

VARIACIONES ESPACIALES Y TEMPORALES DEL FITOPLANCTON EN UN LAGO SUBTROPICAL DE ARGENTINA

YOLANDA ZALOCAR DE DOMITROVIC, VIVIANA M. ASSELBORN y
SYLVINA L. CASCO

Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL, CONICET),
Casilla de Correo 291 (3400) Corrientes, Argentina.

Correspondencia para: Yolanda Zalocar de Domitrovic, Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL,
CONICET), Casilla de Correo 291 (3400) Corrientes, Argentina

Recibido en 21/01/97 – Aceptado en 27/05/98 – Distribuido en 28/08/98

(Con 15 figuras)

ABSTRACT

Temporal and spatial variations of the phytoplankton in a subtropical lake of Argentina

Species composition, biomass and diversity of the phytoplankton in a subtropical lake (27°29'S; 58°45'W) were studied from February 1995 to March 1996. One or two samples were taken monthly in the limnetic and the littoral area. Cell counts were done by the Utermöhl method (1958). Phytoplankton biomass varied among 2.38 and 45.59 mm³.m⁻² with a mean value of 12.11 (±10.52) mm³.m⁻². The population density oscillated among 0.3x10⁶ and 4.7x10⁶ ind.cm⁻².

Cyanophyta was the dominant group all the year contributing among 25% and 83% of the total biomass. *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Aphanizomenon* sp. and *Microcystis aeruginosa* were the dominant species. The Chlorophyta, second group in importance, contributed among 8% and 50% being *Botryococcus braunii* the dominant species. Bacillariophyceae, Xanthophyceae, Euglenophyceae and Cryptophyceae they did not surpass 20% of total biomass. Chrysophyceae and Dinophyceae they did not surpass 5% of total biomass. Chlorophyll *a* content ranged between 0.7 and 8 µg.L⁻¹ reflecting the annual variation of phytoplankton biomass. Phytoplankton density diversity varied among 0.34 and 3.69 bits.ind⁻¹. Biomass diversity varied among 1.04 and 2.92 bits.µm³, with a similar variation in the depths of the lake.

The lowest biomass and the highest diversity were always found in the littoral zone. C-Strategists, with a high SA/V ratios prevailed in density (*Monoraphidium contortum*, *M. tortile*, *Chlorella vulgaris* and other small flagellates of Chlorophyta) while S-Strategists (with a low SA/V ratios) such as *Microcystis aeruginosa* and *Botryococcus braunii* prevailed during the greater part of the year. *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Aphanizomenon* sp. were dominant in density and biomass when the temperatures were superior to 20°C and the solar radiation surpassed 20 MJ.m⁻². The R-Strategists (*Aulacoseira italica* and *Gymnodinium* sp.) prevailed during great unstability of water column.

Phytoplankton biomass was positively correlated with rain falls 10 days before each sampling ($r = 0.772$; $p < 0.01$; g.l. = 30). During the period that prevailed the filamentous Cyanophyceae an increase in the heterocysts frequency was observed in coincidence with a period of notorious drought.

Key words: subtropical lake, phytoplankton, composition, biomass, diversity.

RESUMO

Variações espaciais e temporais do fitoplâncton num lago subtropical da Argentina

Foi estudada a composição, biomassa e diversidade das espécies de fitoplâncton num lago subtropical (27°29'S; 58°45'O) desde fevereiro de 1995 até março de 1996. Uma ou duas coletas mensais fo-

ram feitas em dois locais: uma na área central e outra na região litoral do lago. As contagens foram realizadas segundo o método de Utermöhl (1958). A biomassa do fitoplâncton variou entre 2,38 e 45,59 mm³.m⁻², com valor médio de 12,11 mm³.m⁻² ($\pm 10,52$ mm³.m⁻²). A densidade da população oscilou entre 0,3 x 10⁶ e 4,7 x 10⁶ ind.cm⁻².

Cyanophyta predominou ao longo de todo o ano, contribuindo com entre 25% e 83% para a biomassa total. *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Aphanizomenon* sp. e *Microcystis aeruginosa* foram as espécies melhor representadas. Chlorophyta, segundo grupo em importância, apresentou-se entre 8% a 50%, sendo *Botryococcus braunii* a espécie dominante. Bacillariophyceae, Xanthophyceae, Euglenophyceae e Cryptophyceae não superaram 20% da biomassa total. O aporte de Chrysophyceae e Dinophyceae à biomassa total não ultrapassou 5%. O conteúdo de clorofila *a* variou entre 0,7 e 8 µg.L⁻¹, refletindo a variação anual da biomassa do fitoplâncton. A diversidade baseada na densidade do fitoplâncton variou entre 0,34 e 3,69 bits.ind⁻¹ e a diversidade baseada na biomassa oscilou entre 1,04 e 2,92 bits.ind⁻¹, com variação similar nas diferentes profundidades do lago.

A mais baixa biomassa e a mais alta diversidade foram sempre registradas na região litoral. Os estrategistas C, com alta relação AS/V, dominaram em densidade (*Monoraphidium contortum*, *M. tortile*, *Chlorella vulgaris* e outros pequenos flagelados de Chlorophyta), enquanto os estrategistas S, com baixa relação AS/V, tais como *Microcystis aeruginosa* e *Botryococcus braunii*, predominaram em biovolume durante a maior parte do ano. *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Aphanizomenon* sp. dominaram em densidade e biomassa quando a temperatura foi superior a 20°C e a radiação solar, a 20 MJ.m⁻². Os estrategistas R (*Aulacoseira italica* e *Gymnodinium* sp.) dominaram quando a coluna d'água apresentou grande instabilidade.

A biomassa do fitoplâncton correlacionou-se positivamente com a precipitação ocorrida dez dias antes de cada amostragem ($r = 0,772$; $p < 0,01$; g.l. = 30). Durante o tempo em que predominaram as Cyanophyceae filamentosas, observou-se um aumento na frequência de heterocistos, coincidentemente em épocas de notória estiagem.

Palavras-chave: lago subtropical, fitoplâncton, composição, biomassa, diversidade.

INTRODUCCION

Los estudios ecológicos del fitoplancton en ambientes tropicales son escasos y recientes (Lewis, 1978a,b, 1986; Reynolds, 1984; Talling, 1986; Huszar, 1989; Marinho *et al.*, 1990, 1993) en comparación con los producidos para lagos templados del hemisferio norte. La región subtropical de Argentina no constituye una excepción, donde la mayoría de los trabajos fueron realizados en ambientes lénticos del valle de inundación del río Paraná (García de Emiliani, 1980, 1990, 1993; Zalocar de Domitrovic, 1990, 1992, 1993).

La "Laguna Aeroclub" (en el NO de la provincia de Corrientes) forma parte de un conjunto de ambientes que ocupan aproximadamente un 30% de la superficie de la cuenca del Riachuelo, un afluente del río Paraná. Estudios de fitoplancton en estos ambientes sólo comprenden

muestreos estacionales u ocasionales incluidos en investigaciones limnológicas (Bonetto *et al.*, 1978a, 1978b), de su producción primaria (Caro *et al.*, 1979) y de la interacción fito-zooplancton (Matveev *et al.*, 1992).

Este trabajo comprende un estudio de las variaciones espaciales y temporales del fitoplancton en un lago subtropical, analizando su composición taxonómica, biomasa y diversidad específica en relación a las principales variables ambientales.

AREA DE ESTUDIO

El lago (Fig. 1), denominado "Laguna Aeroclub" (27° 29'S; 58° 45'O), posee forma redondeada, una superficie de aproximadamente 26 Ha y una profundidad media de 3,5 metros (Z_{máx} = 6 m.). Su régimen hídrico depende directamente de las precipitaciones, cuyas medias anuales oscilan entre 1100 y 1200 mm. Presenta las ca-

racterísticas de un lago polimíctico cálido, según la clasificación de Hutchinson (1957), eutrófico y con limitación de nutrientes, principalmente de fósforo (Zalocar de Domitrovic *et al.*, en prep.). El clima de la región es subtropical de transición, con predominante influencia marítima (Bruniard, 1981).

Durante los estudios, la vegetación de la zona litoral estuvo representada por *Cyperus* sp., *Polygonum* sp., *Salvinia herzogii* De la Sota, *Azolla caroliniana* Willd. e *Hydrocleis nymphoides* (Willd.) Buchenau. El fondo de la laguna y hasta aproximadamente los 3,5 metros de profundidad estuvo vegetado por *Egeria* sp. y *Nitella* sp.

Algunos sectores de arena, de color verde azulado, estuvieron colonizados por Cyanophyceae psammíticas (*Chlorogloea microcystoides* Geit., *Plectonema gracillimum* (Zopf) Hansg. y *Myxosarcina spectabilis* Geit.) formando un estrato de unos 10 cm de espesor.

MATERIAL Y METODOS

Se establecieron dos puntos de muestreo: uno en la zona central y más profunda del lago (Estación A) y otro en el área litoral, próximo a la zona vegetada (Estación B). La frecuencia de los muestreos fue generalmente de periodicidad mensual y ocasionalmente quincenal, durante 14 meses (desde febrero de 1995 hasta marzo de 1996). En la zona litoral, los muestreos se iniciaron en abril/95.

Para cuantificar las poblaciones de algas, las muestras se extrajeron con botella Van Dorn de 2 L de capacidad, y fueron fijadas *in situ* con lugol acético. En la zona limnética se recolectaron a tres profundidades: una en la zona subsuperficial, otra a una profundidad media de la profundidad total de la laguna y la última en las proximidades del fondo. En la costa, en cambio, dada la escasa profundidad (aproximadamente 1,30 m.), las muestras fueron extraídas sólo en el estrato superfi-

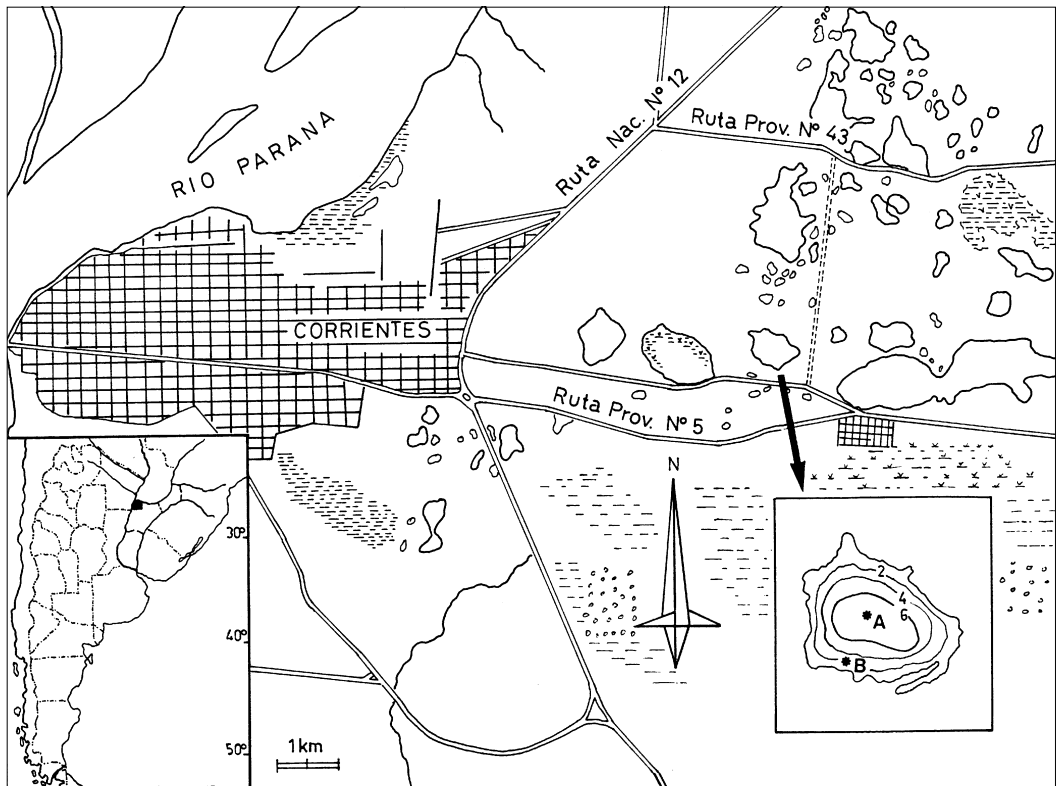


Fig. 1 — Ubicación de la "laguna Aeroclub" en el NO de la provincia de Corrientes (Argentina) y estaciones de muestreo (A: zona limnética, B: zona litoral).

cial. La estimación de la biomasa fue realizada por el método de Utermöhl (1958). Fueron contados como mínimo 100 individuos (células, cenobios, colonias y/o filamentos) de la especie más frecuente, de modo que el error de recuento fuese inferior al 20%, con un nivel de significación del 95% (Lund *et al.*, 1958). Las algas más grandes fueron contadas con menor aumento (63x) recorriendo la totalidad del fondo de la cámara sedimentada (10 cm³).

El volumen celular (µm³) fue calculado para todas las especies sobre la base de mediciones de 30-100 individuos (entre 5 y 10 para los taxones más raros). Las especies fueron aproximadas a formas geométricas simples o combinadas (Rott, 1981) para estimar el volumen celular (mm³L⁻¹ = mg de peso fresco L⁻¹). Algunos cálculos fueron simplificados mediante el empleo de las tablas de volumen de Senichkin (1978).

La diversidad específica (H') fue calculada de acuerdo a Shannon & Weaver (1963) y la equidad (E%) como 100. H'/H' máx.

Se realizaron mediciones de algunas variables físicas y químicas del agua, en la zona limnética, tales como: transparencia (con disco de Secchi), temperatura (con teletermómetro adosado al conductímetro y oxímetro), conductividad eléctrica (con conductímetro YSI 33 SCT), pH (con peachímetro digital Metrohm A G Herisau) y oxígeno disuelto (con oxímetro YSI 54 A).

La clorofila *a* fue extraída con acetona 90% estimando su concentración según las ecuaciones de APHA (1985). Los análisis de los nutrientes disueltos: nitrógeno (amonio, nitritos + nitratos), fósforo (ortofosfatos), fueron realizados de acuerdo a las instrucciones señaladas en APHA (1985).

Las variables abióticas y bióticas fueron correlacionadas utilizando el coeficiente de correlación de Pearson. Para comparar estadísticamente las diferentes profundidades y estaciones de muestreo se utilizó ANOVA y las pruebas F de Snedecor y *t* de Student (Sokal y Rohlf, 1979). Los datos fueron normalizados mediante transformación log (n+1).

RESULTADOS

Variables ambientales

La media mensual de temperatura del aire varió entre 18°C (agosto/95) y 26°C (diciembre/

95). Las temperaturas máximas se registraron durante los meses de diciembre y enero (41°C) y las mínimas en julio y agosto (1°C).

La media mensual de radiación solar (Fig. 4) varió entre 10 MJ.m⁻² (en junio y agosto/95) y 27 MJ.m⁻² (en noviembre/95 y enero/96).

El año 1995 se caracterizó por sus escasas precipitaciones (Fig. 2). Estas estuvieron distribuidas en forma heterogénea a lo largo del año, pero la mayor pluviosidad se dio a fines de verano y durante el otoño de 1995. La velocidad media mensual del viento (Fig. 2) varió entre 0,8 m.seg⁻¹ (mayo/95) y 2,3 m.seg⁻¹ (noviembre/95).

La Fig. 3 representa las principales variables ambientales medidas *in situ*. Las lecturas del disco de Secchi oscilaron entre 89 y 270 cm. La temperatura del agua (entre 14,3 y 28°C), presentó en general un perfil vertical bastante homogéneo con escasa variación térmica. Durante primavera y verano se registraron zonas de discontinuidad térmica a partir de los 3 metros de profundidad, con variaciones de 1,7 a 3°C entre la superficie y el fondo.

La conductividad eléctrica presentó un rango de variación entre 50 y 77 µS.cm⁻¹ entre superficie y aproximadamente los 4 metros, incrementándose a partir de esta profundidad para alcanzar sus valores máximos en las proximidades del fondo (entre 60-241 µS.cm⁻¹).

El pH (entre 5,8 y 8 unidades), de un modo general fue más elevado en el estrato superficial o a profundidades intermedias, probablemente en relación a una mayor actividad fotosintética.

El oxígeno disuelto, de la misma manera que el pH, presentó valores decrecientes hacia el fondo con un valor medio de 8,7 en superficie; 8,3 alrededor de los 2,50 m. y 3,5 mg.L⁻¹ en las proximidades del fondo. El porcentaje de saturación varió entre 7,8% y 9,9%, con sobresaturación en superficie y profundidad media en la mayor parte de los muestreos.

La concentración de nitrógeno, como amonio y nitritos + nitratos, varió en un rango desde no detectable hasta 125 y 26 µg.L⁻¹, respectivamente (Fig. 15) con severas limitaciones hacia el final de los estudios. El fósforo (como ortofosfatos) no fue detectable durante la mayor parte del período, con la única excepción del muestreo realizado el 2-11-95, en que alcanzó concentraciones de 6 µg.L⁻¹.

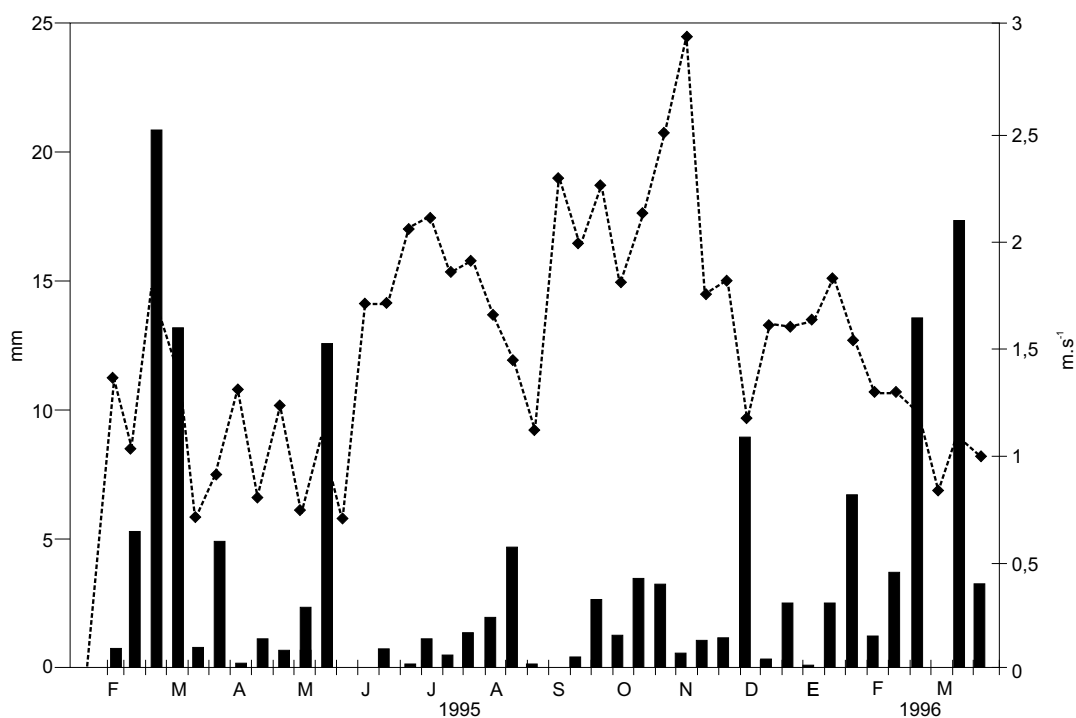


Fig. 2 — Variaciones de la pluviosidad (barras) y de la velocidad media del viento (líneas) expresados como valores medios por década, durante el período de estudios.

a) Fitoplancton

Se registraron en total 137 taxones de algas de las siguientes Clases: Cyanophyceae (21), Chlorophyceae (47), Ulothricophyceae (4), Conjugatophyceae (26), Bacillariophyceae (6), Chrysophyceae (4), Xanthophyceae (8), Euglenophyceae (11), Cryptophyceae (7) y Dinophyceae (3). De todos ellos 86 se registraron en el área limnética (Estación A), 125 en la zona litoral (Estación B) y 74 fueron comunes a ambas.

Valores extremos de biomasa se presentaron durante el verano-otoño (máximos) e invierno de 1995 (mínimos). En la zona limnética la biomasa varió entre 2,38 mm³.m⁻² (22-8-95) y 45,59 mm³.m⁻² (28-2-95), con un valor medio anual de 12,11 mm³.m⁻² ($\pm 10,52$). La densidad osciló entre 0,3x10⁶ ind.cm⁻² y 4,7x10⁶ ind.cm⁻². En la zona litoral, en cambio, ambas variables registraron valores inferiores al de la zona limnética (Fig. 5).

Cyanophyta fue el grupo dominante a lo largo del año, contribuyendo entre el 25 y el 83% al total de la biomasa (Fig. 6). Las Chlorophyta, segundo grupo en importancia, en cambio, con-

buyeron entre el 8 y el 50%. Bacillariophyceae, Xanthophyceae, Euglenophyceae y Cryptophyceae presentaron valores inferiores al 20% mientras que Chrysophyceae y Dinophyceae, no superaron el 5% de la biomasa total.

Dos fueron los grupos que dominaron en densidad a lo largo del año: Cyanophyta (entre el 19 y 83%) y Chlorophyta (entre el 1 y 81%). Sólo ocasionalmente dominaron las Cryptophyceae (32%) a fines de invierno (12-9-95). Los grupos restantes no superaron el 2% de la densidad total (Fig. 7).

El número de especies dominantes en biovolumen, en la zona limnética, a diferentes profundidades, osciló entre 6 y 7 y, en densidad numérica fue un poco mayor, entre 9 taxones en superficie y profundidad media y 12 en proximidades del fondo. En la zona litoral, predominaron 4 y 6 taxones en biomasa y densidad, respectivamente.

Las dimensiones algales variaron entre 20 μm^3 (*Monoraphidium contortum*) y 18,8x10⁶ μm^3 (*Botryococcus braunii*).

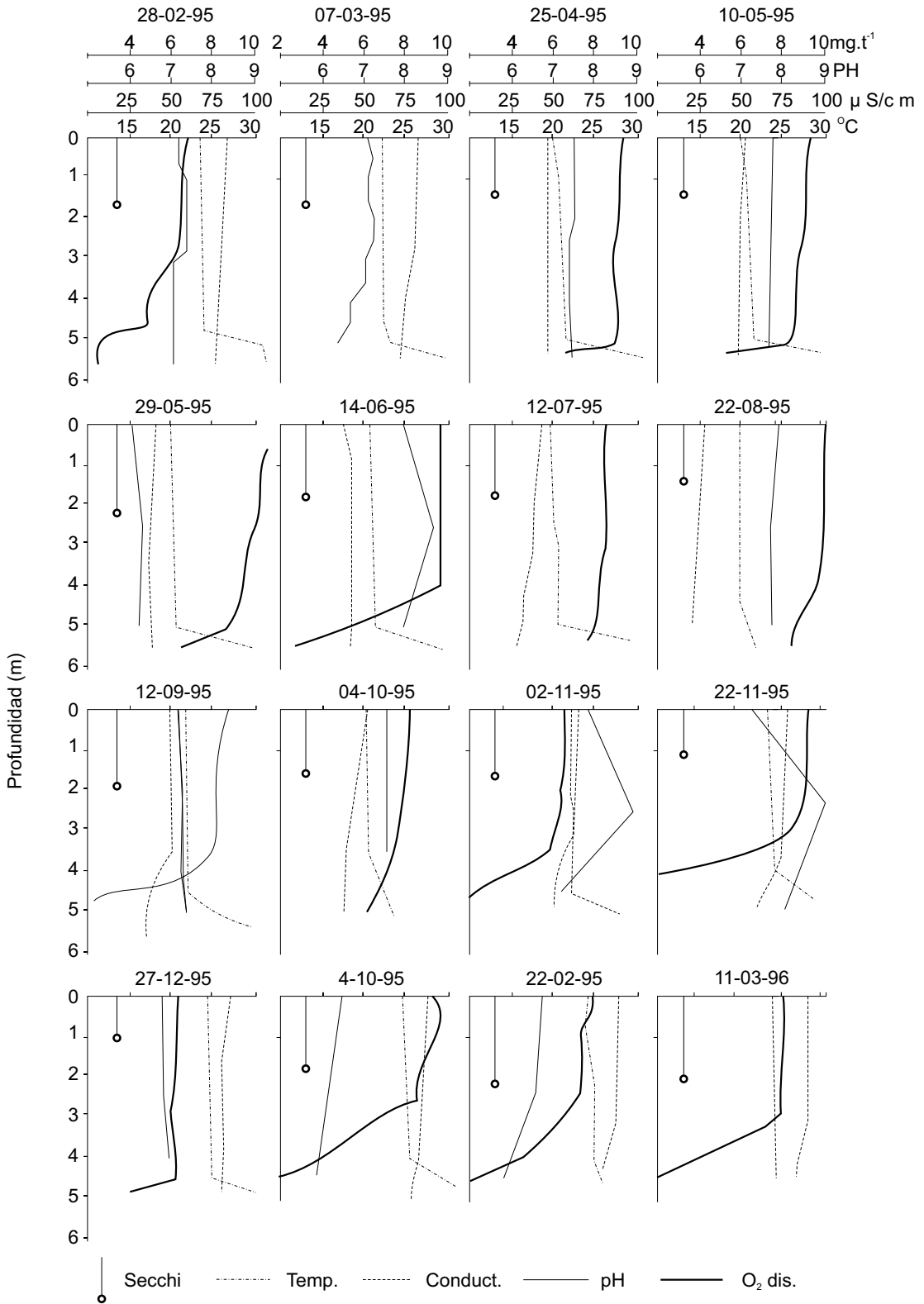


Fig. 3 — Variaciones verticales de las principales variables ambientales medidas *in situ* durante el período de estudios.

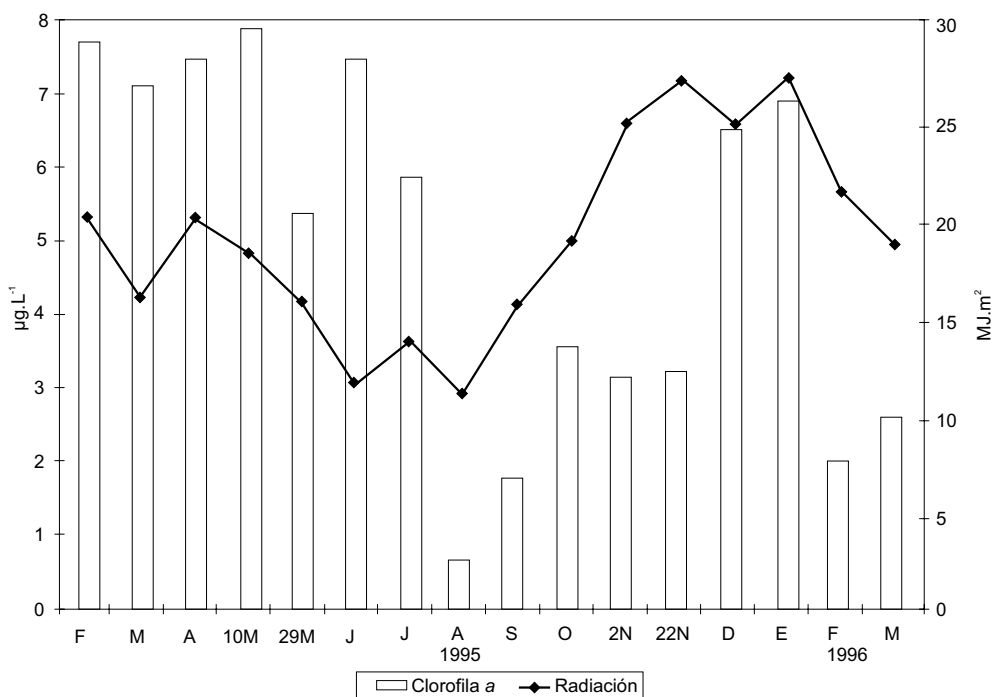


Fig. 4 — Variaciones de la radiación solar media mensual (MJ.m²) y de la clorofila a (µg.L⁻¹) en el período de estudios.

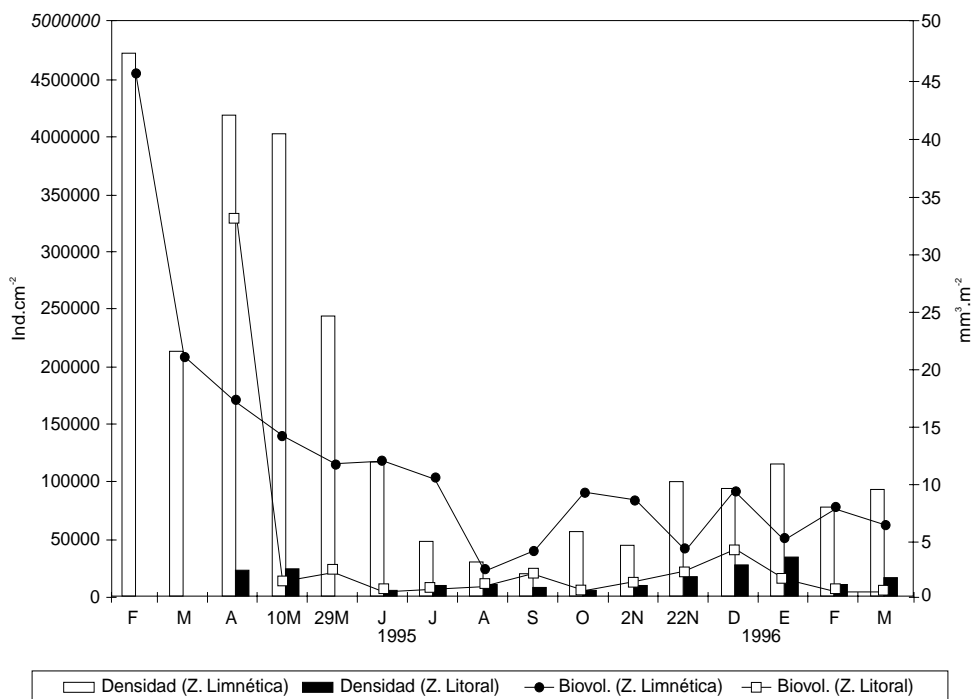


Fig. 5 — Variaciones de la densidad (ind.cm⁻²) y del biovolumen (mm³.m⁻²) del fitoplancton en las dos estaciones de muestreo.

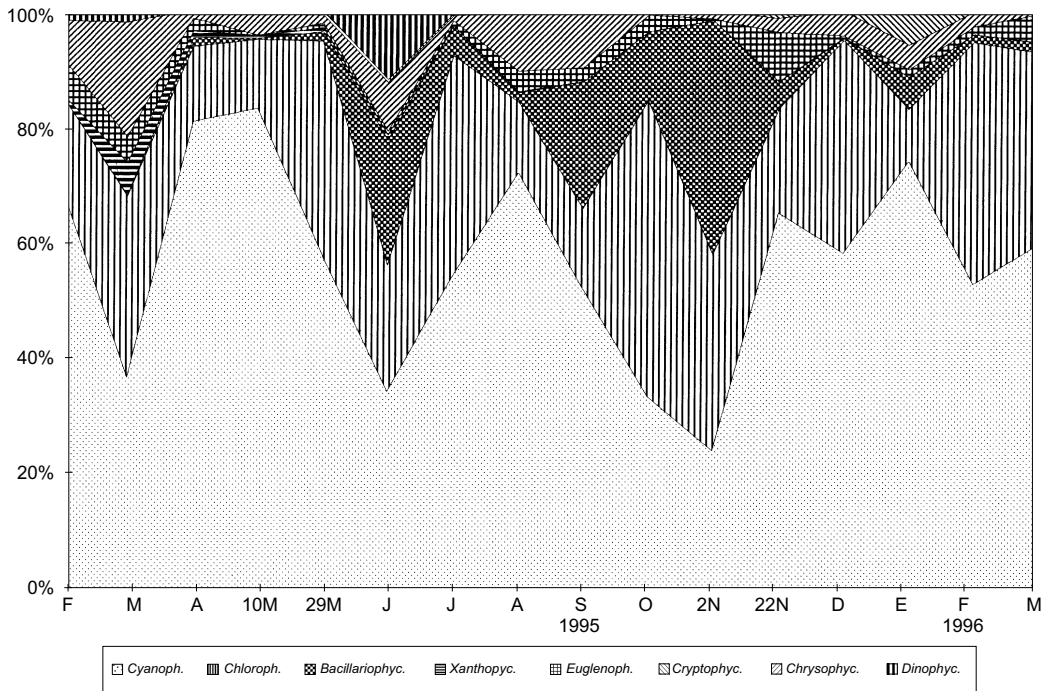


Fig. 6 — Variación temporal de la biomasa del fitoplancton en términos de volumen celular ($\text{mm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$) expresada como porcentaje de la biomasa total.

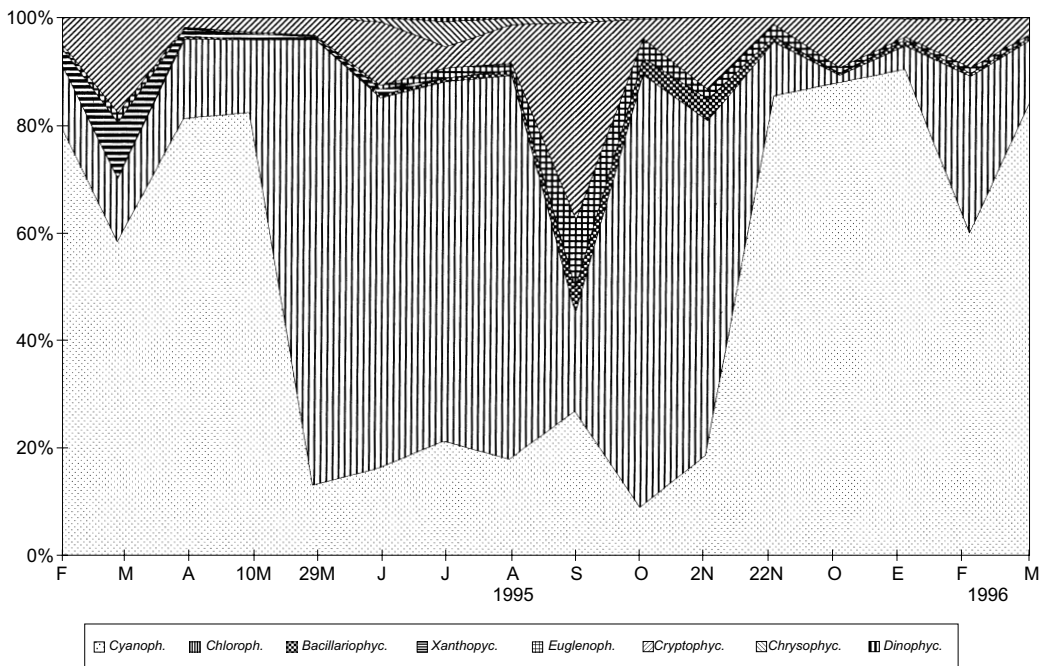


Fig. 7 — Variaciones de la densidad del fitoplancton ($\text{ind} \cdot \text{cm}^{-2}$) expresadas como porcentaje de la densidad total, durante el período de estudios.

El período de estudios fue dividido en cuatro intervalos de tiempo (períodos A, B, C y D señalados en las Figs. 8-10), separados teniendo en cuenta las especies dominantes y los factores ambientales.

b) *Variaciones en la composición taxonómica y biomasa del fitoplancton.*

CYANOPHYTA: predominaron durante los estudios, con la excepción de los muestreos de junio y principios de noviembre de 1995, en que fueron superadas ligeramente por Bacillariophyceae y Chlorophyta (Fig. 6).

Cinco fueron las especies responsables de la elevada biomasa en este grupo: *Cylindropermopsis raciborskii*, *Aphanizomenon* sp., *Phormidium mucicola*, *Microcystis aeruginosa* y *Merismopedia tenuissima*, las que contribuyeron a su totalidad con valores de hasta el 86%, 90%, 64%, 63% y 33%, respectivamente (Figs. 8-11).

Cylindropermopsis raciborskii y *Aphanizomenon* sp. (371 y 5914 μm^3 , respectivamente) fueron las especies dominantes, tanto en biomasa como en densidad, durante los meses más cálidos del año (períodos A, B y D de la Fig. 8).

Colonias de *Microcystis aeruginosa* ($2,5 \times 10^6 \mu\text{m}^3$) se registraron durante todo el año, pero fueron más abundantes durante el período C en todo el perfil vertical, manteniendo así elevados valores de biomasa inclusive durante el invierno, período en que no se detectaron otras cianofíceas. En el área limnética, si bien no se observaron diferencias estadísticamente significativas a las diferentes profundidades muestreadas, tanto el mayor número de colonias (15000 col.L^{-1}) como de su biomasa ($2,8 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$) se registró generalmente en las proximidades del fondo (Fig. 10) y en la zona litoral (Fig. 11). *Phormidium mucicola*, asociada al mucílago de *M. aeruginosa*, sólo ocasionalmente se presentó libre en el plancton siendo dominante en densidad (95%) y biovolumen (64%) en el muestreo del 22-11-95, a profundidades intermedias entre la superficie y el fondo (Fig. 9). La dominancia de esta especie coincidió con el colapso de las colonias de *M. aeruginosa*.

CHLOROPHYTA: la mayor contribución a la biomasa total estuvo dada por *Botryococcus braunii*, cuyas colonias presentaron amplias variaciones de tamaño a diferentes profundidades a lo largo del año. En la zona limnética el número má-

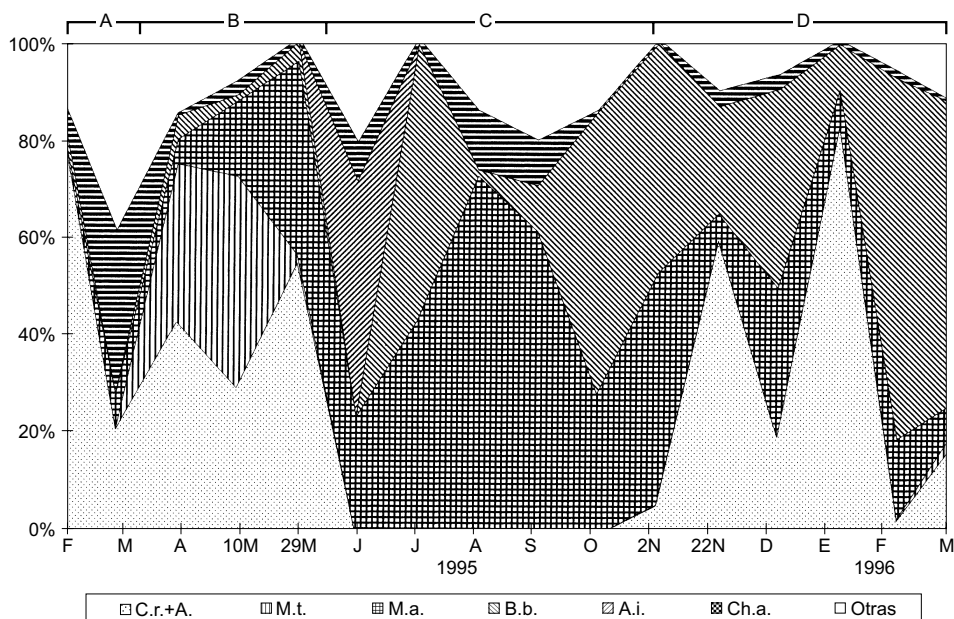


Fig. 8 — Biomasa ($\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$) de las especies dominantes del fitoplancton (% de la biomasa total) en el estrato superficial de la zona limnética del lago. C.r. + A.: *Cylindropermopsis raciborskii* + *Aphanizomenon* sp., M.t.: *Merismopedia tenuissima*, M.a.: *Microcystis aeruginosa*, B.b.: *Botryococcus braunii*, A.i.: *Aulacoseira italica*, Cr. spp.: *Cryptomonas erosa* + *Cryptomonas ovata*, Otras: otras especies no dominantes. A, B, C y D: períodos en el estudio del fitoplancton.

ximo de colonias por litro fue de 5000, 7000 y 12000 en superficie, profundidad media y proximidades del fondo, respectivamente. A diferencia de lo señalado para *M. aeruginosa*, en *B. braunii* se dio una relación inversa entre número de colonias y volumen celular. Es así que en el estrato superficial su contribución a la biomasa total alcanzó valores del 45% (4-10-95) y 62% (22-2-96) (Fig. 8), en profundidades intermedias, del 56% (4-10-95) y 85% (11-3-96) (Fig. 9) y, valores inferiores al 32% (14-6-95 y 27-12-95) en las proximidades del fondo (Fig. 10). En la zona litoral, el mayor número de colonias de *B. braunii* (10000 col.L⁻¹) se registró en el muestreo del 22-11-95, sin embargo, debido a su pequeño tamaño, su contribución a la masa total, no superó el 5%. El máximo biovolumen (20x10⁶ μm³) se registró el 25-4-95 (con 6000 col.L⁻¹) y su contribución a la biomasa total superó ligeramente el 95% (Fig. 11).

Al declinar las Cyanophyceae, las Chlorophyta ocuparon el primer lugar en importancia numérica (ind.mL⁻¹), fundamentalmente en los estratos medio y superficial. Por lo general, no siempre se registraron las mismas especies dominantes a las diferentes profundidades. En el estrato superficial predominaron *Chlorella vulgaris* y *Monoraphidium tortile*, a profundidades intermedias, además de *Monoraphidium tortile*, pequeños flagelados y *Sphaerocystis planctonica* y en las proximidades del fondo, pequeños flagelados verdes, *Monoraphidium tortile*, *M. contortum* y clorofíceas cocoides. El aporte de estas especies a la biomasa total no superó el 2%.

En la zona litoral se observó un patrón de variación similar al de la zona limnética de la laguna, pero aquí únicamente dos especies de Chlorophyta fueron dominantes en densidad numérica: *Monoraphidium contortum* y *M. tortile*.

CRYPTOPHYCEAE: de presencia constante a lo largo del año, estuvieron representadas fundamentalmente por *Cryptomonas ovata* (888 μm³) y *Cryptomonas erosa* (559 μm³). Su contribución a la biomasa total alcanzó hasta el 34% (el 7-3-95) en el estrato superficial (Fig. 8). Sólo ocasionalmente fueron dominantes numéricos en la zona litoral, con el 60% (14-6-95) y en las proximidades de la superficie, en el área limnética, con el 34% (el 12-9-95).

BACILLARIOPHYCEAE: fueron escasas y no superaron el 2% de la densidad total. La

especie dominante fue *Aulacoseira italica*, de biovolumen variable según la longitud de los filamentos (células de 687 μm³). Las poblaciones de esta especie, estuvieron limitadas a las proximidades del fondo (Fig.10) y a la zona litoral (Fig. 11), contribuyendo hasta el 54% de la biomasa total. Sólo ocasionalmente y en un único muestreo (14-6-95) se presentó en el estrato superficial (Fig. 8) contribuyendo con el 50% a la biomasa total.

XANTHOPHYCEAE: sólo se presentaron a fines de verano y durante el otoño de 1995, no superando el 5% y el 8% de densidad y biomasa total, respectivamente, en el muestreo del 7-3-95. La pequeña Xanthophyceae *Chlorogibba allorgei* (697 μm³) contribuyó con el 74% a la biomasa total de este grupo. *Pseudostaurastrum lobulatum* (2150 μm³), *Tetraedriella jovetii* (540 μm³) y *Tetraplektron torsum* (6468 μm³) sólo se registraron esporádicamente.

CHRYSOPHYCEAE: se observaron ocasionalmente aportando hasta el 3,3% a la densidad (el 12-7-95) y hasta el 5% a la biomasa total (el 4-1-96), principalmente con dos especies del género *Mallomonas* (452 μm³ y 1238 μm³).

DINOPHYCEAE: también de presencia esporádica, estuvieron representadas por *Peridinium* sp. (4053 μm³) y *Gymnodinium* sp. (1767 μm³), contribuyendo este último con valores de hasta el 10% a la biomasa total, a fines de otoño (14-6-95).

EUGLENOPHYCEAE: *Euglena* sp. (1105 μm³), *Phacus* sp. (912 μm³) se encontraron en los estratos superficial e intermedio. *Trachelomonas volvocina* (905 μm³) y *T. armata* (2700 μm³) se observaron en todas las profundidades, pero la primera alcanzó mayor importancia numérica (17%) en el muestreo del 4-10-95, en las proximidades del fondo.

c) Variaciones de la comunidad en relación a variables ambientales

Los estudios de fitoplancton fueron divididos en cuatro intervalos de tiempo (Figs. 8-10). Si bien se tuvieron en cuenta las variaciones de algunos de los factores que controlan su crecimiento (radiación solar, temperatura, nutrientes, etc.) estos intervalos fueron separados de acuerdo a cambios producidos en las especies dominantes y a períodos de circulación (situaciones en que las variables físicas y químicas fueron homogéneas entre superficie y las proximidades del fondo).

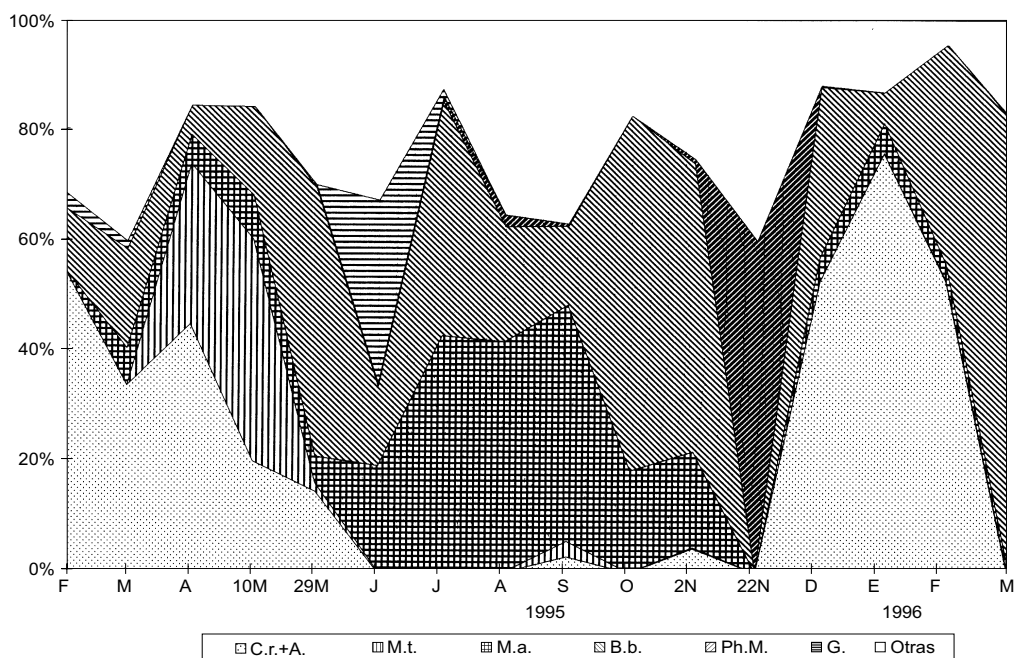


Fig. 9 — Variación temporal de la biomasa relativa de las especies dominantes del fitoplancton en el estrato intermedio (entre la superficie y el fondo) de la zona central. C.r. + A.: *Cylindrospermopsis raciborskii* + *Aphanizomenon* sp., M.t.: *Merismopedia tenuissima*, M.a.: *Microcystis aeruginosa*, B.b.: *Botryococcus braunii*, Ph.m.: *Phormidium mucicola*, G.: *Gymnodinium*, Otras: otras especies no dominantes.

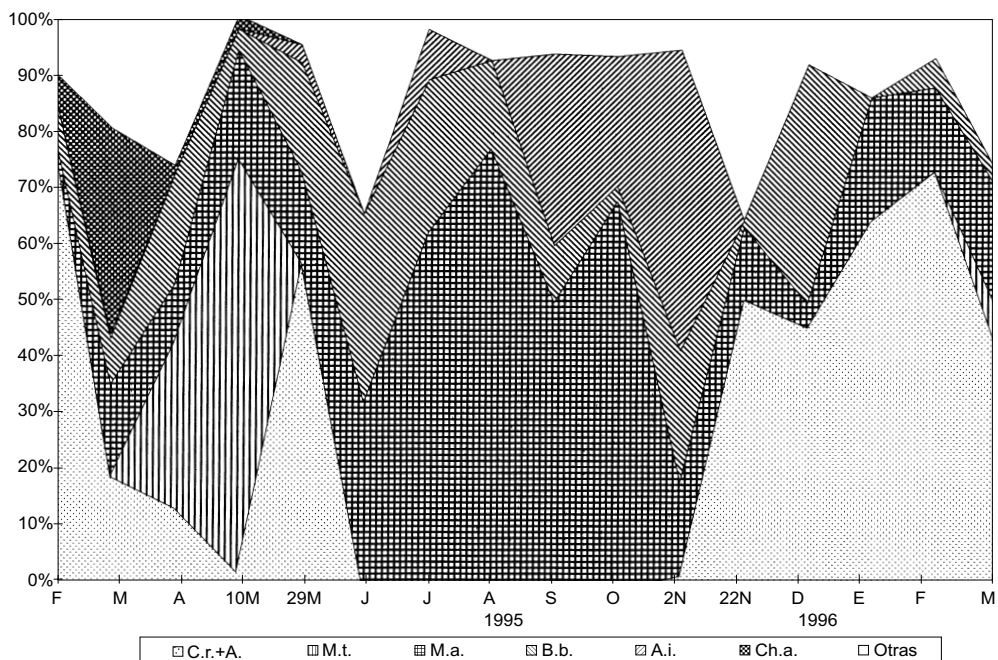


Fig. 10 — Biomasa relativa (% de la biomasa total) de las especies dominantes del fitoplancton en el estrato próximo a la zona del fondo, en la zona limnética. C.r.+A.: *Cylindrospermopsis raciborskii* + *Aphanizomenon* sp., M.t.: *Merismopedia tenuissima*, M.a.: *Microcystis aeruginosa*, B.b.: *Botryococcus braunii*, A.i.: *Aulacoseira italica*, Ch.a.: *Chlorogibba allorgei*, Otras: otras especies no dominantes.

Período A: abarca los dos primeros muestreos (febrero y marzo de 1995) caracterizados por la dominancia de *Cylindrospermopsis raciborskii*.

Período B: desde abril hasta fines de mayo/95, con dominancia de *Aphanizomenon* sp. y *Merismopedia tenuissima*.

Período C: desde junio hasta octubre/95, con dominancia de *Microcystis aeruginosa* y *Botryococcus braunii*.

Período D: desde noviembre/95 en adelante (hasta finalizar los estudios), con dominancia de *Aphanizomenon* sp.+*Cylindrospermopsis raciborskii*.

Período A

Caracterizó a este período una elevada densidad y biovolumen del fitoplancton. *Cylindrospermopsis raciborskii* fue la especie dominante el 28-2-95. En el segundo muestreo (el 7-3-95) realizado siete días después y con posterioridad a una tormenta, hubo declinación de la biomasa (Fig. 8) e incremento de la diversidad (Figs. 12 y 13). *Cryptomonas ovata* y *C. erosa* fueron las especies dominantes en el estrato superficial, a diferencia del resto de la columna de agua donde predominó *C. raciborskii* a profundidad media y *Chlorogibba allorgei* en las proximidades del fondo. *C. raciborskii* se caracterizó por no presentar heterocistes durante todo el período A (en el cual solamente desarrollaron acinetos). La concentración de las diferentes especies de nitrógeno (amonio y nitritos+nitratos) fueron las más elevadas de todo el año (Fig. 15).

Período B

El 70% de *Cylindrospermopsis raciborskii* fue reemplazado por *Aphanizomenon* sp. + *Merismopedia tenuissima*. Entre el 16 y 55% de los filamentos de la primera (*Aphanizomenon* sp.) se caracterizaron por presentar heterocistes. Hacia el final del período (luego de una lluvia) se produjo el colapso de las poblaciones de *M. tenuissima*, paralelamente a un incremento en la masa de poblaciones de *Microcystis aeruginosa* y *Botryococcus braunii*. A su vez, poblaciones de pequeñas algas verdes fueron dominantes en densidad (ind.mL⁻¹): *Chlorella vulgaris* en superficie y pequeños flagelados en profundidad media. La dominancia de estas últimas produjo una disminución de la diversidad (H') basada en la densidad en ese estrato. En cambio la caída de la H' basada en el biovolumen en el fondo se debió al eleva-

do volumen de *Aphanizomenon* sp., *M. aeruginosa* y *B. braunii* (Fig. 13).

Las distintas formas de nitrógeno no fueron detectables en algún momento del período B: el amonio al principio y al final y, los nitritos + nitratos, a la inversa (Fig. 15). Paralelamente a estos cambios también se produjeron modificaciones ambientales graduales características de la estación del año, tales como reducción de la temperatura y de la radiación solar (Fig. 4).

Período C

Hubo una marcada reducción de la densidad y biomasa total del fitoplancton, con dominancia de formas coloniales de Cyanophyta (*Microcystis aeruginosa*) y Chlorophyta (*Botryococcus braunii*). Al final del período adquirió importancia también *Aulacoseira italica* en las proximidades del fondo (Fig. 10). Una excepción se dio al iniciarse el período (muestreo del 14-6-95) en que, en los estratos superior y medio predominaron *Aulacoseira italica* y *Gymnodinium* sp., respectivamente (Figs. 8 y 9).

Paralelamente hubo reducción de la temperatura del agua (inferior a 20°C) y de la radiación solar (inferior a 20 MJ.m⁻²). Las precipitaciones fueron escasas (inferior a los 5 mm) y días de fuertes vientos (superior a 1,6 m.s⁻¹) alternaron con períodos de calma. La H' basada en la densidad presentó los valores más elevados de todo el año. La H' basada en el biovolumen fue baja debido a la gran masa alcanzada por grandes colonias de *M. aeruginosa* y *B. braunii*.

Período D

La temperatura y la radiación fueron elevadas. Caracterizó a este período la dominancia de cianofíceas filamentosas heterocistadas *Aphanizomenon* sp.+*Cylindrospermopsis raciborskii*. La primera predominó en noviembre y diciembre/95 (hasta el 90%), mientras que la segunda (*C. raciborskii*) desde enero/96 (hasta el 60%) declinando sus poblaciones al final del período. En ambas especies los filamentos con heterocistes representaron entre el 90 y 60%, respectivamente de sus poblaciones (Fig. 15).

d) Variaciones en la composición morfológica

Las especies dominantes en biomasa durante la mayor parte del año fueron *Microcystis aeruginosa* y *Botryococcus braunii* las que alcanzaron mayor masa durante el período C. Se caracterizaron por un gran tamaño (máxima dimensión

axial linear (MDAL): entre 900 y 1200 μm) y una baja relación area superficial/volumen (AS/V): entre 0,1 y 0,2 μm^{-1} . *Cylindrospermopsis raciborskii* y *Aphanizomenon* sp. dominantes en masa y densidad en los períodos A, B y D, se caracterizaron por amplias variaciones en la MDAL, con valores entre 180 y 450 μm , respectivamente y con una relación AS/V de 1,4 μm^{-1} durante los períodos de activo crecimiento. *Aphanizomenon* sp. disminuyó la relación AS/V a 0,7 μm^{-1} hacia el final, antes de que se produzca el colapso de sus poblaciones, el 29-5-95.

En los taxones restantes, tales como *Aulacoseira italica*, *Phormidium mucicola*, *Cryptomonas ovata*, *C. erosa* y *Merismopedia tenuissima*, la MDAL osciló entre 10 y 389 μm y la relación AS/V entre 0,1 y 2,4 μm^{-1} (Tabla 1).

e) Riqueza específica y diversidad

La más baja diversidad (H') se registró al inicio de los estudios (28-2-95) en relación a la elevada biomasa de una especie en particular: *Cylindrospermopsis raciborskii* (28-2-95) en la zona limnética (Fig. 13) y *Botryococcus braunii* (25-4-95) en la zona litoral (Fig. 14).

En la zona litoral, la H' basada en el biovolumen, fue mayor que en la zona limnética y osciló entre 1,18 (25-4-95) y 3,11 $\text{bits} \cdot \mu\text{m}^{-3}$ (11-3-96) (Fig. 14).

La diversidad basada en la biomasa, en la zona limnética osciló entre 1,04 $\text{bits} \cdot \mu\text{m}^3$ (28-2-95) y 2,92 $\text{bits} \cdot \mu\text{m}^3$ (25-4-95), con un patrón de variación semejante en las tres profundidades (Fig. 13). Durante la primera parte del período (entre marzo y junio/95) se mantuvo alta (entre 2,6 y 2,9 $\text{bits} \cdot \mu\text{m}^3$). A partir de julio presentó una notable caída, manteniéndose durante el resto de los estudios entre 1,9 y 2,4 $\text{bits} \cdot \mu\text{m}^3$. Esta reducción en la H' se debió fundamentalmente a la presencia de colonias de *Microcystis aeruginosa* y *Botryococcus braunii* de gran biovolumen, a las que se sumó *Aphanizomenon* sp. y *Cylindrospermopsis raciborskii* a partir del mes de noviembre.

Durante la mayor parte del año la H' siguió un patrón semejante a los valores de equidad. Sin embargo la baja diversidad específica en el muestreo del 22-11-95 en profundidad media, se debió a un escaso número de especies.

La diversidad (H') basada en la densidad, en la zona limnética (Fig. 12) varió entre 0,34 (el

22-11-95) y 3,69 $\text{bits} \cdot \text{ind}^{-1}$ (el 4-10-95) en el estrato superficial. En el período que va desde fines de mayo hasta principios de noviembre, la H' se mantuvo elevada (con valores superiores a 2,66 $\text{bits} \cdot \text{ind}^{-1}$), con la excepción de los muestreos del 4-10-95 y el 22-11-95, donde la caída de la H' en profundidad media, se debió a la elevada densidad de *Sphaerocystis planctonica* y *Phormidium mucicola*, respectivamente. Durante el resto del período, la baja diversidad se correspondió con la dominancia de una o dos especies de cianofíceas. En la zona litoral (de manera similar a lo señalado para la H' basada en la biomasa) también se registraron valores superiores al de la zona limnética (Fig. 14) entre 1,84 (4-1-96) y 4,13 $\text{bits} \cdot \text{ind}^{-1}$ (2-11-95).

La riqueza específica (RE) o número de especies fue baja durante el período en que dominaron las Cianofíceas filamentosas (*Aphanizomenon* sp. + *Cylindrospermopsis raciborskii*), particularmente en las proximidades del fondo, donde se observó la mayor acumulación.

La mayor riqueza específica (RE) se registró en el muestreo del 14-6-95 en que hubo una marcada estratificación de las algas dominantes en biovolumen (*Aulacoseira italica*, *Gymnodinium* sp., *Botryococcus braunii* y *Microcystis aeruginosa*) y densidad numérica (*Chlorella vulgaris* y pequeños flagelados verdes). El número de especies de la zona litoral fue muy superior al registrado en la zona limnética de la laguna (Tabla 2).

La zona litoral presentó una significativa correlación lineal negativa entre H' y masa del fitoplancton ($r = -0,751$; $p < 0,01$; g.l. = 30). En cambio, tal relación no se observó en la zona limnética debido a que altas diversidades ocurrieron durante altas biomásas.

En ambas estaciones de muestreo en cambio, hubo una alta correlación negativa entre abundancia ($\text{ind} \cdot \text{mL}^{-1}$) y H' basada en la densidad ($r = -0,751$; $p < 0,01$; g.l. = 30), excepto en las proximidades del fondo de la zona limnética.

Una ligera diferencia se observó en la H' basada en la densidad, entre la zona litoral y los estratos superficial ($t = 2,651$; $p < 0,02$; g.l. = 13) e intermedio ($t = 2,235$; $p < 0,05$; g.l. = 13) de la zona limnética.

En ambas estaciones de muestreo la H' basada en la densidad se correlacionó negativamente con la abundancia y positivamente con la riqueza específica ($r = 0,703$; $p < 0,01$; g.l. = 30).

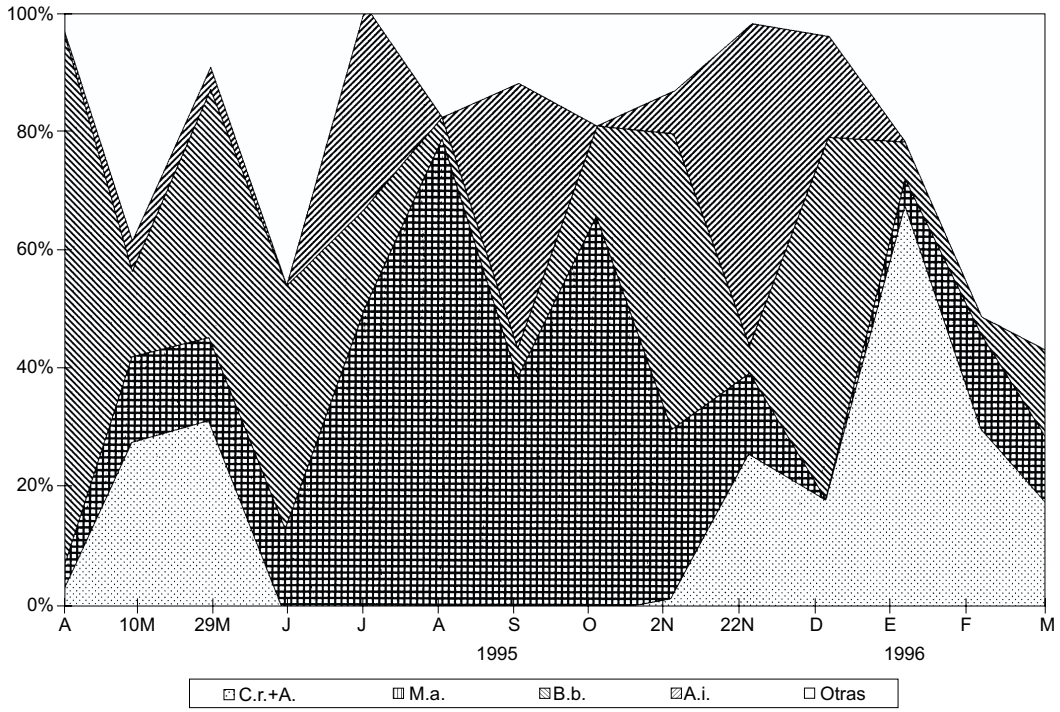


Fig. 11 — Variación temporal de la biomasa relativa (%) de las especies dominantes del fitoplancton en la zona litoral del lago. C.r. + A.: *Cylindrospermopsis raciborskii* + *Aphanizomenon*, M.a.: *Microcystis aeruginosa*, B.b.: *Botryococcus braunii*, A.i.: *Aulacoseira italica*, Otras: otras especies no dominantes.

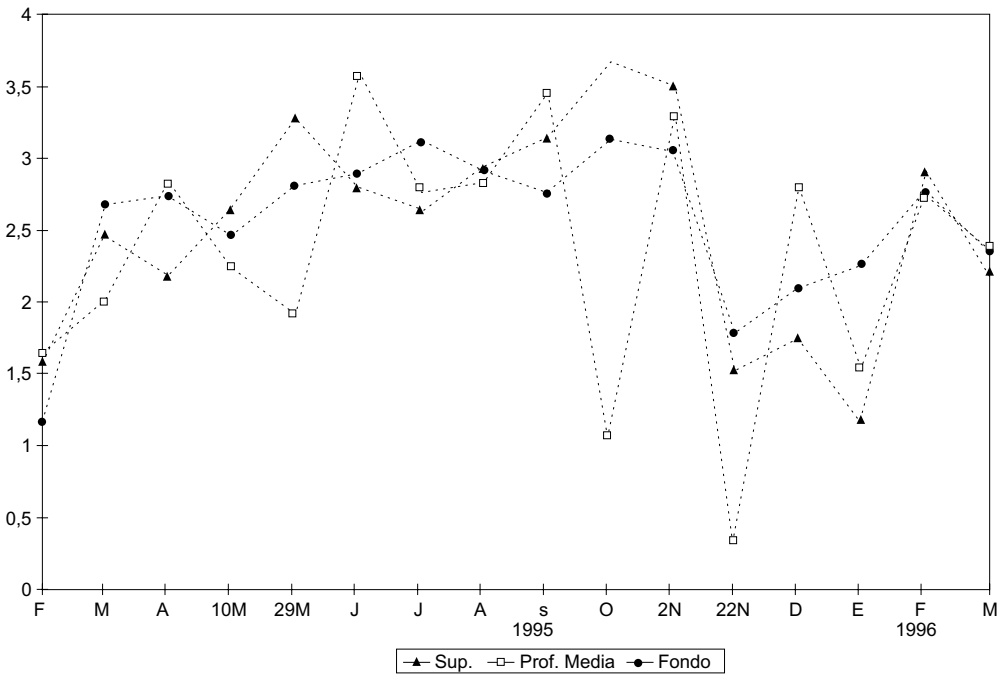


Fig. 12 — Variación de la diversidad del fitoplancton basada en la densidad (bits.ind⁻¹) a diferentes profundidades de la zona limnética del lago.

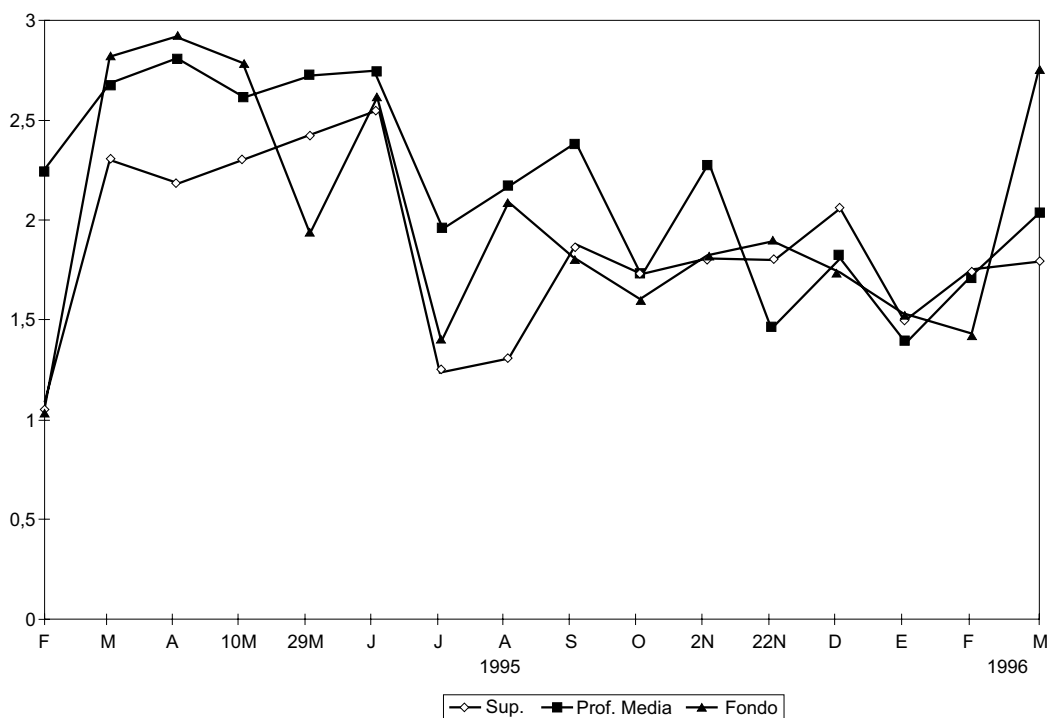


Fig. 13 — Variación de la diversidad del fitoplancton basada en el biovolumen (bits.µm⁻³) a diferentes profundidades de la zona limnética.

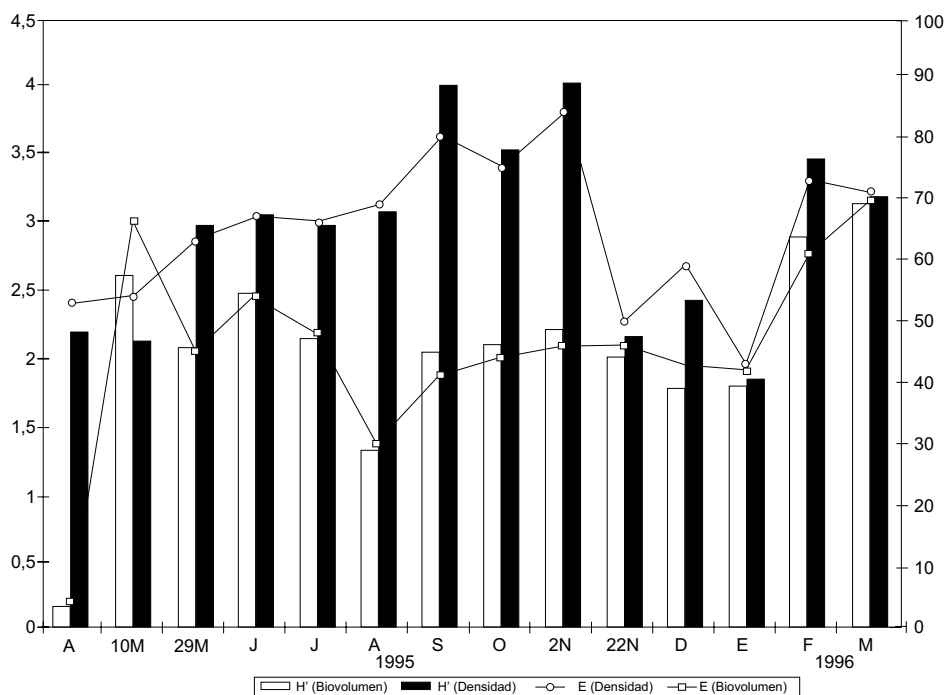


Fig. 14 – Variaciones de la diversidad (basada en la densidad y el biovolumen) y de la equidad en la zona litoral de la “laguna Aeroclub”.

TABLA 1
Características morfológicas de las especies dominantes en términos de biomasa.
Forma: formas geométricas. V: volumen celular (μm^3), AS: área superficial (μm^2),
AS/V: relación área superficial/volumen (μm^{-1}), MDAL: máxima dimensión axial lineal (μm).

Especies	Forma	V (μm^3)	AS (μm^2)	AS/V (μm^{-1})	MDAL (μm)
○ <i>Anabaena perturbata</i> *	elipsoide	5650	5650	1	200
■ <i>Aphanizomenon</i> sp. **	cilindro	5914	8539	1,4	450
■ <i>Cylindropermopsis raciborskii</i> **	cilindro	371	260	0,7	180
■ <i>Merismopedia tenuissima</i> *	esfera	768	1248	1,6	30
● <i>Microcystis aeruginosa</i> *	esfera	$2,5 \times 10^6$	$4,5 \times 10^6$	0,2	1200
■ <i>Phormidium mucicola</i> **	cilindro	53	130	2,4	10
○ <i>Planitolingbya subtiitii</i> **	cilindro	368	741	2	117
● <i>Botryococcus braunii</i> **	esfera	$18,8 \times 10^6$	$2,5 \times 10^6$	0,1	900
○ <i>Chlorella vulgaris</i>	esfera	113	113	1	6
○ <i>Pequeños flagelados verdes</i>	elipsoide	54	13	0,2	6,5
○ <i>Monoraphidium contortum</i>	bicono	20	34	1,7	12
○ <i>Monoraphidium tortile</i>	bicono	22	44	2	17
○ <i>Sphaerocystis planctonica</i> *	esfera	272	402	1,5	24
● <i>Aulacoseira italica</i> *	cilindro	43424	14480	0,3	389
○ <i>Chlorogibba allorgei</i>	esfera	697	380	0,5	11
■ <i>Cryptomonas ovata</i>	cono	888	90	0,1	18
■ <i>Cryptomonas erosa</i>	elipsoide	559	125	0,2	17
● <i>Gymnodinium</i> sp.	esfera	1767	707	0,4	15
○ <i>Trachelomonas volvocina</i>	esfera	905	4520	0,5	12

● especies dominantes en biovolumen.

○ especies dominantes en densidad.

■ especies dominantes en densidad y biovolumen.

En las especies señaladas con un asterisco (*) los biovolúmenes fueron calculados a partir de células individuales. Las señaladas con doble asterisco (**) corresponden a formas filamentosas o coloniales donde no fue posible distinguir células individuales, tomándose como referencia la longitud de los filamentos o el diámetro de las colonias.

f) *Clorofila a*

La clorofila *a* (Fig. 4) de un modo general reflejó la variación anual de la biomasa del fitoplancton (correlación lineal, $r = 0,702$; $p < 0,01$), oscilando entre valores de 0,7 (agosto de 95) y $8 \mu\text{g.L}^{-1}$ (el 10-05-95).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

En la "Laguna Aeroclub" se registraron 137 taxones de algas, sin embargo fueron pocas las especies que se caracterizaron por su dominancia (Tabla 1). Cyanophyta y Chlorophyta fueron los grupos que predominaron a lo largo del año, de manera similar a lo observado años anteriores en éste ambiente (Matveev *et al.*, 1992) y en otros de características limnológicas semejantes (Bonetto *et al.*, 1978a, 1978b) durante primavera y verano.

La "Laguna Aeroclub" presenta características eutróficas, tanto por la elevada densidad del fitoplancton como por la composición de los taxones que lo integran, caracterizado por un reducido número de especies dominantes (principalmente cianofíceas) durante los meses más cálidos del año.

La abundancia del fitoplancton y las concentraciones de clorofila *a* fueron elevadas (máximos de 9689 ind.mL^{-1} y $8 \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente). Tales valores fueron similares o superiores a lo registrado en otros ambientes lénticos de América del Sur, en clima tropical y subtropical (Schmidt, 1970; Bonetto *et al.*, 1978a, 1978b; Huszar, 1989; Marinho *et al.*, 1990, 1993; Giani y Leonardo, 1988; García de Emiliani, 1980, 1993; Zalocar de Domitrovic, 1990, 1992, 1993).

La menor densidad y biomasa de la zona litoral (en relación a la zona limnética) coincide con observaciones señaladas en otro tipo de ambientes vegetados de la región argentina (Zalocar de Domitrovic, 1992; Zalocar de Domitrovic *et al.*, 1986). La escasa densidad y biomasa algal de la zona litoral (máximos de 3470 ind.mL⁻¹ y 4,4x10⁶ µm³.L⁻¹, respectivamente) con respecto al área limnética probablemente se deba a una fuerte competición entre el fitoplancton y los macrófitos, por nutrientes similares (Oleksowicz, 1987). Excepcionalmente la elevada biomasa registrada en la zona litoral (33x10⁶ µm³.L⁻¹) en un único muestreo, se debió a la acumulación de colonias de *Microcystis aeruginosa* y *Botryococcus braunii* en la dirección de los vientos predominantes en ese momento.

Varios autores (entre ellos Hutchinson, 1967, Wetzel, 1981, Esteves, 1988) señalan que el reciclado de nutrientes y el flujo de energía en la zona litoral es controlado por la comunidad de macrófitos, mientras que en la zona limnética lo es por el fitoplancton. La zona litoral (compara-

tivamente con la zona limnética) presentó una elevada diversidad y riqueza específica. En la zona litoral se registraron 125 especies contra 86 de la zona limnética, mientras que 74 fueron comunes a ambas. Las condiciones físico-químicas diferentes a la zona limnética y la mayor variedad de nichos que ofrecen los macrófitos acuáticos de la zona litoral serían propicios para una mayor diversidad específica.

Utilizando la terminología de Reynolds (1988), pudieron identificarse diferentes tipos de estrategias. En general, predominaron en biomasa los estrategias S tales como colonias de *Microcystis aeruginosa* (Cyanophyta) y *Botryococcus braunii* (Chlorophyta). Formas filamentosas de Cyanophyta: *Cylindrospermopsis raciborskii* y *Aphanizomenon* sp. predominaron en densidad y biomasa durante los meses más cálidos del año (en primavera, verano y parte del otoño) con temperaturas y radiación superiores a 20°C y 20 MJ.cm⁻², respectivamente. Entre fines de mayo y principios de noviembre (período con predominio de vientos) fueron dominantes en densidad (pero no

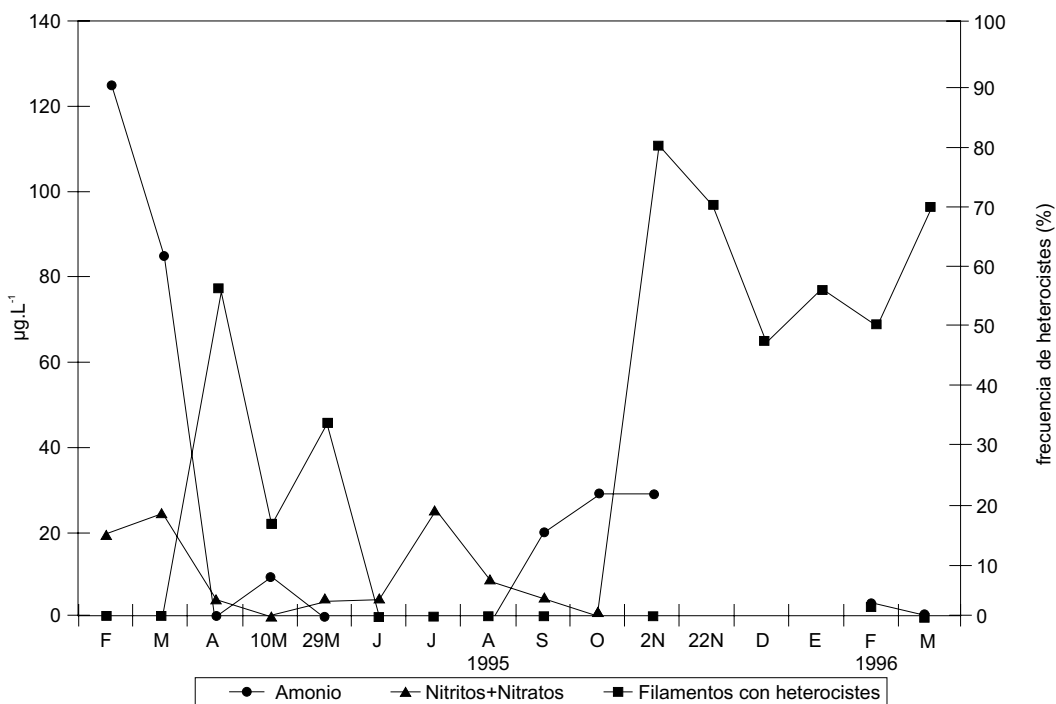


Fig.15 — Variación de las concentraciones de las principales especies de nitrógeno (en µg.L⁻¹) en relación a la frecuencia de filamentos con heterocistes de *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Aphanizomenon* sp. y *Anabaena perturbata*

en biovolumen) estrategias C, es decir algas pequeñas con una alta relación AS/V tales como *Chlorella vulgaris*, pequeños flagelados verdes, *Monoraphidium contortum*, *M. tortile*, *Phormidium mucicola*, *Cryptomonas ovata* y *C. erosa*. Ocasionalmente y durante los períodos de mayor disturbio (ocasionados principalmente por el viento) se observaron estrategias R (*Aulacoseira italica* y *Gymnodinium* sp.).

La declinación de las poblaciones de *Cylindrospermopsis raciborskii* y *Aphanizomenon* sp. se produjeron paralelamente a una reducción de la radiación solar otoñal, entre 15 y 20 MJ.m⁻² (Fig. 4) y de la temperatura del agua (inferior a 20°C). Estas especies se mantuvieron como un inóculo potencial (filamentos y/o acinetos) sobre los sedimentos del fondo durante su ausencia en la columna de agua (desde junio hasta noviembre). Las mismas reiniciaron su crecimiento cuando la radiación solar (a fines de primavera) superó los 20 MJ.m⁻² y la temperatura del agua fue superior a los 20°C en las proximidades del fondo.

Varios autores han señalado acerca de la importancia del rol que juega la inoculación directa de las algas desde el bentos (ej. *Aulacoseira*, cianofíceas etc.). La permanencia de las algas azules sobre los sedimentos del fondo durante una parte de su ciclo de vida, antes de su rápida aparición en la columna de agua fue señalada para numerosos ambientes por Sirenko *et al.* (1969), Preston *et al.* (1980), Barbiero & Welch (1992) Barbiero & Kann (1994).

En la "laguna Aeroclub" el incremento de la luz y de la temperatura que precedieron al episodio del crecimiento de las poblaciones de *Aphanizomenon* sp. y *Cylindrospermopsis raciborskii* en noviembre de 1995, coincide con observaciones señaladas para *Aphanizomenon flos-aquae* y otras especies de cianofíceas por Reynolds (1972); Barbiero (1993) y Barbiero & Kann (1994.). Estos autores sugieren que la luz es uno de los factores más importantes en la determinación del tiempo y magnitud de la resuspensión de algunas especies de cianofíceas (tales como *Anabaena circinalis*, *Gloeotrichia echinulata* y *Aphanizomenon flos-aquae*).

En la "laguna Aeroclub", *Microcystis aeruginosa* (a diferencia de *Aphanizomenon* sp. y *C. raciborskii*) se registró en el plancton durante todo el año con mayor densidad y biomasa en las proximidades del fondo.

La concentración de fósforo (ortofosfatos) no fue detectable en el estrato superficial. Es de suponer que el crecimiento del fitoplancton fue mantenido principalmente por los nutrientes contenidos en los sedimentos del fondo y probablemente también por translocación de pequeñas cantidades desde los sedimentos y liberados a través de diferentes mecanismos hacia la columna de agua, o por intermedio de algas mero-planctónicas.

Hay evidencias de que muchas especies de cianofíceas (al igual que otros grupos de algas) pueden sobrellevar un período de asimilación de nutrientes mientras están en contacto con la gran reserva de P del sedimento intersticial y subsecuentemente suspenderse en la columna de agua con suficientes reservas como para salvar una futura captación durante numerosas divisiones celulares. Lo señalado quizás estaría relacionado a las cianofíceas registradas en la "laguna Aeroclub", tales como *Anabaena perturbata* que hizo su aparición en la columna de agua en septiembre-octubre pasando un período de su vida en el fondo como acinetos, al igual que *Aphanizomenon* sp. y *Cylindrospermopsis raciborskii*, como filamentos y/o acinetos y también *Microcystis aeruginosa* como colonias (de observaciones realizadas en muestras de sedimento superficial del fondo). Si bien la última especie no desapareció de la columna de agua durante todo el año, su mayor abundancia y biomasa se registró en las proximidades del fondo, la cual captaría P no sólo de los sedimentos, sino también el poco P disponible de toda la columna de agua.

La limitación del P en éste ambiente fue demostrada por experiencias de laboratorio a la que al agua del estrato superficial se le adicionó nutrientes inorgánicos: amonio, nitratos y fosfatos, en una relación N/P de 10:1 (Zalocar de Domitrovic *et al.*, en prep.).

En la "laguna Aeroclub" se registraron especies de cianofíceas fijadoras y no fijadoras de nitrógeno. Entre las especies heterocistadas (fijadoras de nitrógeno) se observó *Anabaena perturbata*, *Cylindrospermopsis raciborskii* y *Aphanizomenon* sp. La primera sólo se registró en los muestreos de septiembre y octubre (en este último en mayor densidad). *C. raciborskii* no desarrolló heterocistes en el período A, cuando las concentraciones de diferentes especies de N fueron las más altas del año, período en que se

produjeron las mayores precipitaciones pluviales. En cambio, durante el resto de los períodos siempre desarrollaron heterocistes, al igual que *Aphanizomenon* sp. El resto de las especies de cianofíceas no heterocistadas correspondieron a *Microcystis aeruginosa*, *Merismopedia tenuissima* y *Aphanocapsa* spp. entre otros taxones escasamente representados en biomasa.

De manera similar a lo que fuera señalado por Blomqvist *et al.* (1994) para lagos eutróficos del hemisferio norte, es de suponer que cuando se agota el pool de N inorgánico, la recirculación de N orgánico es suficiente como para sustentar la productividad en toda la columna de agua. En cambio en situaciones de estratificación (cuando la recirculación no es lo suficientemente alta co-

mo para sustentar la productividad), aparecerían, y/o desarrollarían heterocistes, las especies fijadoras de nitrógeno.

En la "laguna Aeroclub" la frecuencia de cianofíceas filamentosas con heterocistes estuvo inversamente correlacionada con las concentraciones de nitritos + nitratos ($r = -0,767$; $p < 0,01$; g.l. = 14) y de amonio ($r = -0,674$; $p < 0,01$; g.l. = 14). A su vez las concentraciones de las diferentes especies de nitrógeno estuvieron fuertemente correlacionadas con el valor medio diario de las lluvias caídas 10 días antes de cada muestreo: $r = 0,951$; $p < 0,01$ (amonio) y $r = 0,940$; $p < 0,01$ (nitritos + nitratos). Una alta correlación positiva se registró entre las masa del fitoplancton y las precipitaciones caídas ($r = 0,772$; $p < 0,01$; g.l. = 30).

TABLA 2

Lista de las especies de algas registradas en la "laguna Aeroclub". Estación A: zona limnética, Estación B: zona litoral, x: presencia, -: ausencia, N.I.: no identificado.

	Estación A	Estación B
CYANOPHYCEAE		
<i>Anabaena aphanizomenoides</i> Forti	X	X
<i>A. perturbata</i> Hill.	X	X
<i>A. spiroides</i> Kleb.	X	-
<i>Aphanizomenon</i> sp.	X	X
<i>A. elachista</i> W. & G. S. West var. <i>elachista</i>	X	X
<i>A. elachista</i> var. <i>planctonica</i> G. M. Smith	X	-
<i>A. pulchra</i> (Kütz.) Rabenh.	X	X
<i>A. roseana</i> de Bary	-	X
<i>Aphanothece stagnina</i> (Spreng.) A. Br.	-	X
<i>Coelosphaerium kuetzingianum</i> Nag.	X	X
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Wolosz.) Seenayya <i>et</i> Subba Raju	X	X
<i>Gomphosphaeria aponina</i> Kütz.	X	X
<i>G. lacustris</i> Chodat	-	X
<i>Lynghya gracilis</i> Rabenh.	-	X
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemm.	X	X
<i>Microcystis aeruginosa</i> Kütz.	X	X
<i>M. flos-aquae</i> (Wittr.) Kirchner	X	X
<i>Oscillatoria</i> sp.	-	X
<i>Phormidium mucicola</i> Hüb.-Pest. & Naum.	X	X
<i>Planktolynghya confortata</i> (Lemm.) Anag. & Kom.	X	X
<i>P. subtilis</i> (W. West) Anag. & Kom.	X	X
CHLOROPHYCEAE		
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerh.	X	-
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	X	X

TABLA 2 (continuación)

	Estación A	Estación B
CHLOROPHYCEAE (cont.)		
<i>A. arcuatus</i> Kors.	X	-
<i>A. bibraianus</i> (Reinsch) Kors.	-	X
<i>Ankyra judayi</i> (G. M. Smith) Fott	X	-
<i>Botryococcus braunii</i> Kütz.	X	X
<i>Carteria</i> sp.	-	X
<i>Chlamydomonas</i> sp.	X	X
<i>Chlorella vulgaris</i> Beij.	X	X
<i>Chlorogonium</i> sp.	-	X
<i>Choricystis coccoides</i> (Rodhe & Skuja) Fott	-	X
<i>Closteriopsis acicularis</i> (G. M. Smith) Belch & Swale	X	X
<i>Coelastrum indicum</i> Turn.	-	X
<i>C. pseudomicroporum</i> Kors.	X	X
<i>C. pulchrum</i> Schmidle	-	X
<i>Coenococcus planctonicus</i> Kors.	-	X
<i>Crucigenia tetrapedia</i> (Kirchn.) W. & G. S. West	-	X
<i>C. quadrata</i> Morr.	X	X
<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> Näg.	X	X
<i>Dimorphococcus lunatus</i> A. Br.	-	X
<i>D. cecoalensis</i> Tell	-	X
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille	-	X
<i>Eudorina elegans</i> Ehr.	-	X
Flagelado N. I.	X	X
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchn.) Moeb.	-	X
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Kors.) Hind.	X	X
<i>M. contortum</i> (Thur.) Kom.-Legn.	X	X
<i>M. convolutum</i> (Corda) Kom.-Legn.	-	X
<i>M. griffithii</i> (Berk.) Kom.-Legn.	X	-
<i>M. pusillum</i> (Printz) Kom.-Legn.	X	X
<i>M. tortile</i> (W. & G. S. West) Kom.-Legn.	X	X
<i>Nephrocytium agardhianum</i> Näg.	-	X
<i>Oocystis lacustris</i> Chod.	-	X
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	X	X
<i>P. simplex</i> Meyen	-	X
<i>P. tetras</i> (Ehr.) Ralfs	X	X
<i>Scenedesmus</i> sp.	X	X
<i>S. caribeanus</i> Kom.	-	X
<i>S. oahuensis</i> (Lemm.) G. M. Smith	-	X
<i>S. perforatus</i> Lemm.	X	X
<i>S. protuberans</i> Fritsch	-	X
<i>S. quadricuada</i> (Turp.) Bréb.	X	X
<i>S. smithii</i> Teil.	-	X
<i>Schroederia setigera</i> (Schrod.) Lemm.	X	X
<i>Sphaerocystis planctonica</i> (Kors.) Bourr.	X	X
<i>S. polycocca</i> Kors.	-	X
<i>S. schroeteri</i> Schod.	X	X

TABLA 2 (continuación)

	Estación A	Estación B
ULOTHRICOPHYCEAE		
<i>Oedogonium</i> sp. 1	-	X
<i>Oedogonium</i> sp. 2	-	X
<i>Radiofilum transversalis</i> (Bréb.) Ramanathan	X	X
<i>Ulothrix bipyreoidosa</i> Fritsch et Rich	-	X
CONJUGATOPHYCEAE		
<i>Closterium</i> sp.	-	X
<i>C. ehrenbergii</i> Menegh.	X	X
<i>C. gracile</i> Bréb.	-	X
<i>Cosmarium blythii</i> Wille	X	X
<i>C. paraguayense</i> Borge	-	X
<i>C. pusillum</i> (Bréb.) Arch.	X	X
<i>Cosmocladium constrictum</i> Arch.	-	X
<i>Euastrum abruptum</i> Nordst.	-	X
<i>E. evolutum</i> (Nordst.) West et West	-	X
<i>E. evolutum</i> var. <i>nycticorax</i> Couté et Tell	-	X
<i>Hyalotheca siolii</i> (Forst.) Forst.	-	X
<i>Micrasterias radiata</i> Hass.	-	X
<i>Sphaerosma laeve</i> var. <i>Iatum</i> (W. et G. S. West) Forst.	-	X
<i>Spirogyra</i> sp.	-	X
<i>Spondylosium pulchrum</i> (Bail.) Archer	-	X
<i>Staurastrum bieneanum</i> var. <i>depressum</i> Messik.	-	X
<i>S. brasiliense</i> Nordst.	-	X
<i>S. leptacanthum</i> var. <i>borgei</i> Forst.	-	X
<i>S. leptocladum</i> var. <i>cornutum</i> Wille	-	X
<i>S. leptocladum</i> var. <i>subinsigne</i> Scott & Gronbl.	-	X
<i>S. pseudosebaldi</i> Wille	X	X
<i>S. rotula</i> Nordst.	-	X
<i>S. setigerum</i> Cleve	X	X
<i>Stauroidesmus lobatus</i> var. <i>ellipticus</i> fa. <i>minor</i> (Smith) Teil.	X	X
<i>S. triangularis</i> (Lagerh.) Teil.	X	X
<i>Teilingia granulata</i> (Roy et Biss.) Bourr.	-	X
BACILLARIOPHYCEAE		
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr.) Simonsen	X	X
<i>A. italica</i> (Ehr.) Simonsen	X	X
<i>Eunotia indica</i> Grun.	-	X
<i>Nitzschia amphibia</i> Grun.	X	X
<i>Rhizolenia eriensis</i> H. L. Smith	X	-
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehr.	X	X
CHRYSOPHYCEAE		
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehr.	X	X
<i>Mallomonas</i> sp. 1	X	X
<i>Mallomonas</i> sp. 2	X	X
<i>Synura</i> sp.	X	X

TABLA 2 (continuación)

	Estación A	Estación B
XANTHOPHYCEAE		
<i>Chlorogibba allorgei</i> Bourr.	X	X
<i>Goniochloris sculpta</i> Geitler	X	X
<i>Polyedriella</i> sp.	X	X
<i>Pseudostaurastrum limneticum</i> (Borge) Chodat	X	X
<i>P. Iobulatum</i> (Nag.) Chodat	X	X
<i>Tetraedriella jovetii</i> (Bourr.) Bourr.	X	X
<i>Tetraplektron torsum</i> (Skuja) Dedus.	X	X
<i>Trachydiscus minutus</i> (Bourr.) Ettl	X	X
EUGLENOPHYCEAE		
<i>Euglena</i> sp.	X	X
<i>E. acus</i> Ehr.	-	X
<i>E. oxyuris</i> Schmarida	X	-
<i>E. polymorpha</i> Dang.	X	X
<i>Lepocinclis salina</i> Fritsch	X	-
<i>Phacus</i> sp.	X	-
<i>P. platalea</i> Drez.	X	X
<i>Strombomonas ovalis</i> (Playf.) Defl.	X	-
<i>Trachelomonas armata</i> (Ehr.) Stein.	X	X
<i>T. armata</i> var. <i>steinii</i> Lemm	X	X
<i>T. volvocina</i> Ehr.	X	X
CRYPTOPHYCEAE		
<i>Chroomonas acusa</i> Uterm.	X	X
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehr.	X	X
<i>C. marssonii</i> Skuja	X	X
<i>C. ovata</i> Ehr.	X	X
<i>C. pusilla</i> Bachman	X	-
<i>C. rostratiformis</i> Skuja	X	X
<i>Rhodomonas</i> sp.	X	X
DINOPHYCEAE		
Dinoflagelado desnudo N. I.	X	X
<i>Gymnodinium</i> sp.	X	X
<i>Peridinium</i> sp.	X	X

Es de suponer que el aporte de nutrientes por las lluvias, desde la atmósfera y/o por arrastre desde los terrenos circundantes (con áreas cultivadas) fue importante para el desarrollo del fitoplancton. La limitación del fósforo fue marcada, a diferencia del nitrógeno (en sus distintas formas)

que en algunos casos fue limitante. En tal ocasión, durante el período en que predominaron las cianofíceas filamentosas heterocistadas se observó un aumento en la frecuencia de filamentos con heterocistes, en coincidencia con un período de notoria sequía.

Agradecimientos — Al director del Centro de Ecología Aplicada del litoral, Prof. Juan J. Neiff por el apoyo brindado en la realización del trabajo, a los señores Luis A. Benetti y Miguel A. Solari la valiosa colaboración en las tareas de campo, a Abel O. Ramos y Julio R. Cáceres la realización de los análisis de nutrientes, a Francisco G. Benítez el entintado de las figuras y al personal del Centro Tecnológico de Producción (Convenio Gobierno provincia de Corrientes-Gobierno de Japón) el habernos proporcionado los datos meteorológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- APHA, 1985, *Standard methods for the examination of water and wastewater*. APHA, ANWA and WPCF, Washington, 874p.
- BARBIERO, R. P., 1993, A contribution to the life history of the planktonic cyanophyte, *Gloeotrichia echinulata*. *Arch. Hydrobiol.*, 127(1): 87-100.
- BARBIERO, R. P. & WELCH, E. B., 1992. Contribution of benthic blue-green algal recruitment to lake populations and phosphorus translocation. *Freshwater Biology*, 27: 249-260.
- BARBIERO, R. P. & KANN, J., 1994, The importance of benthic recruitment to the population development of *Aphanizomenon flos-aquae* and internal loading in a shallow lake. *Journal of Planiton Research*, 16(11): 1581-1588.
- BLOMQUIST, P., PETERSSON, A. & HYENSTRAND, P., 1994, Ammonium-nitrogen: A key regulatory factor causing dominance of non-nitrogen-fixing cyanobacteria in aquatic systems. *Arch. Hydrobiol.*, 132(2): 141-164.
- BONETTO, A. A., CORRALES, M. A., VARELA, M. E., RIVERO, M. M., BONETTO, C. A. & ZALOCAR, Y., 1978a, Estudios limnológicos en la cuenca del Riachuelo. II. Lagunas Totoras y González. *ECOSUR*, 5(9): 17-55.
- BONETTO, A. A., NEIFF, J. J., POI de NEIFF, A., VARELA, M. E., CORRALES, M. A. & ZALOCAR, Y., 1978b, Estudios limnológicos en la cuenca del Riachuelo (Corrientes, Argentina) III: Laguna "La Brava". *ECOSUR*, 5(9): 57-84.
- BRUNIARD, E. D., 1981, *El clima de las planicies del norte argentino*. Facultad de Humanidades de la U.N.N.E. Resistencia, Chaco, Vol. I-II, 379p. (Tesis doctoral).
- CARO, P. M., BONETTO, C. A. & ZALOCAR, Y., 1979, Producción primaria del fitoplancton de Lagunas del Noroeste de la provincia de Corrientes. *ECOSUR*, 6(11): 83-100.
- ESTEVEZ, F. A., 1988, *Fundamentos de Limnología*. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 575p.
- GARCIA de EMILIANI, M. O., 1980, Fitoplancton de una laguna del valle aluvial del Paraná medio ("Los Matadores", Santa Fé, Argentina). I. Estructura y distribución en relación a factores ambientales. *Ecología*, 4: 127-140.
- GARCIA de EMILIANI, M. O., 1990, Variaciones diurnas del fitoplancton (laguna "El tigre", llanura aluvial del Paraná medio, Argentina). *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 21: 49-60.
- GARCIA de EMILIANI, M. O., 1993, Seasonal succession of phytoplankton in a lake of the Paraná river floodplain, Argentina. *Hydrobiologia*, 264: 101-114.
- GIANI, A. & LEONARDO, I. M., 1988, Distribuição vertical de algas fitoplanctônicas no reservatório da Pampulha (Belo Horizonte, MG). *Acta Limnol. Brasil.*, 11: 387-404.
- HUSZAR, V. L. M., 1989, Considerações sobre o fitoplâncton da lagoa de Juturnaíba, Araruama, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Rev. Brasil. Biol.*, 49(1): 107-123.
- HUTCHINSON, G. E., 1957, *A Treatise on Limnology. Geography, physics and chemistry*. J. Wiley & Sons, Inc., New York, Vol. 1, 1015p.
- HUTCHINSON, G. E., 1967, *A Treatise on Limnology. Introduction to lake biology and the limnoplankton*. J. Wiley & Sons, Inc., New York, Vol. 2, 1015p.
- LEWIS, W. M., 1978a, Dynamics and succession of the phytoplankton in a tropical lake: Lake Lanao, Philippines. *J. Ecol.*, 66: 849-880.
- LEWIS, W. M., 1978b, Analysis of succession in a tropical phytoplankton community and new measure of succession rate. *Amer. Natur.*, 112(984): 401-414.
- LUND, J. W. G., KIPLING, C. & LE CREN, E. D., 1958, The inverted microscope method of estimating algal numbers and statistical basis of estimating by counting. *Hydrobiologia*, 11:143-170.
- MARINHO, M. M. & HUSAR, V. L. M., 1990, Estrutura da comunidade fitoplanctônica da lagoa de Juturnaíba, Araruama, RJ, Brasil: Uma comparação entre o centro da região limnética, tributários e canal de drenagem. *Rev. Brasil. Biol.*, 50(2): 313-325.
- MARINHO, M. M., HUSZAR, V. L. M. & SAMPAIO-PINTO, G. F., 1993, Estrutura da comunidade fitoplanctônica da lagoa de Juturnaíba, Araruama, RJ, Brasil: Uma comparação entre os períodos anterior e posterior à construção da Barragem no rio São João. *Rev. Brasil. Biol.*, 53(3): 453-467.
- MATVEEV, V., MARTINEZ, C. C., FRUTOS, S. M. & ZALOCAR de DOMITROVIC, Y., 1992, Population control in planktonic crustaceans of a subtropical lake during seasonal succession. *Arch. Hydrobiol.*, 124(1): 1-18.
- OLEKSOWICZ, A. S., 1987, Does there exist competition between phytoplankton and littoral plant vegetation in lake ecosystem? *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, 73(4): 575-585.
- PRESTON, T., STEWART, W. D. P. & REYNOLDS, C. S., 1980, Bloom-forming cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* over-winters on sediment surface. *Nature*, 288: 365-367.
- REYNOLDS, C. S., 1972, Growth, gas vacuolation and buoyancy in a natural population of planktonic blue-green alga. *Freshwater Biology*, 2: 87-106.
- REYNOLDS, C. S., 1984, *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge, 384 p.
- REYNOLDS, C. S., 1988, Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton. In: C. D. Sandgren (ed.). *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*, Cambridge University Press, Cambridge, 388-433.

- ROTT, E., 1981, Some results from phytoplankton counting intercalibrations. *Schweiz Z. Hydrol.*, 43: 34-61.
- SCHMIDT, G. W., 1970, Numbers of bacterias and algae and their interrelations in some Amazonian waters. *Amazoniana*, 2(4): 393-400.
- SENICHKIN, L. G., 1978, A procedure for calculating the volumes of algal cells in Plankton. *Hydrobiological Journal.*, 14(5): 87-90.
- SHANNON, C. & WEAVER, W., 1963, *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press. Urbana, 117p.
- SIRENKO, L. A., CHERNOUSOVA, V. M, ARENDARCHUK, V. V. & KOZITSKAYA, V. N., 1969, Factors of mass development of blue-green algae. *Hydrobiological Journal*, 5(3): 1-10.
- SOKAL, R. & ROHLF, F. J., 1979, *Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Ed. Blume, Madrid, 832p.
- TALLING, J. F., 1986, The seasonality of phytoplankton in African lakes. *Hydrobiologia*, 138: 139-160.
- UTERMÖHL, H., 1958, Zur Vervollkommnung ver quantitativen Phytoplankton-Methodic. *Mitt. Int. Verein. Limnol.*, 9: 1-38.
- WETZEL, R. G., 1981, *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona, 679p.
- ZALOCAR de DOMITROVIC, Y., 1990, Efecto de las fluctuaciones del nivel hidrométrico sobre el fitoplancton en tres lagunas isleñas en al área de confluencia de los ríos Paraná y Paraguay. *ECOSUR*, 16(27): 1-23.
- ZALOCAR de DOMITROVIC, Y., 1992, Fitoplancton de ambientes inundables del río Paraná (Argentina). *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 25(3): 177-188.
- ZALOCAR de DOMITROVIC, Y., 1993, Fitoplancton de una laguna vegetada por *Eichhornia crassipes* en el valle de inundación del río Paraná (Argentina). *Ambiente Subtropical*, 3: 39-67.
- ZALOCAR de DOMITROVIC, Y., VALLEJOS, E. R. & PIZARRO, H. N., 1986, Aspectos ecológicos de la ficoflora de ambientes acuáticos del Chaco Oriental (Argentina). *Ambiente Subtropical*, 1: 92-111.