

## EVOLUCIÓN DEL ESTADO TRÓFICO Y ESTRUCTURA DEL FITOPLANCTON DE UN LAGO SOMERO DE LA REGIÓN PAMPEANA: LAGUNA SAUCE GRANDE (PCIA. DE BUENOS AIRES, ARGENTINA)

N.L. CONY<sup>1</sup>, N.C. FERRER<sup>2</sup> & E.J. CÁCERES<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC). La Plata. 1900. Argentina.

<sup>2</sup> Universidad Nacional del Sur. Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia. San Juan 670. 8000. Bahía Blanca. Argentina.  
e-mail: noeliacony@hotmail.com

**ABSTRACT.** Sauce Grande shallow lake is located in the Southwest of the Buenos Aires Province, Argentina, with the river Sauce Grande as both affluent and effluent of it. The aim of this work was to evaluate the trophic state and the characteristics of the phytoplankton community of this shallow lake during an annual cycle. Phytoplankton samples were collected monthly and also physico-chemical parameters were measured. The trophic state of the water body was estimated with Carlson Trophic State Index (TSI) based on chlorophyll *a* concentration. Bacillariophyta was the algal group most widely represented in number of taxa for the entire studied period. In turn, Cyanobacteria was the dominant group with *Synechocystis salina* Wislouch as the dominant species. Chlorophyll *a* concentration ranged between 64.6 and 769.4 mg/m<sup>3</sup>. The total phytoplankton abundance ranged from 1.6×10<sup>6</sup> to 5.2×10<sup>6</sup> ind/ml and the biovolume varied from 9.4×10<sup>7</sup> to 1.4×10<sup>9</sup> μm<sup>3</sup>/ml. The chlorophyll *a* concentration was significantly correlated with phytoplankton abundance but it was not significantly correlated with biovolume. Besides, Carlson's TSI (Cl *a*) ranged from 70 to 97. Accordingly, the Sauce Grande shallow lake was classified as hypertrophic for the studied 2012-2013 period, whereas the status of the water body was determined as eutrophic for the autumn of 2010.

**Key words:** Sauce Grande shallow lake; trophic evolution; abundance; phytoplankton; trophic state.

**Palabras clave:** laguna Sauce Grande; evolución trófica; abundancia; fitoplancton; estado trófico.

### INTRODUCCIÓN

La eutrofización es uno de los problemas medioambientales más frecuentes en las aguas continentales. La misma es causada principalmente por el aumento de las concentraciones de dos nutrientes fundamentales: nitrógeno y fósforo, generalmente como resultado de actividad antrópica (OCDE, 1982). La evolución del estado trófico de estos cuerpos de agua conlleva cambios en la composición específica y abundancia de las comunidades que lo habitan (Ortega Murillo *et al.*, 2010). Por un lado, se produce el incremento de los productores primarios (Dolbeth *et al.*, 2003), especialmente de las poblaciones fitoplanctónicas

(Weisner *et al.*, 1997; Weithoff *et al.*, 2000; Muylaert *et al.*, 2002) las que, dada su elevada actividad fotosintética, provocan aumentos significativos de la biomasa y del oxígeno disuelto en el ecosistema (Smith y Smith, 2001). Además, el desarrollo de estos organismos aumenta la turbidez, impidiendo que la luz penetre hasta regiones profundas de la columna de agua (Moreno *et al.*, 2010). Asimismo, la biodiversidad se reduce significativamente, tanto por la disminución del número de especies (Ryding y Rast, 1992), como por el incremento diferencial de algunas de ellas (Smith, 1990).

El estado trófico de un ecosistema acuático puede ser definido mediante índices

que describen el grado de eutrofización. Éstos permiten clasificar a los lagos, lagunas y embalses como oligotróficos (con bajos niveles de nutrientes), eutróficos (niveles de nutrientes aumentados) e hipertróficos (con gran abundancia de nutrientes). Estos indicadores y modelos están basados fundamentalmente en parámetros químicos y físicos (*e.g.* concentración de nutrientes y de clorofila *a* fitoplanctónica, turbidez, concentración de oxígeno disuelto) (Carlson, 1977; Lampert y Sommer, 1997).

En los lagos someros los procesos de eutrofización son particularmente complejos debido a las muy estrechas interacciones agua-tierra, agua-aire y agua-sedimentos que tienen lugar en los mismos (Quinn y Sellinger, 2006; Smolders *et al.*, 2006).

El concepto de estado trófico ha sido utilizado en Argentina para lagos y lagunas y generalmente se lo ha relacionado con la calidad de las aguas (Quirós *et al.*, 2002a, b; Quirós, 2005; Quirós *et al.*, 2005; Bohn *et al.*, 2012; Ledesma *et al.*, 2013). En nuestro país, el número de lagos y reservorios que experimentan eutrofización parece haberse incrementado en los últimos años (Fernández *et al.*, 2009).

Las lagunas de la región pampeana, denominadas lagunas pampásicas (Ringuelet, 1972), son lagos de llanura muy poco profundos que no estratifican térmicamente excepto por períodos muy breves (Quirós, 2005; Torremorell *et al.*, 2007). La laguna Sauce Grande, ubicada al sur de la provincia de Buenos Aires, en cercanías de la localidad turística de Monte Hermoso, constituye un ejemplo de ellas. Ha sido definida como un cuerpo lagunar oligohalino, con pH alcalino, turbio, dominado por el fitoplancton y eutrófico otoñal (Ferrer *et al.*, 2012). Este cuerpo de agua posee importancia regional, ya que en él se realizan numerosas actividades recreativas, siendo uno de los principales atractivos la pesca deportiva de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) y el avistaje de

aves, por tratarse también un importante reservorio de avifauna.

Así como los desarrollos urbanos y agrícolas aumentan en forma continua, aumenta también la preocupación sobre la sustentabilidad de la calidad de las aguas para todo tipo de uso humano. Es por ello que el estudio de la hidrología y estado trófico de reservorios y cuencas es crítico para diseñar un correcto manejo del recurso. La presente investigación se desarrolló bajo la hipótesis de que la evolución del estado trófico de la laguna Sauce Grande está acompañada de cambios en la estructura de su comunidad fitoplanctónica. En virtud de ello, se propuso como objetivo evaluar su estado trófico con relación a las variaciones cualitativas y cuantitativas de su fitoplancton.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La laguna Sauce Grande (38° 57' S - 61° 24' O) se localiza en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Fig. 1). El río Sauce Grande entra a la laguna desde el oeste y sale de la misma por el este, poco antes de su desembocadura en el mar. La laguna posee un área de 21,55 km<sup>2</sup> (Fornerón *et al.*, 2010a) y profundidades que oscilan entre 0,60 m y 1,80 m, siendo la profundidad media histórica de 1,40 m (Fornerón, 2013). El clima de la región es templado con veranos e inviernos bien definidos y primaveras y otoños moderados. Los valores medios mensuales de temperatura oscilan entre los 14°C y los 20°C. Las precipitaciones son irregulares, de tipo frontal con valores anuales entre los 600 a 700 mm, lo que otorga al clima el carácter de subhúmedo (Campo de Ferreras *et al.*, 2004).

### Diseño de muestreo

Se realizaron muestreos mensuales durante un ciclo anual, desde abril de 2012 a marzo de 2013, en un sitio costero de la laguna (Fig. 1).

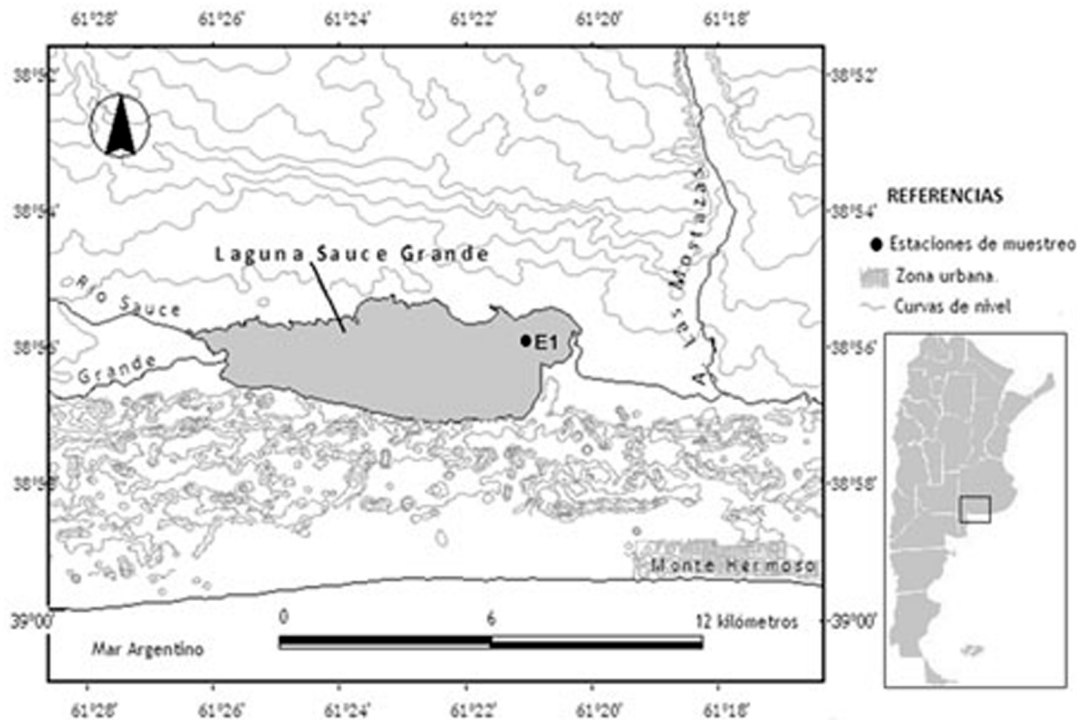


Figura 1. Ubicación del área de estudio y el sitio de muestreo.

Las muestras para el estudio cualitativo del fitoplancton se tomaron con red de plancton de 30  $\mu\text{m}$  de apertura de malla y se fijaron *in situ* con formaldehído al 4% (concentración final 0,4%). Las muestras para el análisis cuantitativo se tomaron de modo subsuperficial con botellas plásticas de 200 ml y fijadas *in situ* con solución de Lugol.

#### Variabes físicas y químicas

La temperatura del agua, la turbidez, el pH, la conductividad y la salinidad se registraron *in situ* con un multisensor Horiba U-10. La transparencia del agua se determinó mediante un disco de Secchi.

También se tomaron muestras para determinar la concentración de clorofila *a*, de acuerdo al método espectrofotométrico recomendado por APHA (1998). El esta-

do trófico de la laguna se estableció mediante la aplicación del Índice de Estado Trófico de Carlson (o TSI: "Trophic State Index", Carlson, 1977) utilizando los valores de concentración de clorofila *a* en superficie.

#### Muestras biológicas

La observación de las muestras para las determinaciones taxonómicas se realizó con microscopios ópticos Leitz SM Lux y Zeiss Axiolab con contraste de fases y fluorescencia, con equipo fotográfico incorporado. Para la identificación se consultó bibliografía especializada (Bourrelly, 1966; Hindák, 1977, 1984, 1988, 1990; Komárek y Fott, 1983; Komárek y Anagnostidis, 1999, 2005) y estudios similares en lagunas pampeanas (Guarrera *et al.*, 1968, 1972).

Para la observación de diatomeas se eliminó la materia orgánica mediante oxidación con  $H_2O_2$  y calor. Se realizaron preparados permanentes con resina tipo Naphrax para su análisis bajo microscopio óptico y preparados convencionales para microscopía electrónica de barrido, a fin de lograr la identificación a nivel de especie, siguiendo a Krammer y Lange-Bertalot (1986) y Simonsen (1987), entre otros.

Los recuentos se efectuaron en una cámara de recuento tipo Sedgwick-Rafter (1ml de capacidad), de acuerdo al método de McAlice (1971), bajo microscopio invertido Nikon Eclipse TE 300, con cámara Nikon Digital Sight DS-U2 incorporada. Los resultados de abundancia se expresaron en ind/ml.

El biovolumen geométrico, que considera el volumen de las formas dimensionales de los organismos en combinación con el conteo al microscopio, puede utilizarse para estimar la biomasa fitoplanctónica (Hernández *et al.*, 2011). Con ese fin, se calculó el volumen celular ( $\mu m^3/ml$ ) asignando una forma geométrica conocida a cada especie, de acuerdo a Hillebrand *et al.* (1999).

### Análisis estadístico

Para determinar si la abundancia, el biovolumen y la concentración de clorofila *a* presentaban diferencias estadísticamente significativas entre los meses de muestreo se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (H). La significancia estadística de la relación entre el biovolumen y la clorofila *a*, así como la de la abundancia fitoplanctónica y la clorofila *a*, fue establecida por medio del coeficiente de correlación por rangos de Spearman.

Se realizaron análisis de agrupamientos por ligamiento completo a los efectos de de-

terminar si las variaciones temporales de las variables fisicoquímicas y del fitoplancton establecieron similitudes entre los meses muestreados. Para estos análisis estadísticos se utilizó el programa InfoStat versión estudiantil (Di Rienzo *et al.*, 2008).

## RESULTADOS

### Parámetros fisicoquímicos

Los valores de las variables ambientales registradas para el período estudiado se presentan en la Tabla 1. La profundidad en el sitio de muestreo fue variable, con un registro mínimo de 0,25 m en julio de 2012 y un máximo de 1 m en el mes de octubre de ese año. La transparencia nunca superó los 10 cm. Los valores medios de pH y conductividad fueron de 10,02 y 11,13 mS/cm, respectivamente.

Durante el ciclo anual, la concentración de clorofila *a* alcanzó un valor promedio de 359,2  $mg/m^3$ . Su valor máximo fue de 769,4  $mg/m^3$  en septiembre de 2012, mientras que el mínimo fue de 64,6  $mg/m^3$  en noviembre de ese mismo año. El Índice de Estado Trófico de Carlson (TSI) basado en la concentración de clorofila *a* arrojó valores entre 70 y 97, y el mismo índice, calculado a partir de la lectura del disco de Secchi, varió entre 93 y 103. Estos valores indicaron la condición hipertrófica de la laguna durante la mayoría de los meses muestreados, según los valores establecidos por la OCDE (1982) (Tabla 2). La correlación de la turbidez con la concentración de clorofila *a*, resultó significativa (R-Spearman= 0,67,  $p < 0,05$ ). También se determinó una correlación significativa y negativa entre la profundidad y la concentración de clorofila *a* (R-Spearman= 0,67,  $p < 0,05$ ) (Fig. 2).

El análisis de agrupamiento realizado basado en las variables fisicoquímicas, mostró la presencia de dos épocas bien diferenciadas en la laguna y una tercera de tran-

sición (Fig. 3). En la primera época, entre abril y septiembre de 2012, se registraron los valores más bajos de temperatura y conductividad. En la segunda época, de enero a marzo de 2013, los valores de temperatura y conductividad fueron mayores. La época de transición, caracterizada por las mayores profundidades del cuerpo de agua, transcurrió de octubre a diciembre de 2012. La primera época comprendió los meses con menor temperatura ambiente, mientras que la segunda época se correspondió con los meses más cálidos y secos.

## Fitoplancton

### Análisis cualitativo

Se identificaron 85 taxones, de los cuales 39 fueron Bacillariophyta (40% diatomeas pennadas y 6% diatomeas céntricas), 32 Chlorophyta (38%), y 14 Cyanobacteria (16%) (Fig. 4 y Tabla 3). Se registró la presencia de especies indicadoras de eutrofización (*Monoraphidium contortum*, *M. minutum*, *Pediastrum boryanum*, *Scenedesmus* spp., *Schroederia setigera* y *Synechococcus* spp.), y de especies citadas para otros ambientes salobres como *Chaetoceros muelleri* y *Cyclotella meneghiniana*.

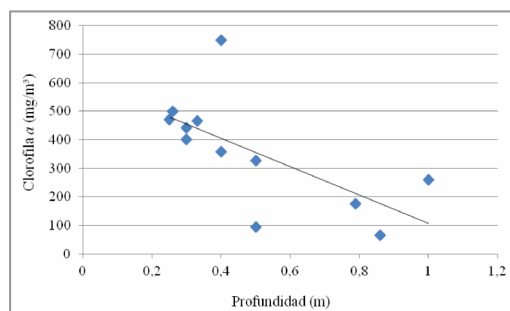
**Tabla 1.** Valores máximo, mínimo y medio mensual de las variables fisicoquímicas registradas en el sitio de muestreo para la laguna Sauce Grande, durante el periodo abril 2012-marzo 2013.

	Mínimo	Máximo	Media	DE
Conductividad (mS/cm)	9,10	10,05	11,13	2,42
pH	8,42	10,75	10,02	0,69
Turbidez (UNT)	650,00	999,00	966,00	99,94
Transparencia (m)	0,05	0,10	0,05	0,03
Profundidad (m)	0,25	1,00	0,49	0,25
Temperatura (°C)	5,10	26,10	14,90	6,53
Salinidad (UPS)	0,48	0,94	0,62	0,16
MPS (mg/l)	896,00	1280,00	1076,60	152,27
Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )	327,60	749,20	486,05	143,15
TSI Carlson (Cl a)	70	97	88	7

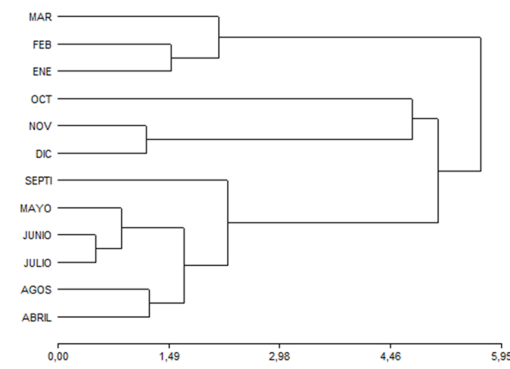
DE: Desviación Estándar; UNT: Unidades Naturales de Turbidez; UPS: Unidades Prácticas de Salinidad; MPS: Material Particulado en Suspensión; TSI: Índice de Estado Trófico.

**Tabla 2.** Clasificación trófica de la laguna Sauce Grande en función de los valores medios anuales de transparencia (m) y de concentración de clorofila a (mg/m<sup>3</sup>), según el índice de OCDE (1982).

	Categoría trófica	Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )	Transparencia (m)
<b>Índice OCDE (1982)</b>	Ultraoligotrófico	< 1	> 12
	Oligotrófico	1 a 2,5	12 a 6
	Mesotrófico	2,5 a 7,9	6 a 3
	Eutrófico	7,9 a 25	3 a 1,5
	Hipertrófico	> 25	< 1,5
<b>Laguna Sauce Grande</b>	Hipertrófico	359,20	0,05



**Figura 2.** Relación entre la concentración de clorofila a y la profundidad en la laguna Sauce durante el ciclo anual estudiado.



**Figura 3.** Resultados del análisis de agrupamiento con ligamiento completo en base a los datos fisicoquímicos obtenidos en la laguna Sauce Grande durante abril 2012 y marzo 2013.

**Tabla 3.** Listado de taxones fitoplanctónicos de la laguna Sauce Grande durante el período abril 2012–marzo 2013.

**Chlorophyta**

*Ankistrodesmus falcatus* (Corda)  
*Crucigenia quadrata* Morren  
*Dictyosphaerium pulchellum* var *minutum* Deflandre  
*D. ehremergianum* Näegeli  
*Eutetramorus* cf. *fortii* (Hindák) Komárek  
*Juranyiella javorkae* (Hortobágyi) Hortobágyi  
*Kirchneriella* cf. *microscopica* Nygard  
*Lagerheimia subsalsa* Lemmermann  
*Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová  
*M. minutum* (Näegeli) Komárková-Legnerová  
*M. tortile* (West y G.S.West) Komárková-Legnerová  
*Oocystella borgei* (J.Snow) Hindák  
*O. marsonii* (J.Snow) Hindák  
*Oocystella* sp.  
*Oocystis borgei* J.Snow  
*O. eremosphaeria* G.M. Smith  
*Pediastrum boryanum* (Turp.) Meneghini  
*P. duplex* Meyen  
*Planctonema lauterbornii* Schmidle  
*Quadricoccus ellipticus* Hortobágyi  
*Scenedesmus costato-granulatus* Skuja  
*S. intermedius* Chodat  
*S. nanus* Chodat  
*S. quadricauda* (Turp.) de Brebisson  
*S.* cf. *subspicatus* Chodat  
*Schroederia setigera* (Schröder) Lemmermann  
*Staurastrum planctonicum* (Teiling)  
*Tetraedron caudatum* (Corda) Hansgirg  
*T. gracile* (Reinsch) Hansgirg  
*T. minimum* (A. Braun) Hansgirg  
*T. muticum* (A. Braun) Hansgirg  
*Tetrastrum staurongeniforme* (Schröder) Lemmermann

**Cyanobacteria**

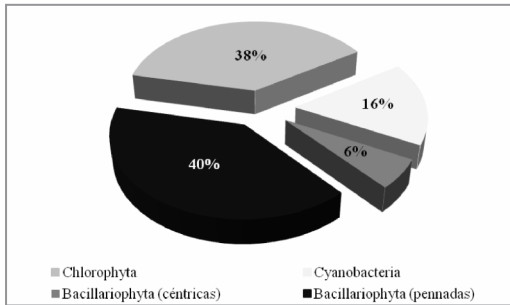
*Aphanocapsa conferta* (West y G.S.West) Komárková-Legnerová y Cronberg  
*A. elachista* W.West y G.S.West  
*A. holsatica* (Lemmermann) Cronberg et Komárek  
*A. incerta* (Lemmermann) Cronberg y Komárek  
*A. nubilum* Komárek et Kling  
*Aphanotece clathrata* (West y G.S.West)  
*A.* cf. *saxicola* Nägeli  
*Chroococcus minimus* (Keissler) Lemmermann  
*C. vacuolatus* Skuja  
*Cyanodictyon planctonicum* Meyer

*Merismopedia tenuissima* Lemmermann  
*Microcystis wesenbergii* (Komárek) Komárek  
*Synechocystis salina* Wislouch  
*Synechococcus nidulans* (Pringsheim) Komárek

**Bacillariophyta**

*Amphora* aff. *copulata* (Kützing) Schoeman y R.E.M.Archibald  
*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen  
*Chaetoceros muelleri* Lemmermann  
*Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Ehrenberg) Grunow  
*C. placentula* var. *lineata* (Ehrenberg) van Heurck  
*Craticula* aff. *accomoda* (Hustedt) D.G.Mann  
*Cyclostephanos* cf. *patagonicus* J.M.Guerrero y R.O.Echenique  
*Cyclotella meneghiniana* Kützing  
*Diploneis puella* (Schumann) Cleve  
*Encyonema* aff. *minutum* (Hilse) D.G.Mann  
*Epithemia* aff. *adnata* (Kützing) Brébisson  
*E.* aff. *sorex* Kützing  
*Gomphonema clavatum* Ehrenberg  
*G.* aff. *olivaceum* (Hornemann) Kützing  
*Gyrosigma* sp.  
*Hippodonta* sp.  
*Navicula tripunctata* (O.F.Müller) Bory de Saint-Vincent  
*N.* aff. *gregaria* Donkin  
*N.* aff. *peregrina* (Ehrenberg) Kützing  
*Nitzschia* sp.  
*Opephora* sp.  
*Pinnularia* sp.  
*Placoneis* aff. *constans* (Hustedt) E.J.Cox var. *symmetrica*  
*Pseudostaurosira brevistriata* var. *inflata* (Pantocsek) Hartley  
*Pseudostaurosira* sp. 1  
*Pseudostaurosira* sp. 2  
*Punctastriata* sp.  
*Rhopalodia* aff. *gibberula* (Ehrenberg) Otto Müller  
*Rhoicosphenia* sp.  
*Staurosira construens* Ehrenberg  
*Surirella brebissonii* Krammer y Lange-Bertalot  
*S. rorata* J.Frenguelli  
*S. striatula* Turpin  
*S.* aff. *ovalis* Brébisson  
*Tabularia* sp.  
*Thalassiosira patagonica* N.Maidana  
*Tryblionella apiculata* Gregory  
*T. levidensis* W.Smith  
*Ulnaria ulna* (Nitzsch) P.Compère





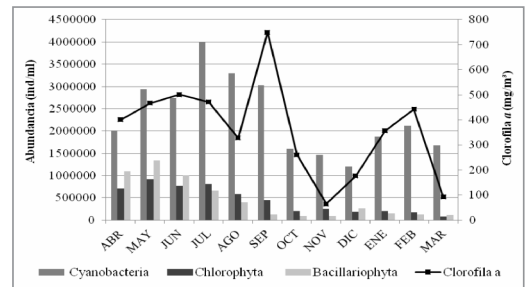
**Figura 4.** Contribución porcentual relativa de los principales taxones a la composición fitoplanctónica de la laguna Sauce Grande durante el período estudiado.

### Análisis cuantitativo

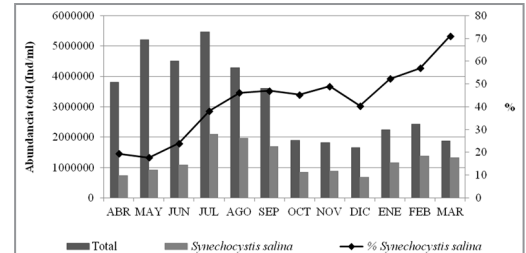
La abundancia fitoplanctónica no presentó diferencias significativas durante el ciclo anual ( $H=11$ ,  $p>0,05$ ). Se obtuvo un valor mínimo de  $1,6 \times 10^6$  ind/ml en diciembre de 2012 y un valor máximo de  $5,2 \times 10^6$  ind/ml en mayo de 2012. Cyanobacteria resultó el grupo más abundante, seguido por Chlorophyta y luego por Bacillariophyta (Fig. 5). *Synechocystis salina* Wislouch fue la especie dominante durante todo el ciclo anual, con una representación relativa creciente, dado que llegó a representar el 71% de la abundancia total en marzo de 2013 (Fig. 6). Por su parte, *Chroococcus minimus*, *Aphanocapsa elachista* y *A. nubilum* se constituyeron como las especies subdominantes.

El análisis de conglomerados basado en la abundancia fitoplanctónica total mostró dos épocas: una fría, de abril a septiembre de 2012, y otra cálida, de octubre de 2012 a marzo de 2013 (Fig. 7). Las especies que definieron al primer período fueron *Aulacoseira granulata*, *Aphanocapsa holsatica*, *Cyanodictyon planctonicum*, *Dictyosphaerium pulchellum* var. *minutum*, *Kirchneriella* cf. *microscopica*, *Monoraphidium contortum*, *M. tortile* y *Scenedesmus costato-granulatus*. En cambio, la época cálida estuvo caracterizada por *Cyclotella meneghiniana*, *Chroococcus vacuolatus*, *Hippodonta* sp., *M. minutum*, *S. quadricauda* y *Tetrastrum staurogenieforme*.

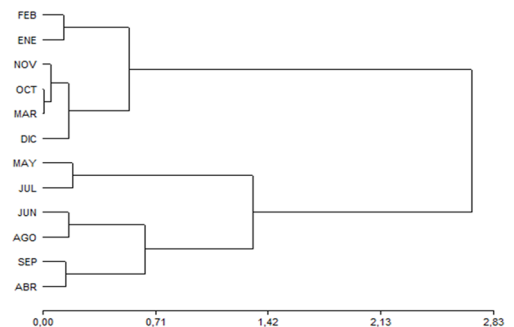
Por su parte, la variación del biovolumen de cada grupo fitoplanctónico tampoco mostró diferencias en los meses muestreados ( $H=11$ ,  $p>0,05$ ) (Fig. 8) y se obtuvieron valores entre  $9,4 \times 10^7$  y  $1,4 \times 10^9 \mu\text{m}^3/\text{ml}$ . Bacillariophyta registró los biovolúmenes más importantes, mientras que Cyanobacteria presentó los valores más bajos.



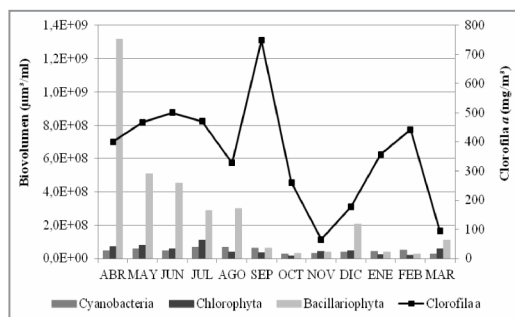
**Figura 5.** Variación temporal de la abundancia de los principales taxones fitoplanctónicos y concentración de clorofila *a* en la laguna Sauce Grande durante el período estudiado.



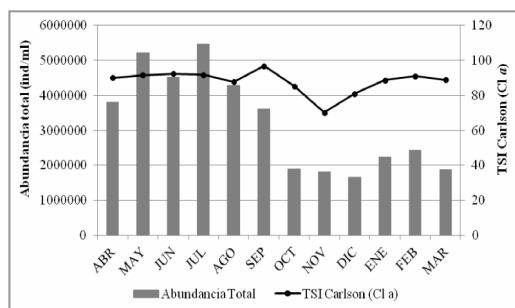
**Figura 6.** Abundancia fitoplanctónica total, abundancia de la especie dominante y su aporte porcentual a la abundancia total en la laguna Sauce Grande durante el período estudiado.



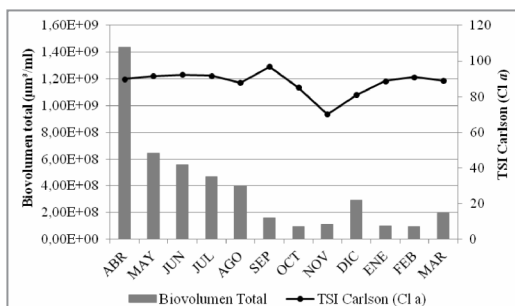
**Figura 7.** Resultados del análisis de agrupamiento con ligamiento completo en base a los datos de abundancia fitoplanctónica (ind/ml) obtenidos en la laguna Sauce Grande durante abril 2012 y marzo 2013.



**Figura 8.** Variación mensual del biovolumen de los principales taxones y concentración de clorofila *a* en la laguna Sauce Grande durante el periodo estudiado.



**Figura 9.** Relación entre la abundancia fitoplanctónica total y el Índice de Estado Trófico de Carlson (TSI) en la laguna Sauce Grande, para el ciclo anual abril 2012-marzo 2013.



**Figura 10.** Relación entre el biovolumen fitoplanctónico total y el Índice de Estado Trófico de Carlson (TSI) basado en la concentración de clorofila *a* en la laguna Sauce Grande, para el ciclo anual abril 2012-marzo 2013.

**Relaciones Biovolumen-Chlorofila *a* y Abundancia-Chlorofila *a***

Se halló una correlación altamente significativa entre la abundancia fitoplanctónica total y la concentración de clorofila *a* [R-Spearman de 0,78 ( $p < 0,01$ )]. No se halló

correlación entre la concentración de clorofila *a* y el biovolumen total [R-Spearman 0,33 ( $p > 0,01$ )].

En las Fig. 5 y 8 se presentan estas relaciones para los principales grupos fitoplanctónicos representados en la laguna, mientras que las Fig. 9 y 10 muestran la relación entre la abundancia fitoplanctónica total y el biovolumen total con el TSI de Carlson.

**DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren una evolución del estado trófico de la laguna Sauce Grande desde un estado eutrófico otoñal inicial (Ferrer *et al.*, 2012) a un estado hipertrófico para el período 2012-2013 estudiado. Esta situación se vio reflejada tanto en los cambios fisicoquímicos del ambiente como en la composición y abundancia de la comunidad fitoplanctónica.

La laguna Sauce Grande presenta características de una típica laguna pampeana, dado su carácter somero y la homogeneidad de los parámetros fisicoquímicos y biológicos. Como lago de llanura, la cubeta es generalmente pequeña con relación a la superficie de su espejo de agua. Ello conduce a que el tiempo de permanencia del agua en una laguna varíe directamente con el balance precipitación-evapotranspiración durante el ciclo de seca-inundación característico del paisaje pampeano. Los casos de extrema sequía o intensas precipitaciones producen cambios drásticos en la estructura y el funcionamiento de cualquier laguna pampeana típica (Quirós *et al.*, 2002 a,b). Asimismo, la hidrología de la laguna Sauce Grande es altamente dependiente de las precipitaciones *in situ* (Fornerón *et al.*, 2010b). En este aspecto, y como consecuencia de la sequía registrada para la zona se declaró la Emergencia Agropecuaria (Resolución 331/2010 del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la provincia de Bue-



nos Aires, <http://www.minagri.gob.ar>). Sumado a ello, el desvío de agua desde el río afluente de la laguna hacia los campos aledaños a su cuenca (ver datos provistos por la Autoridad del agua, Ministerio de Infraestructura de la provincia de Buenos Aires, <http://www.ada.gba.gov.ar>), provocó la disminución del nivel de agua de la laguna, registrándose para el período de estudio profundidades máximas inferiores a las mencionadas por otros autores para este cuerpo de agua (Fornerón *et al.*, 2010a, b; Ferrer *et al.*, 2012). Podría especularse que este descenso del nivel de agua de la laguna, con respecto a los datos registrados para el otoño de 2010 (Ferrer *et al.*, 2012) determinó una mayor concentración de clorofila *a*. Paralelamente se evidenciaron un aumento de la turbidez y una disminución de la transparencia del agua. De la aplicación del TSI de Carlson en función de estos parámetros fisicoquímicos (clorofila *a* y transparencia), surge la caracterización de hipertrófica de la laguna Sauce Grande para el período estudiado. Por otro lado, la existencia de una relación significativa entre la turbidez y la concentración de clorofila *a* sugiere la naturaleza orgánica del material en suspensión. En contraposición, en otros ambientes acuáticos, la turbidez se atribuye a la resuspensión de componentes inorgánicos del sedimento por acción del viento, tal como ocurre en estudios realizados en lagos europeos (de Vicente *et al.*, 2006; Borell-Lövstedt y Bengtsson, 2008).

Las variaciones en la concentración de clorofila *a* acompañaron también cambios en la abundancia fitoplanctónica, explicada mayormente por cianobacterias (Fig. 5), y en particular por la abundancia de la especie dominante, *Synechocystis salina* (Fig. 6). La sucesión estacional del fitoplancton con dominancia de cianobacterias durante todo el año observada en el ciclo

anual estudiado, coincide con el tipo I de la clasificación para ambientes hipertróficos someros definida por Alvarez-Cobelas y Jacobsen (1992) con la información de diferentes regiones del mundo. Por otra parte, la densidad fitoplanctónica total registró valores del orden de  $10^6$  ind/ml, superando los valores del orden de  $10^3$  ind/ml registrados en el otoño de 2010 (Ferrer *et al.*, 2012). Según Margalef (1983) abundancias fitoplanctónicas del orden de  $10^4$  a  $10^6$  cél/ml, son características de ambientes hipertróficos.

En el aspecto cualitativo, la comunidad fitoplanctónica de la laguna cambió con respecto al otoño de 2010, cuando se registró la dominancia de algas verdes, con *Planctonema lauterbornii* Schmidle (Chlorophyta) como la especie dominante (Ferrer *et al.*, 2012). En el período del presente estudio, por el contrario, el mayor número de taxones registrados correspondió a Bacillariophyta, seguida por Chlorophyta y Cyanobacteria. Asimismo, se determinó la presencia de especies indicadoras de eutroficación, como *Pediastrum boryanum* y *Schroederia setigera* (Temponeras *et al.*, 2000) y de especies citadas para otros ambientes salobres como *Chaetoceros muelleri* y *Cyclotella meneghiniana* (Santoyo y Signoret, 1978; Izaguirre y Vinocur, 1994; Salusso *et al.*, 1997). Por su parte, especies de los géneros *Monoraphidium* y *Microcystis* se consideran organismos indicadores de capas de agua mezcladas y poco profundas, mientras que *Pediastrum* y *Scenedesmus* son indicadores de condiciones de elevadas concentraciones de nutrientes en bajas profundidades de la columna de agua (Reynolds *et al.*, 2002).

El análisis de conglomerados realizado a partir de los datos fisicoquímicos en este estudio, permitió establecer dos épocas bien diferenciadas, una fría y de

baja conductividad, comprendida entre abril y septiembre de 2012, y otra cálida con altos valores de concentración iónica que abarcó de enero a marzo de 2013. Además, se determinó una tercera época de transición, de octubre a diciembre de 2012, caracterizada por las mayores profundidades del cuerpo de agua. A su vez, el agrupamiento basado en la abundancia fitoplanctónica separa el ciclo anual en dos grupos caracterizados por diferentes especies. En el primer grupo se destaca la abundancia de *Aulacoseira granulata* y *Aphanocapsa holsatica*, entre otras, mientras que en el segundo, *C. meneghiniana*, *Chroococcus vacuolatus* y *Monoraphidium minutum* fueron las especies más representadas. Estos análisis estarían indicando la influencia de la temperatura, la conductividad y la profundidad en la variación temporal de la comunidad fitoplanctónica.

#### AGRADECIMIENTOS

El financiamiento de este trabajo fue realizado por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC): Beca de Perfeccionamiento de NLC y la Universidad Nacional del Sur (UNS): (PGI 24/B196). Los autores agradecen al Lic. Ricardo Camina por su asesoramiento estadístico y a la Dra. Ana Martínez por las determinaciones químicas.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Cobelas, M. y B.A. Jacobsen. 1992. Hypertrophic phytoplankton: an overview. *Freshwater Forum*, 2: 184-199.
- American Public Health Association (APHA). 1998. Standard methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. Washington, DC, 541 pp.
- Bohn, V.Y., M.C. Piccolo, P.D. Pratolongo y G.M.E. Perillo. 2012. Evaluación del estado trófico de dos lagunas pampeanas (Argentina). *Ecología*, 24: 11-26.
- Borell-Lövstedt, C. y L. Bengtsson. 2008. The role of non-prevailing wind direction on resuspension and redistribution of sediments in a shallow lake. *Aquatic Sciences*, 70: 304-313.
- Bourrelly, P. 1966. Les algues d'eau douce. Initiation a la systematique, Saint-André-des Arts, Paris, 512 pp.
- Campo de Ferreras, A., A. Capelli de Steffens y P. Diez. 2004. El clima del Sudoeste Bonaerense. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, 99 pp.
- Carlson, R. 1977. A Trophic State Index for Lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2): 361-369.
- De Vicente, I., V. Amores y L. Cruz-Pizarro. 2006. Instability of shallow lakes: A matter of the complexity of factors involved in sediment and water interactions? *Limnetica*, 25(1-2): 253-270.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada y W.C. Robledo. 2008. InfoStat (Versión 2008). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dolbeth, M., M.A. Pardal, A.I. Lilleblo, U. Azeiteiro y J. C. Marques. 2003. Short- and long- term effects of eutrophication on the secondary production of an intertidal macrobenthic community. *Marine Biology*, 10 (1007): 1133-1135.
- Fernández, C., E.R. Parodi y E.J. Cáceres. 2009. Limnological characteristics and trophic state of Paso de las Piedras Reservoir: An inland reservoir in Argentina. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 14: 85-101.

- Ferrer, N.C., N.L. Cony, C.F. Fornerón y M.C. Piccolo. 2012. Caracterización del fitoplancton y estado trófico de la laguna Sauce Grande (Provincia de Buenos Aires, Argentina) en el otoño de 2010. *Biología Acuática*, 27: 129-141.
- Fornerón, C.F. 2013. Hidrografía de la Laguna Sauce Grande (Provincia de Buenos Aires) en época de sequía. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía, 211 pp.
- Fornerón, C.F., M.C. Piccolo y M.E. Carbone. 2010a. Análisis morfométrico de la laguna Sauce Grande (Provincia de Buenos Aires, Argentina). *Huellas*, 14: 11-30.
- Fornerón, C.F., M.C. Piccolo, N.L. Cony y N.C. Ferrer. 2010b. Hidrografía de la laguna Sauce Grande durante el otoño de 2010 (Provincia de Buenos Aires). *Contribuciones Científicas Sociedad Argentina de Estudios Geográficos-GAEA*, 22: 197-206.
- Guarrera, S.A., S. Cabrera, E. López y G. Tell. 1968. Fitoplancton de las aguas superficiales de la Provincia de Buenos Aires I. Área de la Pampa deprimida. *Revista Museo de La Plata (Nueva Serie) (Bot.)*, 10 (49): 223-331.
- Guarrera, S.A., L. Malacalza y F.P. López. 1972. Fitoplancton de las aguas superficiales de la Provincia de Buenos Aires. *Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie) (Bot.)*, 67: 161-222.
- Hernández, E., N.J. Aguirre y J.A. Palacio. 2011. Relationship between chlorophyll a pigment and algal geometric biovolume determination in a floodplain lake (Ciénaga Ayapel, Córdoba-Colombia). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 60: 159-169.
- Hillebrand, H., C.D. Dürselen, D. Kirschtel, U. Pollinger y T. Zohary. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 35(2): 403-424.
- Hindák, F. 1977. Studies on the chlorococcal algae (Chlorophyceae). I. *Biologické Práce*, 23: 1-190.
- Hindák, F. 1984. Studies on the chlorococcal algae (Chlorophyceae). III. *Biologické Práce*, 30: 1-308.
- Hindák, F. 1988. Studies on the chlorococcal algae (Chlorophyceae) IV. *Biologické Práce*, 34: 1-263.
- Hindák, F. 1990. Studies on the chlorococcal algae (Chlorophyceae) V. *Biologické Práce*, 36: 1-225.
- Izaguirre, I. y A. Vinocur. 1994. Typology of shallow lakes of the Salado River basin (Argentina) based on phytoplankton bloom. *Nature*, 352: 612-614.
- Komárek, J. y B. Fott. 1983. *Das Phytoplankton des Süßwasser Systematik und Biologie. Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales*. Stuttgart. Von Huber-Pestalozzi, Germany, 1044 pp.
- Komárek, J. y K. Anagnostidis. 1999. *Cyanoprokaryota. 1. Teil: Chroococcales*. Gustav Fischer. Jena Stuttgart- Lübeck- Ulm, 548 pp.
- Komárek, J. y K. Anagnostidis. 2005. *Süßwasserflora von Mitteleuropa Cyanoprokaryota. 2. Teil/ 2nd Part: Oscillatoriales*. Büdel, B.; Krienitz, L.; Gärtner, G. y M Schagerl, 759 pp.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. 1986. *Bacillariophyceae I*. Fischer Verlag, New York, 876 pp.
- Lampert, W. y U. Sommer. 1997. *Limnoecology: The Ecology of Lakes and Streams*. Oxford University Press, New York, 324 pp.
- Ledesma, C., M. Bonansea, C.M. Rodríguez y A.R. Sánchez Delgado. 2013. Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). *Revista Ciencia Agronómica*, 44: 419-425.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona, 1010 pp.

- McAlice, B.J. 1971. Observations on the small-scale distributions of estuarine phytoplankton. *Marine Biology*, 7: 100-111.
- Moreno, D.P., J. Quintero y A. López. 2010. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*, 78: 25-33.
- Muyllaert, K., K.V.D. Gucht, N. Vloemans, L.D. Meester, M. Gillis y W. Vyverman. 2002. Relationship between bacterial community composition and bottom-up versus top-down variables in four eutrophic shallow lakes. *Applied Environmental Microbiology*, 68: 4740-4750.
- OCDE. 1982. Eutrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte. Paris, 164 pp.
- Ortega Murillo, M.R., R. Alvarado Villanueva, R. Hernández Morales y J.D. Sánchez Heredia. 2010. Evolución trófica de un lago tropical hiposalino en México con base al fitoplancton. *Biológicas*, 12(2): 75-81.
- Quinn, F. y C. Sellinger. 2006. Reconstrucción of Lake Michigan-Huron water levels derived from tree ring chronologies for the period 1600-1961. *Journal of Great Lakes Research*, 32: 29-39.
- Quirós, R. 2005. La ecología de las lagunas de las Pampas. *Investigación y Ciencia*. Madrid, 13pp.
- Quirós, R., A.M. Rennella, M.B. Boveri, J.J. Rosso y A. Sosnovsky. 2002a. Factores que afectan la estructura y el funcionamiento de las lagunas pampeanas. *Ecología Austral*, 12:175-185.
- Quirós, R., J.J. Rosso, A.M. Rennella, A. Sosnovsky y M.B. Boveri. 2002b. Análisis del estado trófico de las lagunas pampeanas (Argentina). *Interciencia*, 27(11): 584-591.
- Quirós, R., M.B. Boveri, C.A. Petracchi, A. Rennella, J.J. Rosso, A. Sosnovsky y H. von Bernard. 2005. Los efectos de la agriculturización del humedal pampeano sobre la eutrofización de sus lagunas. *En: J. G. Tundisi, T. Matsumura-Tundisi, C. Sidagis Galli (Eds.) Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle*. Instituto Internacional de Ecología, Instituto Internacional de Ecología e Gerenciamento Ambiental, Academia Brasileira de Ciências, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Inter - Academy Panel on International Issues, InterAmerican Network of Academies of Sciences, Brasil, 531pp.
- Reynolds, C.S., V. Huszar, C. Kurk, L. Naselli-Flores y S. Melo. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 24: 417-428.
- Ringuelet, R.A. 1972. Ecología y biocenología del hábitat lagunar o lago del tercer orden de la región neotrópica templada (Pampasia Sudoriental de Argentina). *Physis*, 31 (82): 55-76.
- Ryding, S.O. y W. Rast. 1992. El control de la eutrofización en lagos y pantanos. Ed. Pirámide, Madrid, 355 pp.
- Salusso, M.M., L.B. Moraña y V. Liberal. 1997. Procesos de autodepuración en ríos del Valle de Lerma, Salta (Argentina). *Cuadernos de CURIHAM (Centro Universitario Rosario de investigaciones Hidroambientales)*, 4: 27-38.
- Santoyo, H. y M. Signoret. 1978. Fitoplancton de la laguna del Mar Muerto en el sur del Pacífico Norte. *An Centro Ciencias del Mar y Limnología. UNAM*, 6 (2): 71-80.
- Simonsen, R. 1987. Atlas and catalogue of the diatom types of Friedrich Hustedt. *J. Cramer, Berlin & Stuttgart*, 525 pp.
- Smith, R.L. y T.M. Smith. 2001. *Ecología*. Ed. Addison Wesley, Madrid, 639 pp.
- Smith, V.H. 1990. Phytoplankton responses to eutrophication in inland waters. *En:*

- I. Akatsuka (Ed.) Introduction to applied phycology. SPB Academic Publishing, Netherlands: 231-249.
- Smolders, A., L. Lamers, E. Lucassen, G. Van Der Velde y J. Roelofs, 2006. Internal eutrophication: How it works and what to do about it—a review. *Chemistry and Ecology*, 22(2): 93-111.
- Temponeras, M., J. Kristiansen y M. Moustaka-Gouni. 2000. Seasonal variation in phytoplankton composition and physical-chemical features of the shallow Lake Doirani, Macedonia, Greece. *Hydrobiología*, 424: 109-122.
- Torremorell, A., J. Bustingorry, R. Escaray y H. Zagarese. 2007. Seasonal dynamics of a large, shallow lake, Laguna Chascomús: The role of light limitation and other physical variables. *Limnologica*, 37: 100-108.
- Weisner, S.E.B., J.A. Strand y H. Sandsten. 1997. Mechanisms regulating abundance of submerged vegetation in shallow eutrophic lakes. *Oecologia*, 109: 592-599.
- Weithoff, G., A. Lorke y N. Walz. 2000. Effects of water-column mixing on bacteria, phytoplankton, and rotifers under different levels of herbivory in a shallow eutrophic lake. *Oecologia*, 125: 91-100.