swale y *Monoraphidium contortum* (Thur.) Kom.-Legn. que dominaron el fitoplancton del lago (Tabla 3).

Si bien se observan algunas diferencias entre la densidad fitoplanctónica, la concentración de clorofila-a y la biomasa estimada como biovolúmenes algales, las tres variables mostraron un patrón similar (Figura 3). A lo largo de la sucesión estival se distingue un pico tanto de densidad como de biomasa fitoplanctónica hacia mediados de febrero.

Respecto a los grupos algales, las Chlorophyta siempre fueron las mejor representadas tanto en términos de densidad como de biomasa, seguida por las Bacillariophyceae, con excep-



**Figura 3.** Variaciones temporales de clorofila-a, densidad, biovolumen, riqueza, diversidad y equitatividad fitoplanctónicas.

**Figure 3.** Temporal changes of chlorophyll-a, density, biovolume, species richness, diversity and equitability.

ción del día 9 de enero, donde esta tendencia se invirtió (Figura 4 y Tabla 2). Las Chrysophyceae y Cyanobacteria, también presentes en las primeras muestras, nunca superaron el 2.6% de la densidad fitoplanctónica total.

La riqueza específica alcanzó un máximo de 18 taxones en el segundo muestreo, manteniéndose luego relativamente constante con un promedio de 12 taxones por muestra durante el resto del período estudiado (Figura 3 y Tabla 2). Por otro lado, la diversidad y la equitatividad, que presentaron similares fluctuaciones, también mostraron un pico la primera semana de enero y hacia fines del muestreo disminuyeron abruptamente (Figura 3).

El fitoplancton presentó una sucesión de especies a lo largo de los dos meses estudiados (Figura 5). *P. jurisii* fue netamente dominante en densidad a lo largo de todo el estudio mostrando un crecimiento exponencial a partir de la segunda semana de enero; sin embargo, considerando su biomasa, esta dominancia fue

menos marcada durante la primera semana, cuando la biomasa fitoplanctónica estuvo dominada por pequeñas diatomeas (*Achnanthes delicatula* (Kütz.) Grun. y *A. lanceolata* ssp. *lanceolata* var. *haynaldii* (Schaar.) Cl.). Al mismo tiempo se observó una importante sucesión de las especies subdominantes (Figura 5). El pico de diatomeas fitoplanctónicas fue sucedido por *Nitzschia inconspicua* Grun., luego por *Chlamydomonas* sp. 1, *Stichococcus minutissimus* Skuja y finalmente por un pico de *N. inconspicua* junto a *Closteriopsis acicularis* y *Monoraphidium contortum*.

En la Tabla 4 se observan las variaciones del índice de similitud (SIMI) aplicado entre fechas consecutivas y entre la primera y la última fecha de muestreo. En general la composición de la comunidad fitoplanctónica permaneció estable excepto entre el 4 y el 14 de enero cuando se registraron los valores más bajos, especialmente según la biomasa. Los valores de similitud entre la primera y la última fecha fueron elevados (>0.8).

## DISCUSIÓN

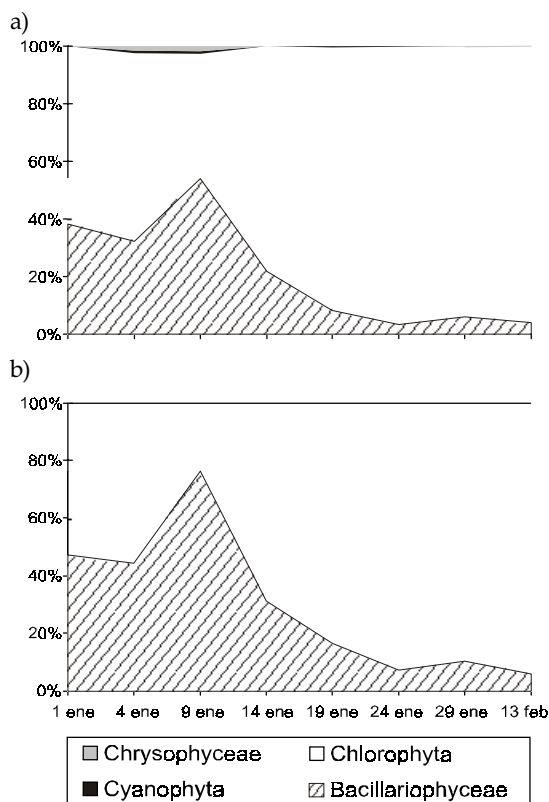
La mayoría de los lagos de Península Potter se encuentran descongelados desde fines de diciembre. En el lago que es objeto de este estudio, la permanencia del hielo hasta ya comenzado el verano tal vez se deba a su menor exposición al viento. Como consecuencia de este descongelamiento tardío las aguas presentaron bajas temperaturas hasta mediados de enero, llegando a 7 °C una vez completado el deshielo, hacia fines de enero. Tanto las variables físico-químicas medidas como la composición de la comunidad fitoplanctónica presentaron marcadas fluctuaciones debidas al proceso de descongelamiento de la superficie del lago.

El aumento de la conductividad también estuvo relacionado con este hecho. Al comienzo del verano, cuando la mayor parte del suelo se halla cubierto por hielo, el aporte de agua de deshielo pobre en sales suele ejercer un efecto de dilución. Al avanzar el verano, cuando la superficie del cuerpo de agua y gran parte de la cuenca se hallan libres de hielo, se produce el efecto contrario, con un aumento de la conductividad debido a que los chorrillos acarrear una mayor proporción de sedimentos y sales de los suelos. Esto también fue registrado para otros lagos antárticos (Hawes 1983; Mataloni et al. 1998; Unrein & Vinocur 1999). Si bien en el lago estudiado estas variaciones no fueron grandes, se observó tanto un aumento de la conductividad como de los sólidos en suspensión hacia fines del estudio.

**Tabla 4.** Índice de similitud (*SIMI*) entre fechas de muestreo calculado para la densidad y para el biovolumen fitoplanctónico.

**Table 4.** *SIMI*-index values between sampling dates for the phytoplankton density and biovolume.

Periodo	Biovolumen (mm <sup>3</sup> /L)	Densidad (ind/mL)
1 enero–4 enero	0.93	0.98
4 enero–9 enero	0.54	0.92
9 enero–14 enero	0.41	0.89
14 enero–19 enero	0.97	0.99
19 enero–24 enero	0.98	1
24 enero–29 enero	1	1
29 enero–13 febrero	1	1
1 enero–13 febrero	0.82	0.91



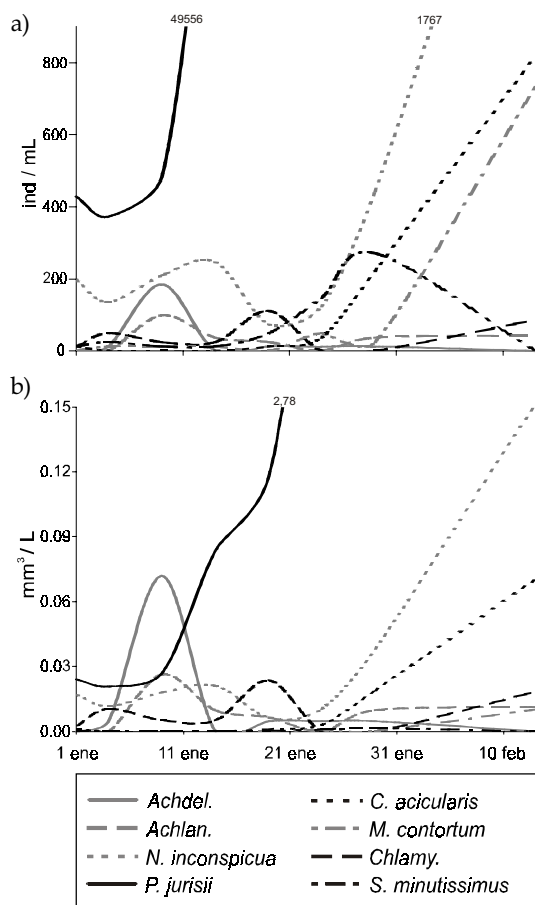
**Figura 4.** Variación temporal del fitoplancton del lago expresado como porcentaje de a) la densidad y b) el biovolumen para los distintos grupos algales.

**Figure 4.** Temporal changes of the phytoplankton from the lake, expressed as a) density and b) biovolume per algal group.

En contraste con otros cuerpos de agua de la Antártida Marítima donde las aguas son neutras o levemente ácidas, tales como los de la Isla Signy (Heywood 1978) y los de Bahía Esperanza (Izaguirre et al. 1998), en este lago, así como en otros de Península Potter (Unrein & Vinocur 1999; Vinocur & Unrein 2000), el pH siempre fue superior a 7. Registros similares se efectuaron en lagos próximos a la base polaca Arctowski (Kawecka et al. 1998) ubicada en la misma isla. Vinocur & Unrein (2000) atribuyen este hecho a la composición de suelos alcalinos predominantes en esta zona (Godagnone 1997).

Por otro lado, hacia mediados de febrero se observó un marcado incremento del pH conjuntamente con los registros más elevados de biomasa fitoplanctónica. Es probable que el aumento de la actividad fotosintética haya sido el responsable de este incremento. Pose





**Figura 5.** Sucesión estival del fitoplancton del lago, expresado como a) densidad y b) biovolumen de las especies más abundantes. *Achdel.*: *Achnanthes delicatula*; *Achlan.*: *A. lanceolata* ssp. *lanceolata* var. *haynaldii*; *Chlamy.*: *Chlamydomonas* sp. 1

**Figure 5.** Summer succession of the phytoplankton from the lake, expressed as a) density and b) biovolume of the most abundant taxa. *Achdel.*: *Achnanthes delicatula*; *Achlan.*: *A. lanceolata* ssp. *lanceolata* var. *haynaldii*; *Chlamy.*: *Chlamydomonas* sp. 1

& Izaguirre (1997) también observaron una relación positiva entre la actividad fotosintética y el pH en el lago Boeckella de Bahía Esperanza. Por otra parte, el aporte de sales provenientes del lavado de los suelos alcalinos podría ser otra posible causa del aumento de pH registrado hacia mediados de febrero, cuando la superficie del lago y los terrenos circundantes se encontraban libres de hielo.

Las altas concentraciones de oxígeno disuelto registradas durante los meses estivales son características de la mayoría de los lagos antárticos, como ya fuera señalado por muchos autores para distintos ambientes lénticos

de la región (Izaguirre et al. 1993, 1996; Mataloni et al. 1998; Unrein & Vinocur 1999; Vinocur & Unrein 2000).

A diferencia de la mayoría de los cuerpos de agua de Península Potter, donde el fitoplancton está dominado por diatomeas ticooplanctónicas (Vinocur & Unrein 2000), en este lago el fitoplancton estuvo representado por especies de Chlorophyta típicamente planctónicas. No obstante, las diatomeas epilíticas dominaron el plancton durante la última fase del descongelamiento, probablemente debido a su desprendimiento y resuspensión desde otras comunidades. Según Ellis-Evans (1983) las Bacillariophyceae suelen ser importantes dentro la comunidad bentónica; sin embargo, durante la época estival, cuando la superficie del lago se halla libre de hielo y la turbulencia inducida por el viento favorece la circulación de la columna de agua, es común encontrar altas densidades de estas algas formando parte del plancton (Priddle et al. 1986; Izaguirre et al. 1993; Unrein & Vinocur 1999). Este hecho se vio claramente reflejado en el aumento de la riqueza y la diversidad específicas y en la disminución del SIMI hacia mediados de enero. Asimismo, es preciso destacar que todos los taxones ticooplanctónicos hallados en este estudio fueron registrados previamente por Vinocur & Pizarro (2000) como componentes del epilíton de este lago.

Si bien las especies euplanctónicas dominaron este cuerpo de agua en biomasa y densidad, es importante destacar que en la mayoría de los lagos antárticos donde esto ocurre el fitoplancton se haya representado principalmente por fitoflagelados, con dominancias de *Ochromonas* spp. (Chrysophyceae), *Chroomonas* spp. (Cryptophyceae) o *Chlamydomonas* spp. (Chlorophyta) (Priddle et al. 1986; Izaguirre et al. 1993, 1998; Lizotte et al. 1996; Mataloni et al. 1998). En este lago, en cambio, aunque varias especies de *Chlamydomonas* estuvieron presentes nunca alcanzaron densidades elevadas. Aquí, la especie dominante fue *Pseudodictyosphaerium jurisii*, la que llegó a representar en los últimos muestreos hasta el 92.8% de la densidad algal total con una consecuente disminución de la equitatividad y la diversidad específicas. Al igual que en el presente estudio, Hawes (1990) observó que en un lago oligo-mesotrófico de la isla Signy el fitoplancton se encontraba dominado por una

pequeña alga verde clorococal (*Chlorella* sp.). Tanto *P. jurisii* y *Chlorella* sp. como los pequeños fitoflagelados se caracterizan por su tamaño reducido. Según Ellis-Evans (1996) el fitoplancton dominante de la mayoría de los ambientes antárticos es de pequeñas dimensiones ya que su elevada relación superficie/volumen le conferiría una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes. Contrariamente, la presencia de algas de mayor tamaño se halla restringida principalmente a ambientes eutróficos donde la concentración de nutrientes no es limitante para el desarrollo del fitoplancton (Hawes 1990).

En la primera tipificación de los cuerpos de agua de Península Potter realizada por Vinocur & Unrein (2000), este lago fue señalado como oligotrófico. Sin embargo, dicha clasificación fue realizada en base a un estudio extensivo de 26 cuerpos de agua muestreados en dos ocasiones durante un verano. En el presente trabajo se analizaron las mismas variables aunque durante un período más largo y de manera más intensiva. De esta manera, siguiendo la clasificación propuesta por Lee & Jones (1981), los valores de clorofila-a registrados en el lago durante la primera mitad del verano corresponderían a ambientes típicamente oligotróficos ( $\sim 2 \mu\text{g/L}$ ), mientras que de acuerdo a las concentraciones medidas hacia fines del estudio este cuerpo de agua debería incluirse como mesotrófico (hasta  $5.6 \mu\text{g/L}$ ). Asimismo, el PT también presentó alternativamente valores propios de ambos estados tróficos. De acuerdo a estos resultados sería más apropiado caracterizar a este cuerpo de agua como un lago oligo-mesotrófico.

Estudios previos realizados por Hawes (1983, 1990) sugieren que en lagos antárticos donde las concentraciones de P biodisponible son bajas, este elemento sería limitante para el desarrollo del fitoplancton durante el período estival. En el presente estudio, las concentraciones de PRS medidas siempre estuvieron dentro de los límites de detección, lo que sugeriría que aquí también el P podría ser limitante. Sin embargo, independientemente de la baja concentración de PRS registrada a lo largo de todo el verano, el fitoplancton alcanzó valores de biomasa relativamente altos cuando la temperatura fue máxima. En concordancia con nuestros resultados, Priddle et al. (1986) observaron que en varios lagos de la

isla Signy la producción primaria fitoplanctónica no podía ser explicada totalmente por la concentración de nutrientes disueltos medidos en la columna de agua. Este autor sugiere que el rápido reciclado del N y el P a través del zooplancton herbívoro podría ser el responsable de la alta tasa fotosintética y elevada biomasa fitoplanctónica registrada en algunos ambientes antárticos pobres en nutrientes.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento al Dr. G Tell por su dirección y sus valiosos comentarios, a la Dra. I Izaguirre por la lectura crítica del manuscrito y a tres evaluadores anónimos por sus valiosos comentarios. También deseo agradecer a la Lic. A Vinocur su colaboración en el trabajo de campo, al personal de la Base Científica Jubany (CAV 95' - 96') por su apoyo logístico y al personal del Servicio Meteorológico de la Fuerza Aérea Argentina por facilitarme los datos meteorológicos de la zona. Este trabajo fue posible gracias al apoyo económico del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) y del Instituto Antártico Argentino (Dirección Nacional del Antártico).

## BIBLIOGRAFÍA

- APHA 1975. *Standard methods for the examination of water and wastewaters*. American Public Health Association. Washington, EEUU.
- CONTRERAS, M.; S CABRERA; V MONTECINO & G PIZARRO. 1991. Dinámica abiótica del lago Kitiash, Antártica. *Ser. Cient. INACH* 41:9–32.
- DRAGO, EC. 1983. Estudios limnológicos en la Península Potter, Isla 25 de Mayo (Shetland del Sur): Morfología de ambientes leníticos. *Contrib. Inst. Antárt. Argent.* 265:1–20.
- GODAGNONE, RE. 1997. Península Potter (Isla 25 de Mayo) Antártida Argentina. Mapa detallado de suelos, escala 1:10000. *Contrib. Inst. Antárt. Argent.* 448:1–45.
- ELBER, F & F SHANZ. 1989. The causes of change in the diversity and stability of phytoplankton communities in small lakes. *Freshwater Biol.* 21:237–251.
- ELLIS-EVANS, JC. 1996. Microbial diversity and function in Antarctic freshwater ecosystems. *Biodiver. Conserv.* 5:1395–1431.
- HANSSON, L-A & H HÅKANSSON. 1992. Diatom community response along a productivity gradient of shallow Antarctic lakes. *Polar Biol.* 12:463–468.
- HAWES, I. 1983. Nutrients and their effects on phytoplankton populations in lakes of Signy Island, Antarctica. *Polar Biol.* 2:115–126.

- HAWES, I. 1990. Eutrophication and vegetation development in maritime Antarctic lakes. Pp. 83–90 en: KR Kerry & G Hempel (eds). *Antarctic Ecosystems. Ecological change and conservation*. Springer-Verlag, New York, EEUU.
- HEYWOOD, RB. 1978. Ecology of the fresh-water lakes of Signy Island, South Orkney Islands: III. Biology of the copepod *Pseudoboeckella silvestri* Daday (Calanoida, Centropagidae). *Br. Antarct. Surv. Bull.* **23**:1–17.
- VAN DEN HOEK, C; DG MANN & HM JAHNS. 1995. *Algae, an introduction to Phycology*. Cambridge Univ. Press. 623 pp.
- IZAGUIRRE, I; G MATALONI; A VINOUCUR & G TELL. 1993. Temporal and spatial variations of phytoplankton from Boeckella Lake (Hope Bay, Antarctic Peninsula). *Antarct. Sci.* **5**:137–141.
- IZAGUIRRE, I; A VINOUCUR & G MATALONI. 1996. Summer changes in the vertical distribution of chlorophyll-a in Boeckella lake (Hope Bay, Antarctic Peninsula). *Nankyoku Shiryô (Antarctic Record)* **40**(1):43–52.
- IZAGUIRRE, I; A VINOUCUR; G MATALONI & M POSE. 1998. Phytoplankton communities in relation to trophic status in lakes from Hope Bay (Antarctic Peninsula). *Hydrobiol.* **369/370**:73–87.
- KAWECKA, B; M OLECH; M NOWOGRODZKA-ZAGÓRRSKA & B WOJTUN. 1998. Diatom communities in small water bodies at H. Artowski Polish Antarctic Station (King George Island, South Shetland Islands, Antarctica). *Polar Biol.* **19**:183–192.
- KOMÁREK, J. 1999. Diversity of cyanoprokaryotes (cyanobacteria) of King George Island, maritime Antarctica – a survey. *Algological Studies* **94**:181–193.
- LEE, GF & RA JONES. 1981. Application of the OECD eutrophication modeling approach to estuaries. Pp. 549–568 en: BJ Neilson & LE Cronin (eds) *Estuaries and nutrients*. Humans Press, Clifton, EEUU.
- LIGHT, JJ; JC ELLIS-EVANS & J PRIDDLE. 1981. Phytoplankton ecology in an Antarctic lake. *Freshwater Biol.* **11**:11–16.
- LIZOTTE, MP; TR SHARP & JC PRISCU. 1996. Phytoplankton dynamics in the stratified water column of Lake Bonney, Antarctica. I. Biomass and productivity during the winter-spring transition. *Polar Biol.* **16**:155–162.
- MACKERETH, JFH; J HIRON & JF TALLING. 1978. Water Analysis: some revised methods for limnologists. Freshwater Biology Association, Scientific Publication N° 36, Ambleside, Reino Unido. 119 pp.
- MARKER, AFH; CA CROWTHER & RJM GUNN. 1980. Methanol and acetone as solvents for estimating chlorophyll-a and phaeopigments by spectrophotometry. *Ergeb. Limnol.* **14**:52–69.
- MATALONI, G; G TESOLÍN & G TELL. 1998. Characterization of a small eutrophic Antarctic lake (Otero Lake, Cierva Point) on the basis of algal assemblages and water chemistry. *Polar Biol.* **19**:107–114.
- MONTECINO, V; G PIZARRO; S CABRERA & M CONTRERAS. 1991. Spatial and temporal photosynthetic compartments during summer in lake Kitiash, Antarctic. *Polar Biol.* **11**:371–377.
- MROZINSKA, T; M OLECH & A MASSALSKI. 1998. Cysts of Chrysophyceae from King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Polish Polar Research* **19**(3-4):205–210.
- PAGGI, JC. 1983. Estudios limnológicos en Península Potter, Isla 25 de Mayo (Shetland del Sur, Antártida): Morfología y taxonomía de *Pseudoboeckella poppei* Mrazek 1901 (Crustacea - Copepoda). *Contrib. Inst. Antárt. Argent.* **303**:1–34.
- PAGGI, JC. 1987. Limnological studies in Potter Peninsula, 25 de Mayo Island, South Shetland Islands: biomass and spatial distribution of zooplankton. *Biomass Sci. Ser.* **7**:175–191.
- PAGGI, JC. 1996. Feeding ecology of *Branchinecta gaini* (Crustacea, Anostraca) in ponds of South Shetland Islands, Antarctica. *Polar Biol.* **16**:13–18.
- PIELOU, EC. 1969. An introduction to Mathematical Ecology. Wiley, New York, EEUU.
- PRIDDLE, J; I HAWES & JC ELLIS-EVANS. 1986. Antarctic aquatic ecosystems as habitats for phytoplankton. *Biol. Review* **61**:199–238.
- POSE, M & I IZAGUIRRE. 1997. Sucesión estival de las poblaciones fitoplanctónicas en el Lago Boeckella (Bahía Esperanza, Antártida). *Contrib. Inst. Antárt. Argent.* **449**:1–27.
- SHANNON, CE & W WEAVER. 1949. *The mathematical theory of communication*. Univ. of Illinois Press. Urbana, EEUU. 117 pp.
- TEMNISKOVA-TOPALOVA, D; N CHIPEV & K MANOILOVA. 1996. Preliminary report on diatoms from Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctic. *Bulgarian Antarctic Research, Life Sciences*:31–61.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik. *Mitt. Int. Verein. Limnol.* **9**:1–38.
- UNREIN, F & A VINOUCUR. 1999. Phytoplankton structure and dynamics in a turbid Antarctic lake (Potter Peninsula, King George Island). *Polar Biol.* **22**: 93–101.
- VENRICK, EL. 1978. How many cells to count? Pp. 167–180 en: A Sournia (ed.). *Phytoplankton Manual*. UNESCO. Paris, Francia.
- VAN DE VIJVER, B & L BEYENS. 1997. Freshwater diatoms from some islands in the maritime Antarctic region. *Antarct. Sci.* **9**(4):418–425.
- VINOUCUR, A & H PIZARRO. 2000. Microbial mats of twenty-six lakes from Potter Peninsula, King George Island, Antarctica. *Hydrobiol.* **437**:171–185.
- VINOUCUR, A & F UNREIN. 2000. Typology of water bodies from Potter Peninsula (King George Island, Antarctica) based on physical-chemical characteristics and phytoplankton communities. *Polar Biol.* **23**:858–870.