

# Abundancia y distribución temporal del fitoplancton en el Embalse Rapel, Chile Central

Abundance and temporal distribution of the phytoplankton at the Rapel Reservoir, Central Chile

IRMA VILA<sup>1</sup>, ILSE BARENDS<sup>2</sup> y VIVIAN MONTECINO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Casilla 653, Santiago, Chile; <sup>2</sup>Fundación Chile, Vía Parque Institucional 6651, Santiago, Chile.

## RESUMEN

Se analiza la composición y abundancia del fitoplancton del Embalse Rapel durante un ciclo anual (1976-1977). De los 60 taxa reconocidos, 33 corresponden a Clorofíceas, 22 a Diatomeas y 5 a Cianofíceas. *Melosira granulata* destaca por su abundancia en todo el lago, especialmente durante el "floreamiento" de primavera y otoño. La existencia de un gradiente río-lago somero-lago profundo determina una diferencia significativa en la abundancia de fitoplancton a lo largo del embalse, a pesar de la similitud de la riqueza en especies. El florecimiento de fitoplancton se inicia en septiembre y la biomasa algal permanece alta durante la primavera y el verano en las áreas con profundidad menor, mientras que en las regiones más profundas la abundancia disminuye significativamente durante el verano.

Palabras claves: Algas planctónicas, "floreamiento", ciclos de abundancia, *Melosira granulata*, Chile Central.

## ABSTRACT

The composition and abundance of phytoplankton in the Rapel reservoir is analyzed during the 1976-1977 annual cycle. Of 60 taxa identified 33 were green algae, 22 diatoms and five blue-green algae. *Melosira granulata* was the most abundant species particularly during Spring and Autumn. The gradient river-shallow lake-deep lake determines a significant time gap seasonal abundance of the phytoplankton along the reservoir, in spite of the similar species richness. The phytoplankton bloom begins during September and the algae biomass remains high during spring and summer at the shallow areas. Meanwhile at deep regions, the abundance diminishes significantly during summer.

Key words: Planktonic algae, bloom, abundance cycles, *Melosira granulata*, Central Chile.

## INTRODUCCION

En los últimos 20 años, los estudios del fitoplancton han experimentado un desarrollo importante en Chile (Montecino 1985). Sin embargo, el conocimiento taxonómico y ecológico de estos organismos y especialmente en cuerpos de agua de origen reciente, tales como los embalses, es incompleto.

El embalse Rapel por su longitud de 42 km, su forma dendrítica y su configuración morfométrica, producto de la inundación de una cuenca fluvial en el año 1968, muestra un gradiente río-lago somero-lago profundo en su configuración batimétrica y flujo del agua que sugiere la existencia de diferencias cuali-

y cuantitativas en la composición de las comunidades de "algas" planctónicas y fluctuaciones o tendencias diferenciales en cada facies del sistema.

Un rango característico de las comunidades fitoplanctónicas límnicas se refiere a las fluctuaciones regulares de las especies que las componen y de sus abundancias. Dependiendo de la concentración de nutrientes de los ecosistemas acuáticos y de condiciones climáticas se observan diferentes asociaciones de "algas". Hutchinson (1967) reconoce asociaciones fitoplanctónicas definidas para cada época del año y describe ciclos de abundancia específicos, especialmente en los lagos templados. Reynolds (1982) se refiere a estos ciclos agregando evidencia experi-

mental para explicar los mecanismos que regulan la periodicidad estacional.

Las observaciones realizadas en este embalse permiten describir las diferencias espacio-temporales de la comunidad fitoplanctónica después de 8 años de inundación, las que se interpretan en función de las características batimétricas, distribución de nutrientes y de las adaptaciones específicas de las especies principales. Debido a que estos ambientes tienden a eutrofizarse más rápidamente (Margalef 1983), se espera que esta información permita evaluar los probables cambios que se producen en el futuro en la com-

posición de las asociaciones fitoplanctónicas aquí señaladas.

#### MÉTODOS

Entre julio de 1976 y agosto de 1977 se colectó plancton en cinco estaciones fijas distribuidas entre la zona de la represa y la "cola" del embalse Rapel (Fig. 1).

Las muestras de superficie obtenidas con una botella plástica de 1 l y las de 5 y 10 m con una botella Van Dorn de 3 l fueron filtradas a través de una malla de 70  $\mu\text{m}$ .

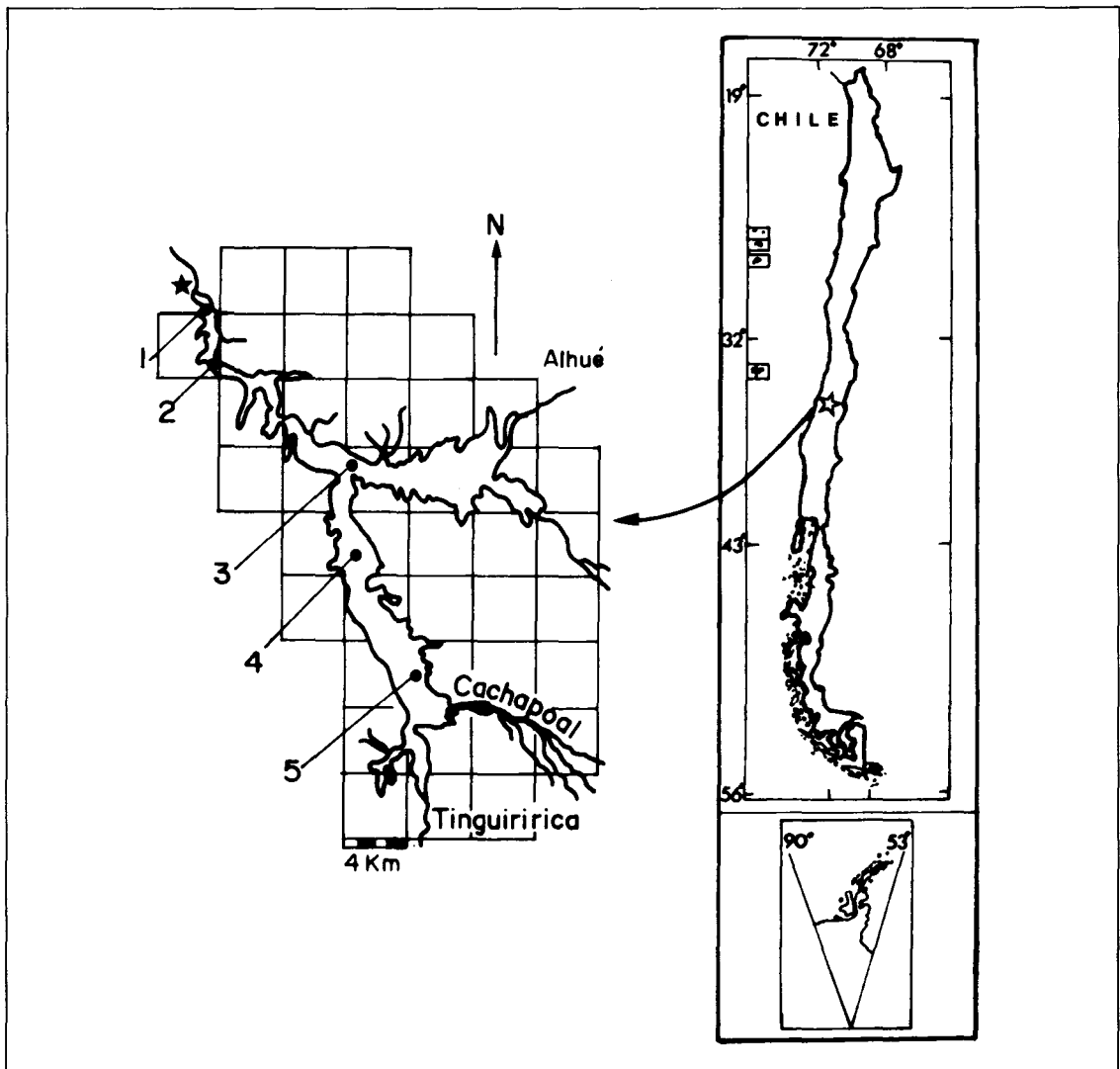


Fig. 1: Embalse Rapel. Estaciones de muestreo 1 a 5. Se señala localización de la represa (\*), estero Alhué y los dos afluentes principales: Cachapoal y Tinguiririca.

Rapel Reservoir. Sampling Station (1 through 5). The location of the dam (\*), Alhué stream and two main rivers Cachapoal and Tinguiririca are also indicated.

Durante todos los muestreos se midió: la transparencia del agua con un disco de Secchi, la temperatura con un termómetro graduado en décimas incluido en la botella Van Dorn y la concentración de nutrientes con un colorímetro HACH modelo DR EL.

Muestras de fitoplancton frescas o fijadas en formaldehído al 5%, al igual que muestras sometidas a oxidación lenta (Balech & Ferrando 1964) y montadas con Aroclor (Salzgitter, S.A.), fueron examinadas con un microscopio de contraste de fases y lente de inmersión. Los dibujos fueron realizados con cámara clara.

Para la identificación de las especies de algas presentes en las muestras, se consultó los trabajos de Brunthaler (1915), Geitler (1932), Krieger (1937), Bourrelly (1957), Brook (1959), Patrick & Reimer (1966, 1975), Uherkovich (1966), Rehakova (1969), Prescott (1970), Rivera (1970, 1983), Hustedt (1971), Navarro & Avaria (1971), West & West (1971), Rivera *et al.* (1973), Parra (1973, 1975, 1979), Parra y González (1977).

Para la cuantificación de las algas se utilizó un micrómetro ocular Whipple y una cámara Sedgwick-Rafter de 1 ml de capacidad y los recuentos se expresaron en unidades estándar (U.E.) de área de 400  $\mu\text{m}^2$  (Welch 1948). Siguiendo las sugerencias de Woelkerling *et al.* (1976), se contaron dos campos en 12 submuestras.

El análisis de diversidad de las muestras de superficie se hizo utilizando el método de Shannon y Weaver (Margalef 1983).

## RESULTADOS

### a) Composición del fitoplancton

Se identificó un total de 60 taxa: 33 clorofíceas, 22 diatomeas y 5 cianofíceas. Estos taxa se ordenaron en una clave funcional (Anexo 1) y sus características se ilustran en las Figs. 2.1 a 2.55.

Durante el florecimiento de primavera (septiembre, octubre) los taxa presentes a lo largo del embalse fueron las diatomeas *Melosira granulata* (Ehr.) Ralfs.; *Mougeotia* sp.; *Synedra acus* (Kützing); *S. ulna* var. *oxyrhynchus* f. *mediocontracta* (Forti), Hustedt; *S. ulna* var. *danica* (Kutz.), Grunow; *Nitzschia* sp. y *Navicula* sp. A estos taxa se agrega consecutivamente

*Asterionella formosa* Hassal y las clorofíceas *Staurastrum paradoxum* Meyen; *Dytiosphaerium pulchellum* Naegeli y *Golenkinia radiata* (Chod) Wille (diciembre y enero) y, posteriormente, *Mycrocystis aeruginosa* (Kutz) Lemmermann, *Oscillatoria* sp. y *Anabaena*. Hacia fines de la temporada de verano (marzo) predominan las clorofíceas, agregándose a las especies ya citadas *Coelastrum microporum* Naegeli; *Pediastrum simplex* Meyen; *Closterium acutum* Brebisson; *Oocystis* sp. y *Scenedesmus ecornis* Lemmermann.

Los resultados de la Estación 1 (Fig. 3) ilustran la composición por grupos taxonómicos de la comunidad fitoplanctónica en el ciclo anual del embalse.

*M. granulata* es la especie más abundante en todas las estaciones monitoras y durante la mayor parte del año. En los períodos de máxima abundancia fitoplanctónica constituye entre el 70% y el 90% del fitoplancton total del lago. La Tabla 1 detalla la abundancia relativa que esta especie alcanza a lo largo del embalse. Solamente en enero y marzo su representatividad es inferior al 50% y sólo en las zonas más profundas y cercanas a la presa (Estaciones 1, 2 y 3).

Coincidiendo con el incremento de las temperaturas promedio diarias, durante octubre y noviembre aumenta la riqueza específica en el embalse determinado por un aumento en el número de especies de diatomeas. En enero aumentan las cianofíceas y lo mismo ocurre con las clorofíceas en marzo y abril.

Los valores de los índices de diversidad fueron bajos durante todo el año en todo el embalse comparados con la diversidad fitoplanctónica de los lagos naturales (Margalef 1956). Ellos fluctuaron entre 0,24 en primavera y 2,71 en verano. La Estación 3 ubicada en la intersección de los brazos superiores del embalse y alejada del efecto directo de los sedimentos de los afluentes principales entregó los valores más altos de diversidad. Estos se registraron durante el verano (Tabla 2).

### b) Distribución vertical y horizontal de la abundancia fitoplanctónica

Durante el período estudiado, los recuentos del fitoplancton de superficie fluctuaron en cinco órdenes de magnitud entre 37 unidades estándar por litro (U.E.  $\Gamma^1$ .) y  $4,1 \times 10^6$  U.E.  $\Gamma^1$ . A cinco y diez metros

de profundidad el recuento mínimo de fitoplancton fue de 160 U.E. l<sup>-1</sup> y el máximo de  $3,6 \times 10^6$  U.E. l<sup>-1</sup>. Los valores de menor abundancia se registraron siempre en la estación más cercana al nacimiento del embalse, región que conserva muchas características lóxicas. Los valores de mayor abundancia se encontraron, en cambio, en zonas próximas a la represa.

En la Fig. 4 se observa que el fitoplancton presenta una tendencia a disminuir su abundancia durante el verano, tanto en las zonas profundas, cercanas a la presa (Estación 2), como en las zonas de menor profundidad, aledañas a los ríos (Estación 4). Sin embargo, los valores absolutos son significativamente más bajos en la Estación 2 ( $P < 0,05$ ).

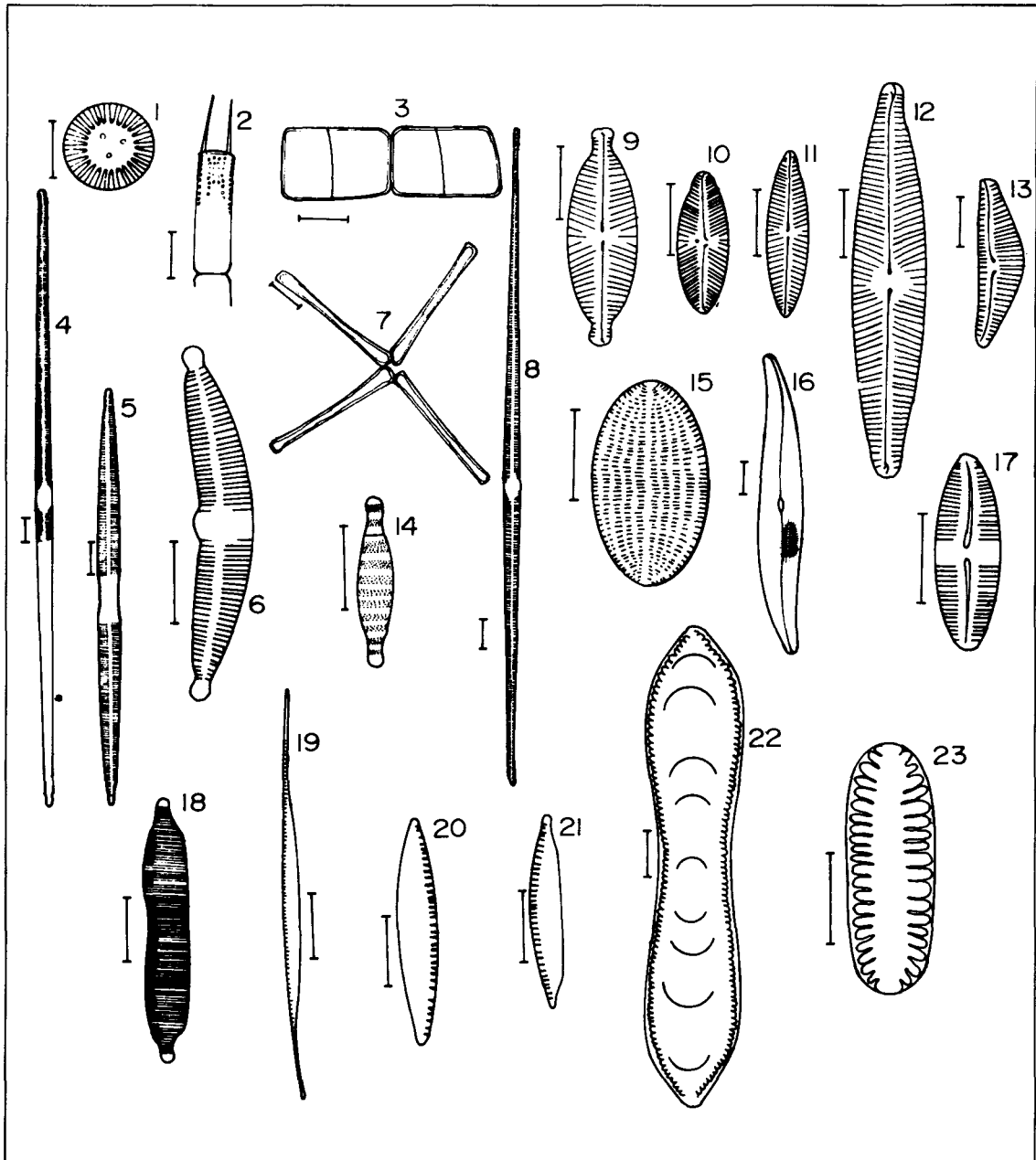


Fig. 2: Ilustración de los taxa identificados en el embalse Rapel.  
Illustration of taxa identified at Rapel Reservoir.

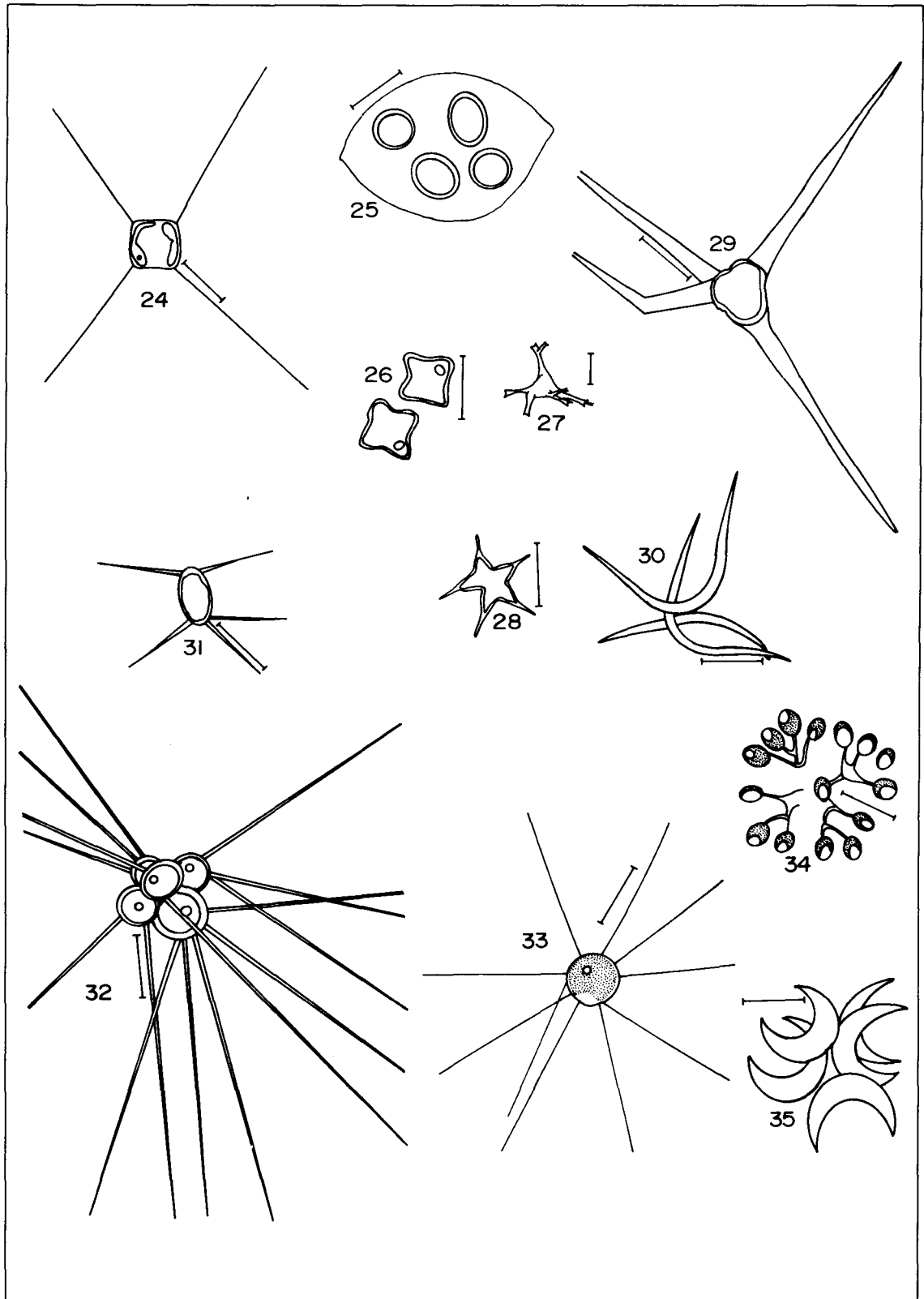
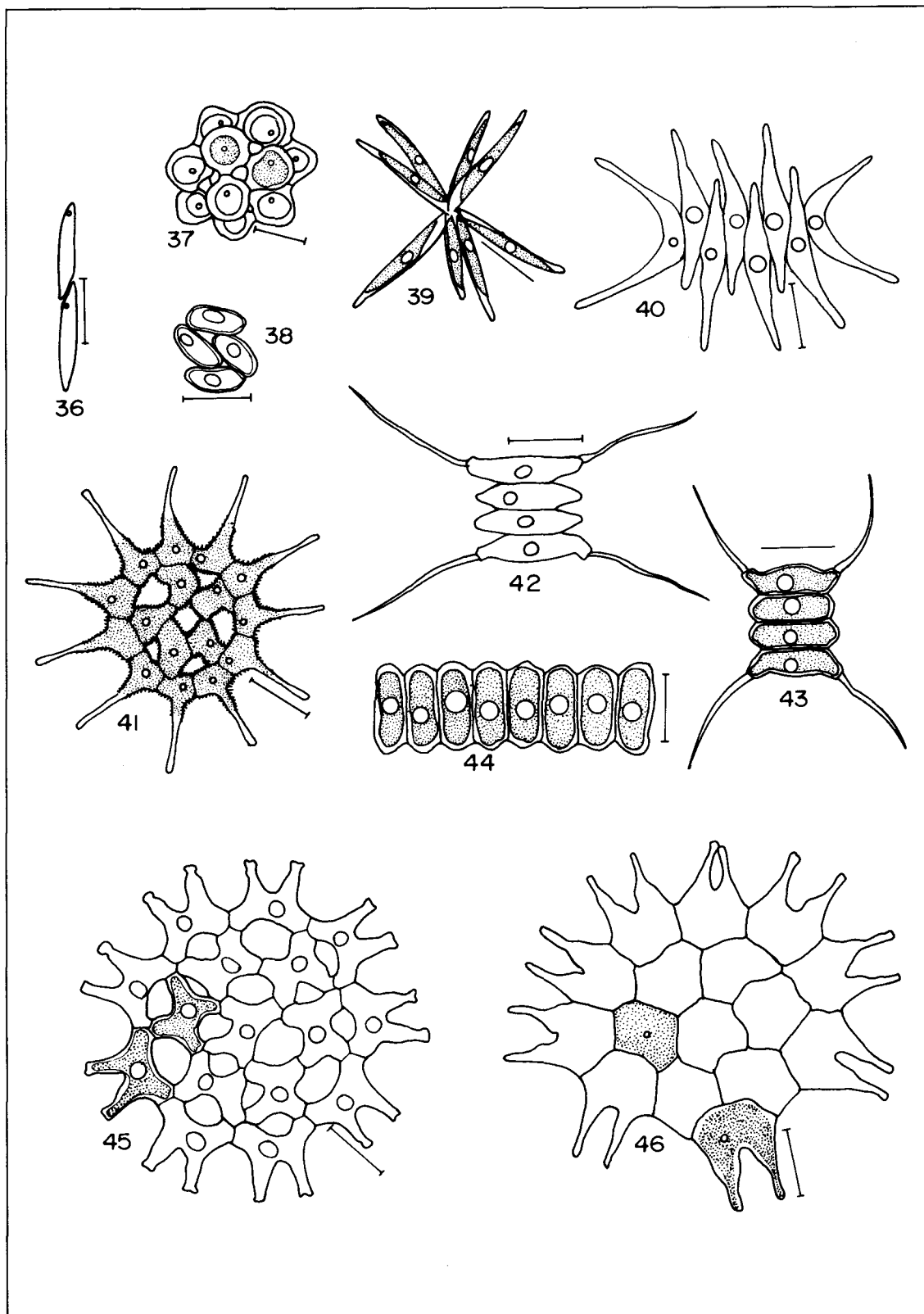


Fig. 2: Ilustración de los taxa identificados en el embalse Rapel.  
 Illustration of taxa identified at Rapel Reservoir.



*Fig. 2:* Ilustración de los taxa identificados en el embalse Rapel.  
Illustration of taxa identified at Rapel Reservoir.

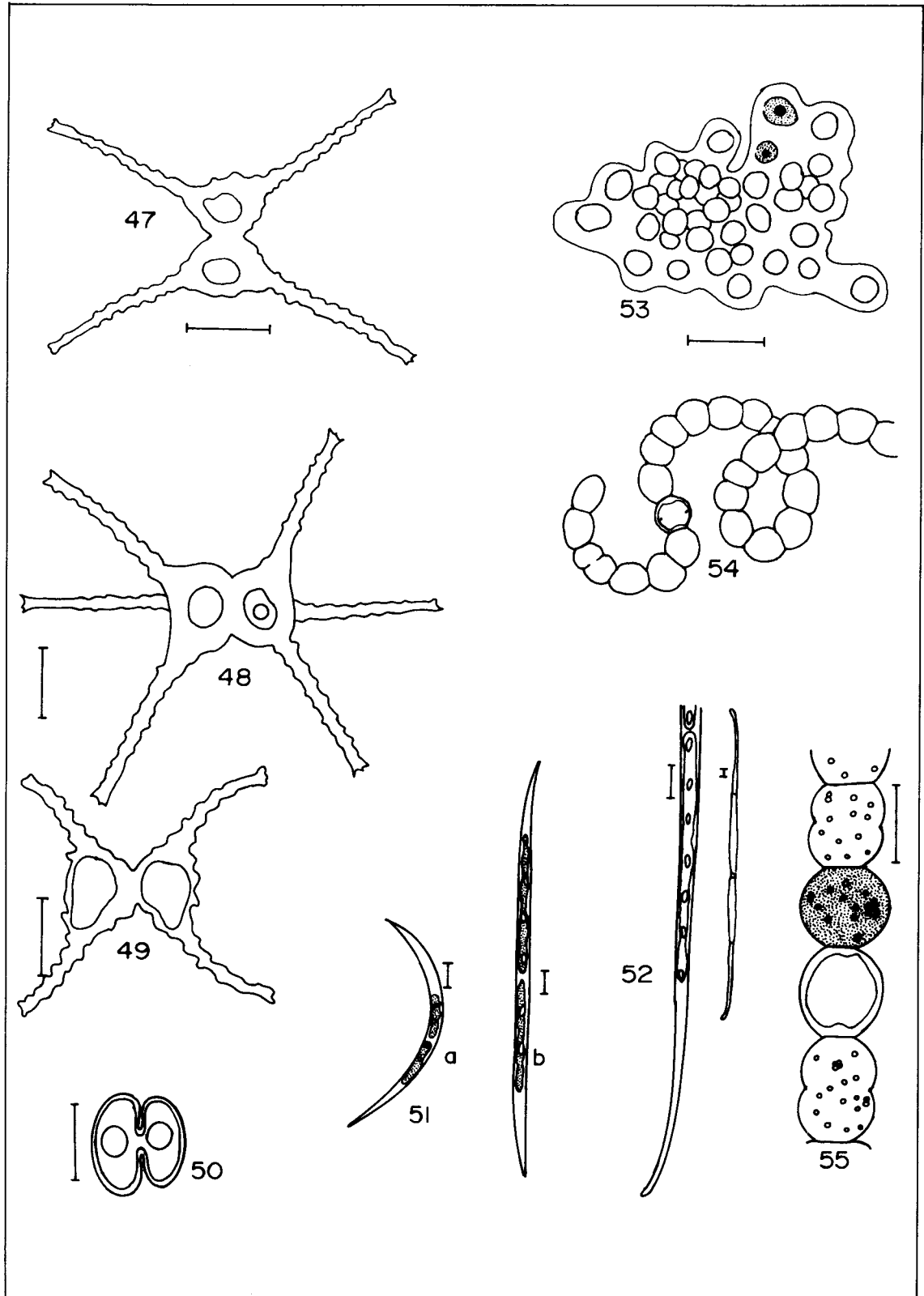


Fig. 2: Ilustración de los taxa identificados en el embalse Rapel.  
 Illustration of taxa identified at Rapel Reservoir.

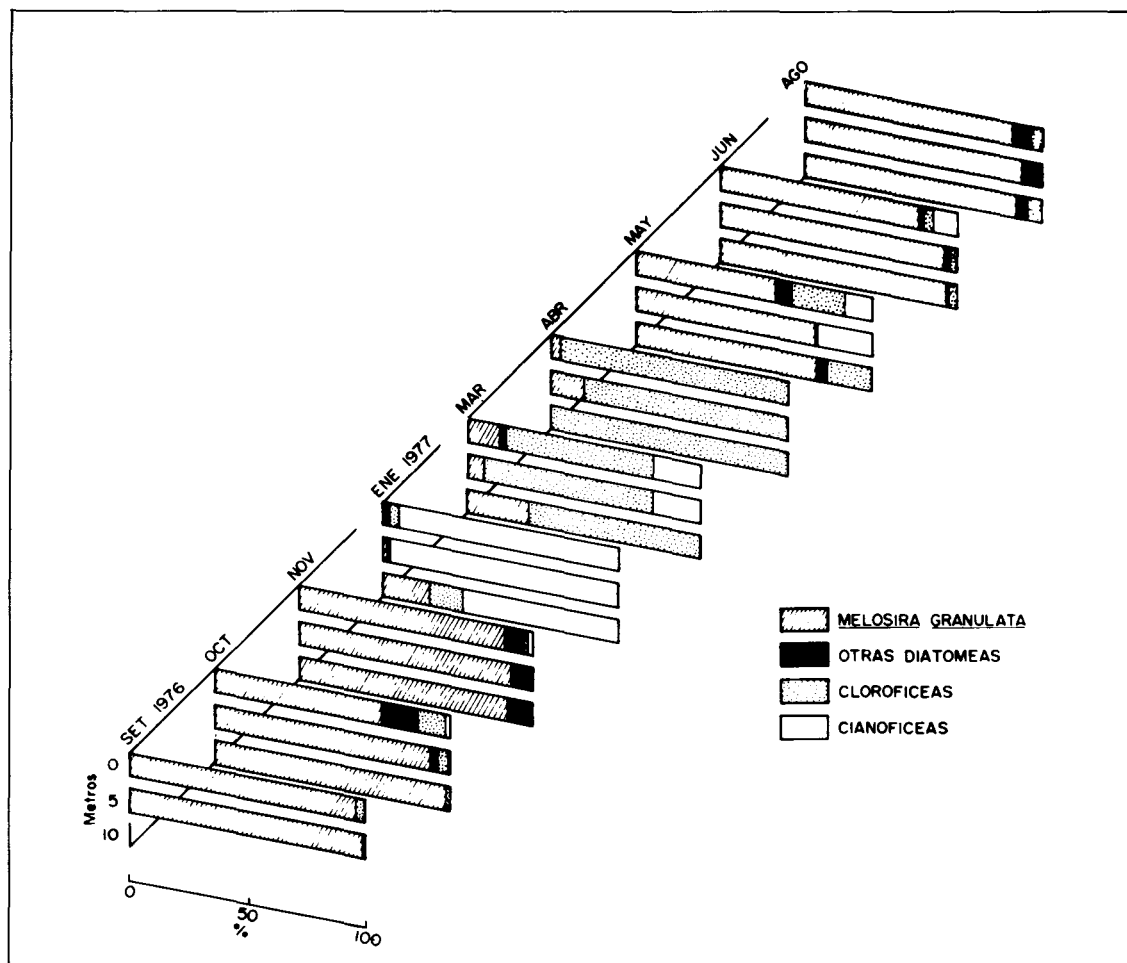


Fig. 3: Distribución vertical y temporal de los porcentajes relativos de *Melosira granulata*, otras Diatomeas, Clorofíceas y Cianofíceas en la Estación 1, embalse Rapel.

Vertical and temporal distribution of relative percentage of *Melosira granulata*, other diatoms, green and blue-green algae in station 1, Rapel Reservoir.

TABLA 1

Abundancia relativa en porcentaje de *Melosira granulata* a 0,5 y 10 m en cinco estaciones monitoras del embalse Rapel.

Percentage relative abundance of *Melosira granulata* at 0,5 and 10 m in five monitoring stations of Rapel Reservoir.

Estación	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	
1	0	53,3	94,7	71,0	88,6	—	1,0	13,9	3,7	60,4	84,3	—	87,8
	5	—	98,9	92,3	90,1	—	1,9	7,1	14,3	76,0	95,3	—	90,9
	10	—	—	97,9	89,2	—	20,5	25,9	0,0	76,7	96,3	—	89,6
2	0	50,6	97,9	53,4	92,8	12,2	0,0	10,8	49,0	87,9	96,7	97,7	85,5
	5	—	97,8	95,7	96,5	48,8	5,7	50,9	44,1	85,4	96,8	—	98,6
	10	—	—	—	96,1	66,4	13,6	21,2	38,9	87,2	96,1	—	95,4
3	0	57,0	81,3	96,7	97,7	—	15,2	27,4	78,4	78,8	90,1	94,2	92,2
	5	75,0	94,6	86,0	93,2	76,4	45,8	48,4	96,1	93,6	81,0	—	45,8
	10	74,0	88,2	95,4	98,5	83,2	50,3	65,9	87,3	94,6	98,9	—	51,7
5	0	81,4	61,4	56,1	74,2	89,7	46,7	51,4	89,6	85,2	84,6	—	43,6



TABLA 2

Diversidad del fitoplancton en el embalse Rapel durante 1976-1977.

Los valores se expresan como bits U.E. l<sup>-1</sup>

Phytoplankton diversity of Rapel Reservoir during 1976-1977.

Values are expressed as bits S.U. l<sup>-1</sup>

Meses	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5
Agosto	1,67	1,25	1,33	1,04	1,00
Septiembre	0,37	0,24	1,00	0,35	0,48
Octubre	1,42	1,61	0,60	0,89	1,96
Noviembre	0,69	0,44	0,24	0,42	1,04
Diciembre	—	2,15	1,19	1,19	0,61
Enero	0,46	1,37	2,71	1,81	1,93
Marzo	1,96	1,75	2,66	2,20	1,91
Abril	1,85	1,39	1,45	0,32	0,75
Mayo	1,94	0,80	1,20	0,51	0,88
Junio	0,94	0,30	0,69	0,77	0,62
Julio	—	0,28	0,49	—	—
Agosto	0,69	0,71	0,49	1,50	1,72

Para analizar el comportamiento del fitoplancton en la columna de agua de las zonas con profundidad promedio alta (Estación 2 con > 40 m) y las de profundidad promedio bajo (Estación 4 con < 15 m), se sumaron los resultados a 0,5 y 10 m para cada estación (Fig. 5). En la Estación 4, estos valores sumados se mantuvieron alrededor de 10<sup>6</sup> U.E. l<sup>-1</sup>, desde octubre a enero, a diferencia de la Estación 2, lugar en el que disminuyeron bruscamente a partir de diciembre, manteniéndose bajos hasta el mes de mayo.

### c) Periodicidad estacional

Los recuentos totales de fitoplancton revelan un incremento paulatino de la abundancia, desde julio a noviembre 1976, en las zonas cercanas a la represa (Fig. 4b y Tabla 1) y, desde julio a diciembre, en la zona cercana a los afluentes principales (Fig. 4a). En ambos sectores la abundancia disminuyó en los meses de verano mostrando un nuevo incremento en otoño, que dura hasta mayo en la Estación 4 y hasta junio en la Estación 2 (Fig. 4).

El patrón estacional de la abundancia de la comunidad fitoplanctónica en superficie es semejante a lo largo del embalse; Sin embargo, desde la "cola" del embalse a la zona de la presa, la duración del período de disminución estival se hace cada vez más extensa. En la "cola" la cantidad de fitoplancton sólo disminuye durante el

mes de marzo. En cambio, en la presa esta disminución se extiende entre enero y mayo. Sin embargo, en invierno (junio y julio) la abundancia fue menor en las estaciones de la "cola" por la mayor influencia reófila (Fig. 6, Tabla 3).

### DISCUSION

La distribución de la mayoría de las algas dulceacuícolas es cosmopolita y las fluctuaciones de su abundancia dependen de las características de los ecosistemas en los cuales se desarrollan (Hutchinson 1967, Reynolds 1982, Margalef 1983). En el caso del embalse Rapel, las especies más frecuentes y abundantes corresponden a aquellas descritas para lagos de mediana a alta productividad (Wetzel 1983) y esto coincide con los valores de productividad primaria y concentración de clorofila *a* señalados para este lago (Montecino & Cabrera 1982).

El embalsamiento del cauce del río Rapel, iniciado en 1968, permitió una rápida colonización fitoplanctónica. Estos organismos presentan ciclos de abundancia similares en todo el lago, pero asincrónica en las diferentes zonas. La biomasa fitoplanctónica parece estar relacionada con factores morfoedáficos tales como productividad media, sólidos disueltos totales, temperatura y factores hidrológicos como caudal y recambio del agua. Las diferencias

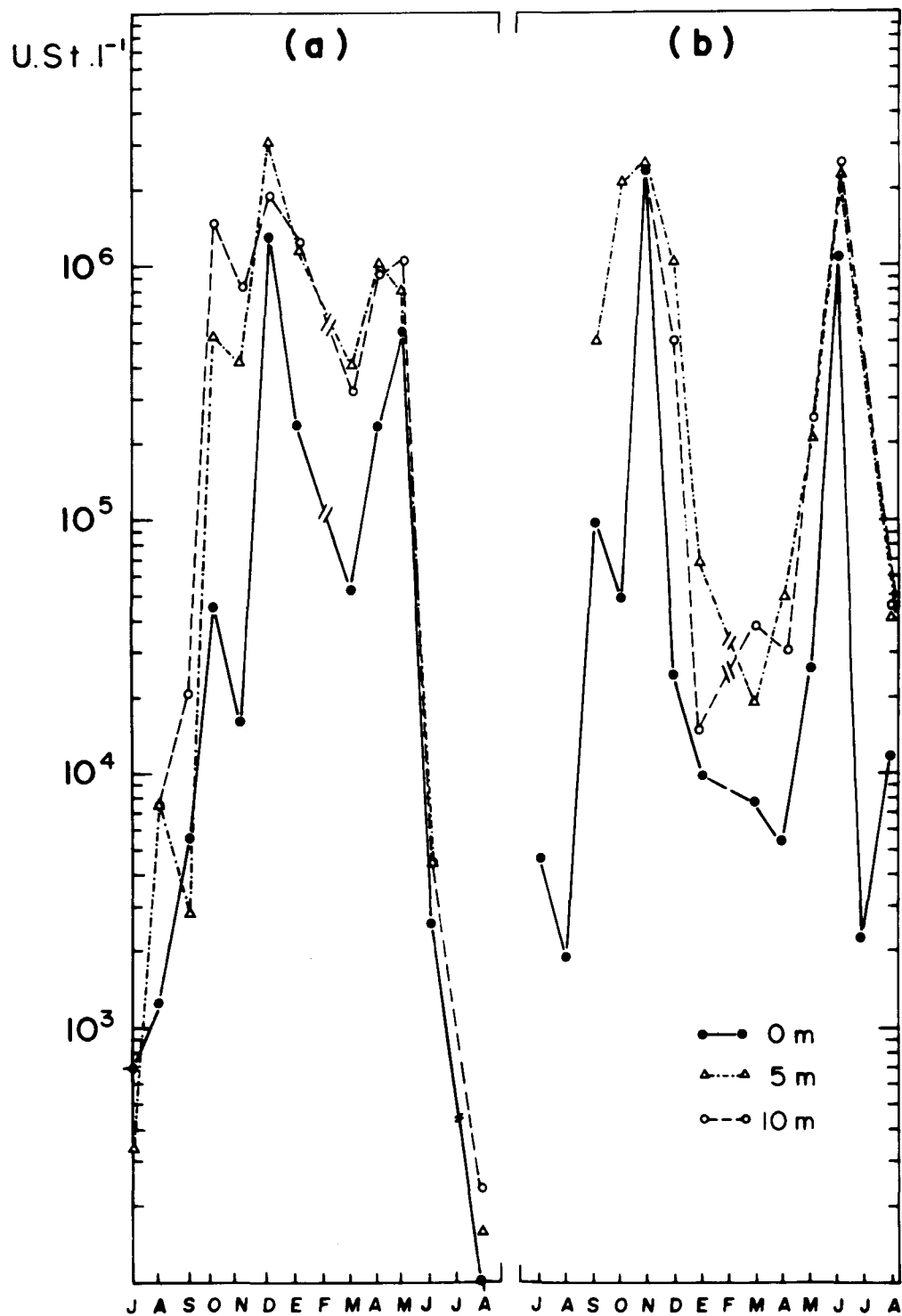


Fig. 4: Abundancia (en escala logarítmica) de fitoplancton de red (Unidades Estándar l<sup>-1</sup>) Estación N<sup>o</sup> 4 (a) y N<sup>o</sup> 2 (b) a 0,5 y 10 m de profundidad en el embalse Rapel, durante 1976-1977.

Abundance of net phytoplankton (Standard Units l<sup>-1</sup>) in station 4 (a) and 2 (b) at 0,5 and 10 m depth in Rapel reservoir during 1976-1977.

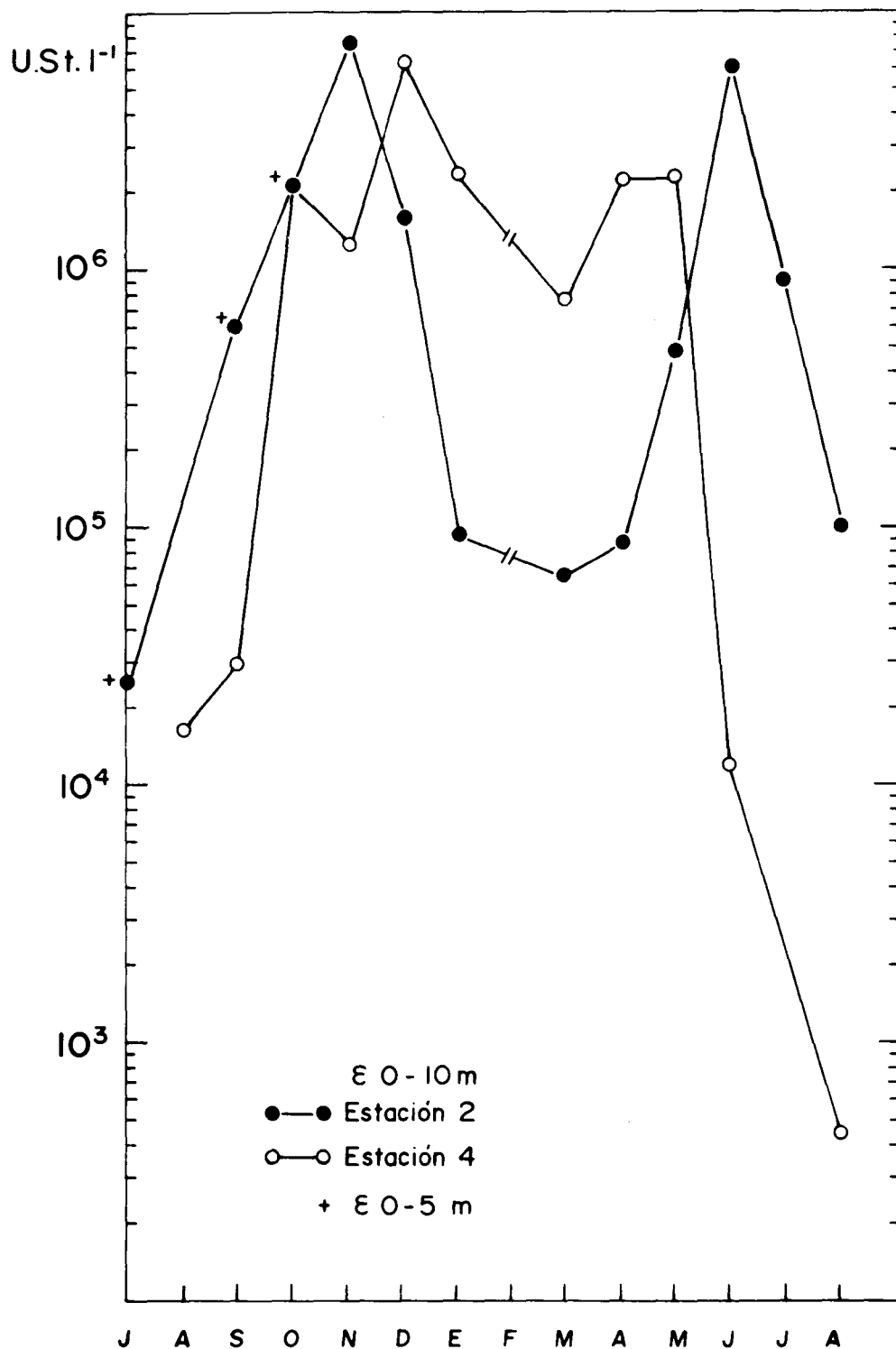


Fig. 5: Abundancia (en escala logarítmica) de fitoplancton de red (Unidades Estándar l<sup>-1</sup>). Sumadas para la columna de agua de 0 a 10 m de profundidad en la estación 2 (●) y la estación 4 (○) en el embalse Rapel.

Abundance of net phytoplankton (Standard Units l<sup>-1</sup>) added for the water column from 0-10 m depth in station 2 (●) and station 4 (○) in Rapel reservoir.

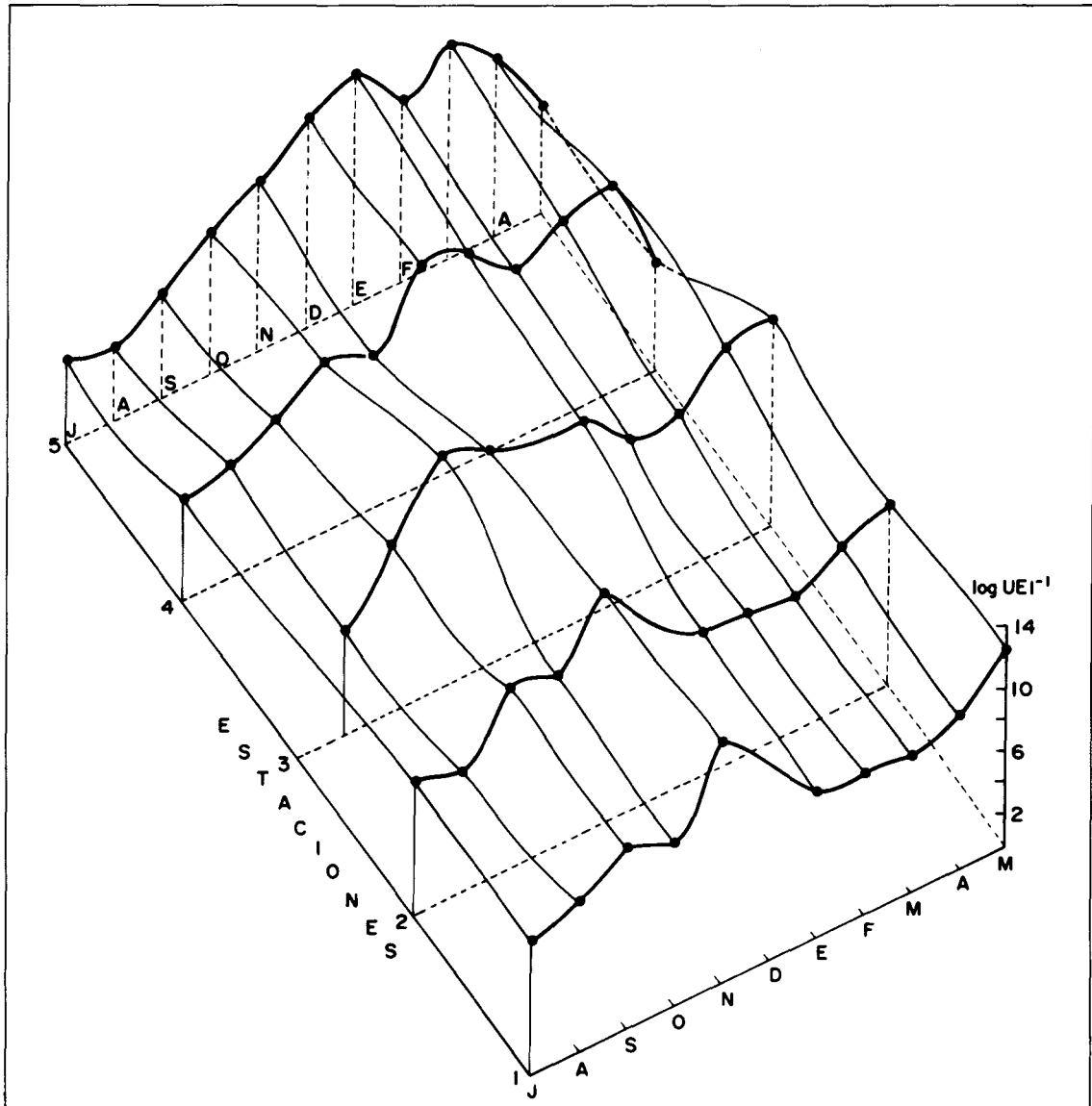


Fig. 6: Distribución espacial del fitoplancton superficial (log. de la abundancia expresada en unidades estándar por litro (U.E. l<sup>-1</sup>)) en el eje longitudinal del embalse Rapel, desde la represa a la "cola" (Estación 1 a 5) durante junio a julio 1976-1977.

Spatial distribution of surface phytoplankton (log. of abundance) on the longitudinal axis of Rapel reservoir, station 1 to 5 during June and July, 1976-1977.

batimétricas y la distancia a la entrada de los afluentes principales modularían fluctuaciones diferentes de temperatura, disponibilidad de nutrientes y la cantidad de los sedimentos en las diferentes regiones de este lago artificial, lo que finalmente influiría en la periodicidad y abundancia de las especies fitoplanctónicas a lo largo del embalse.

La riqueza de especies de tamaño inferior a 74  $\mu\text{m}$  está probablemente subestimada por el método utilizado en la obtención de las muestras. Sin embargo, aun para el plancton de red la riqueza de especies no es alta y el predominio permanente de *Melosira granulata* influye en los bajos valores de diversidad específica del fitoplancton del embalse. El pre-

dominio de una o dos especies es una característica frecuente en lagos de origen reciente como son los embalses (Margalef *et al.* 1976). A ello contribuye también el escaso desarrollo de vegetación ribe-

ña, resultado de las fluctuaciones del nivel del lago artificial. La diversidad fitoplanctónica también está determinada por la dinámica hidrológica que permite la persistencia de *M. granulata* en Rapel.

TABLA 3

Abundancia mensual del fitoplancton del embalse Rapel en distintas profundidades en las estaciones de muestreo 1 a 5 en U.E.  $l^{-1} \times 10^3$

Phytoplankton monthly abundance of Rapel Reservoir at different depths in the sampling stations (1-5) S.U.  $l^{-1} \times 10^3$

Estación	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	
1	0	5	12	96	28	4.094	—	10	8	6	17	254	—	8
	5	16	—	567	1.174	3.580	—	198	18	16	147	1.804	—	37
	10	—	—	—	1.750	1.828	—	19	22	8	211	1.982	—	61
2	0	5	2	99	49	2.428	24	10	8	5	26	1.113	2	11
	5	20	—	514	2.127	2.626	1.068	68	19	52	218	2.490	—	43
	10	—	—	—	—	2.468	507	16	39	30	251	2.579	—	47
3	0	—	1	132	2.762	840	—	328	22	41	446	546	1	114
	0	1	1	6	46	16	1.353	231	54	242	484	3	—	1
4	5	1	8	3	533	429	3.151	1.154	407	1.065	805	5	—	1
	10	—	8	21	1.481	844	1.891	1.227	301	927	1.076	5	—	1
	5	0	1	—	9	53	761	2.395	110	940	86	1	—	1

Esta especie se destaca por su abundancia en otros lagos templados chilenos de diferente rango trófico; lagos oligotróficos tales como el Ranco (Rivera 1970), los lagos araucanos (Thomasson 1963, Campos 1984), los lagos más australes (Asprey *et al.* 1964) y los eutróficos como la laguna chica de San Pedro (Rivera 1970) y la laguna de Aculeo (Vila *et al.* 1982)<sup>1</sup>.

Parra *et al.* (1981) discuten el significado de la abundancia de *M. granulata* en cuerpos lénticos de la región de Concepción y en especial su relación con la concentración de sílice en el agua, que en estos ecosistemas es similar a los valores señalados para el embalse Rapel (Cabrera *et al.* 1977). La disponibilidad de sílice disuelto durante la mayor parte del ciclo anual permitiría la existencia de abundantes poblaciones de *M. granulata*.

A semejanza de los lagos templados del hemisferio norte, el fitoplancton del embalse Rapel presenta dos períodos de máxima abundancia: el primero en primavera y el segundo en otoño. Pero, mientras en los lagos mencionados el florecimiento de primavera se inicia con el crecimiento de diatomeas y se sucede con las clorofíceas y luego las cianofíceas cuya abundancia aporta al máximo otoñal, en Rapel, en cambio, durante casi todo el año *M. granulata* es la especie más abundante, especialmente en los sectores con menor profundidad; en las distintas zonas del embalse la riqueza de especies es similar, pero la abundancia de cada una de ellas es diferente (Fig. 6).

El florecimiento masivo del fitoplancton se inicia temprano en la primavera en las zonas con régimen típicamente lacustre pero de baja profundidad (Estaciones 3 y 4), áreas en las cuales, además, se mantiene el crecimiento sostenido del fitoplancton desde octubre a marzo. En cambio, en la región con mayor profundidad (Estaciones 2 y 1), cercanas a la presa, el descenso de la abundancia del

<sup>1</sup> VILA I, C SAUL & H MÜHLHAUSER (1982) Eutrofia y poblaciones ícticas en la Laguna de Aculeo. Archivos de Biología y Medicina Experimentales 15 (2): 261.

fitoplancton es brusco y durante todo el verano los valores se mantienen bajos. Durante los meses de invierno, sin embargo, el crecimiento del fitoplancton, especialmente en estas zonas con baja profundidad, estaría limitado por las temperaturas más bajas con menor disponibilidad de luz y alta sedimentación por efecto de las lluvias invernales. En los sectores más profundos del embalse, en cambio, la abundancia es alta en primavera y disminuye en verano, probablemente por una menor disponibilidad de nutrientes en la zona trofógena, para luego presentar un segundo incremento en otoño. En las zonas bajas, pero de régimen fluvial, la abundancia del fitoplancton se mantiene baja durante todo el año (Estación 5).

La composición y abundancia del fitoplancton del embalse Rapel plantean interrogantes interesantes en relación con la predominancia permanente de *Melosira granulata* y el estudio del o de los parámetros que favorecerían su proliferación, tanto en éste como en otros lagos chilenos. Un alto número de lagos nacionales ha sido clasificado como monomícticos templados. Esto se explica por el efecto combinado del régimen térmico y la alta frecuencia de vientos, factores que influirían en la mezcla de la masa de agua estableciendo períodos cortos de estratificación térmica; las características antes señaladas parecen favorecer tasas altas de crecimiento de *Melosira granulata*. Es conocido también que los ciclos de abundancia de *Melosira* están regulados en gran medida por sus tasas de sedimentación durante períodos de estratificación y por su re-suspensión y crecimiento eficiente durante los períodos de mezcla (Reynolds *et al.* 1986).

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Oscar Parra las facilidades otorgadas a las autoras para la identificación de los taxa en el laboratorio y biblioteca del Departamento de Botánica de la Universidad de Concepción. También agradecemos la ayuda del Sr. Hernán Thielemann en los trabajos de terreno, de la Sra. Marta Cariceo y Srta. Ana Valdés por dactilografiar el manuscrito y a Serena, Luz y Cecilia por confeccionar las figuras y a Lilio Yáñez por el trabajo fotográfico.

Este trabajo fue financiado por los Proyectos del Departamento de Investigación y Bibliotecas (B-1083 y N-1577) de la Universidad de Chile y Grant SCRIP 551-381 MAB 5, UNESCO.

#### LITERATURA CITADA

- ASPREY GF, K BENSON-EVANS & JE FURET (1964) A contribution to the study of South American freshwater phytoplankton. *Gayana, Botánica* N° 10.
- BALECH E & H FERRANDO (1964) Fitoplancton marino. EUDEBA. Buenos Aires.
- BOURRELY P (1957) Les algues d'eau douce. Ed. N. Boubée, Paris. I: 511 pp, II: 434 pp, III: 512 pp.
- BROOK AJ (1959) The published figures of the desmid *Staurastrum paradoxum*. *Revue Algologique* 4: 239-255.
- BRUNNTHALER J (1915) Protococcales. En A. Paascher: Die Süßwasserflora 5, Chlorophyceae 2: 52-205.
- CABRERA S, V MONTECINO, I VILA, N BAHAMONDE, I BARENDI, I BAHAMONDES, R RODRIGUEZ, R RUIZ & D SOTO (1977) Características limnológicas del Embalse Rapel, Chile Central. Publicación de O.E.A. sobre el Seminario de Medio Ambiente y Represas. Montevideo, Uruguay. Monografía. Departamento de Asuntos Científicos y Tecnológicos. Tomo I: 40-61.
- CAMPOS H (1984) Limnological study of Araucanian lakes (Chile). *Verhandlungen Internationaler Verein Limnologie* 22: 1319-1327.
- GEITLER L (1932) Cyanophyceae in Rabenhorst's Kryptogamen Flora von Deutschland, Oesterreich und der Schweiz 14. Leipzig (Akad. Verlagsgesellschaft).
- HUSTEDT F (1971) Die Kieselalgen Deutschlands, Oesterreichs und der Schweiz Vol. VII, Part I, II. Johnson Reprint Co. New York, Part I: 920 pp, Part II: 845 pp.
- HUTCHINSON GE (1967) A treatise on Limnology. II Introduction to lake biology and the limnoplankton. New York, John Wiley and Sons, Inc.
- KRIEGER W (1937) Conjugatae. In Rabenhorst's Kryptogamen Flora. 13 (1-4): 712. Johnson Reprint Corporation. New York.
- MARGALEF R, D PLANAS, J ARMENGOL, A VIDAL, N PRAT, A GUISET, J TOJA & M ESTRADA (1976) Limnología de los embalses españoles. Dirección General de Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas. Madrid.
- MARGALEF R (1983) Limnología. Barcelona, Ediciones Omega.
- MONTECINO V & S CABRERA (1982) Phytoplankton activity and standing crop in an impoundment of Central Chile. *Journal of Plankton Research* 4 (4): 943-950.
- MONTECINO V (1985) Fitoplancton estuarial y de aguas límnicas. *Revista de Biología Marina. Valparaíso* 21 (1): 199-211.
- NAVARRO N & S AVARIA (1971) Fitoplancton del lago Peñuelas. *Anales del Museo de Historia Natural. Valparaíso* (4): 287-338.
- PARRA O (1973) Estudio cualitativo del fitoplancton de la Laguna Verde, Concepción, Chile, excluidas diatomeas. *Gayana, Botánica* 24: 1-27.
- PARRA O (1975) Desmidiáceas de Chile. I. Desmidiáceas de la región de Concepción y alrededores. *Gayana, Botánica* 30: 1-91.
- PARRA O (1979) Revision der Gattung *Pediastrum* Meyen (Chlorophyta). *Bibliotheca Phycologica Band* 48: 1-183, J. Cramer. Germany.

- PARRA O & M GONZALEZ (1977) Desmidiáceas de Chile III. Desmidiáceas de la Isla de Chiloé. Gayana, Botánica 34: 1-103.
- PARRA O, E UGARTE & V DELLAROSSA (1981) Periodicidad estacional y asociaciones en el fitoplancton de tres cuerpos lénticos en la región de Concepción, Chile. Gayana, Botánica 36: 1-35.
- PATRICK R & CW REIMER (1966) The diatoms of the United States. Monographs of the Academy of Natural Science of Philadelphia 13 (1): 1-68.
- PATRICK R & CW REIMER (1975) The diatoms of the United States. Monographs of the Academy of Natural Science of Philadelphia 13 (2) Part 1: 1-213.
- PRESCOTT GW (1970) Algae of the Western Great Lakes area. WMC Brown Co. Buduque. Iowa.
- REHAKOVA H (1969) Die Variabilität der Arten der Gattung *Oocystis*. In B. Fott, Studies in Phycology: 145-196, E. Schweizerbart'sches Verlagsbuchhandlung. Germany.
- REYNOLDS CS (1982) Phytoplankton periodicity: Its motivation, mechanisms and manipulation. Report of the Freshwater Association 50: 60-75 Ambleside, England.
- REYNOLDS C, V MONTECINO, ME GRAF y S CABRERA (en prensa) Shortterm dynamics of a *Melosira* population in the plankton of an impoundment in Central Chile. Journal of Plankton Research.
- RIVERA P (1970) Diatomeas de los lagos Rancho, Laja y laguna Chica de San Pedro (Chile). Gayana, Botánica 20: 1-25.
- RIVERA P, O PARRA & M GONZALEZ (1973) Fitoplancton del estero Lengua, Chile. Gayana, Botánica 23: 1-9.
- RIVERA P (1983) A guide for references and distribution for the class Bacillariophyceae in Chile between 18°28'S and 58°S. Bibliotheca Diatomologica Bd. 3: 1-386. J. Cramer. Germany.
- THOMASSON K (1963) Araucanian lakes. Acta phytogeographica suecica 47 Uppsala, Almqvist and Wiksells Boktryckery AB.
- UHERKOVICH G (1966) Die *Scenedesmus* Arten Ungarns. Budapest 173 pp.
- WELCH PS (1948) Limnological Methods. Philadelphia, Blakiston Co.
- WEST W & GS WEST (1971) A monograph of the British Desmidiaceae Johnson Reprint Co. New York Vol. IV: 1-191; V: 1-299.
- WETZEL RB (1983) Limnology, 2nd Edition. WB Saunders Company, New York.
- WOELKERLING WJ, RR KOWAL & SB GOUGH (1976) Sedgwick-Rafter cell counts: a procedural analysis. Hidrobiologia 48: 95-107.

ANEXO 1

CLAVE FUNCIONAL PARA LOS PRINCIPALES TAXA DE ALGAS PLANCTONICAS

1. Pigmentos contenidos en cloroplastos cuyo número y forma son variables, unicelulares o coloniales. . . . . 2
- 1'. Pigmentos dispersos en el citoplasma y contenido citoplasmático homogéneo, generalmente coloniales. . . . . Myxophyceae. . . . . 3
2. Cloroplastos amarillentos o cafés. Pared celular siempre rígida formada por dos valvas sobrepuestas y con notoria ornamentación bilateral o radial . . . . . Bacillariophyceae . . . . . 36
- 2'. Cloroplastos verdes. Pared celular a veces rígida, sin valvas. . . . . Chlorophyceae . . . . . 6
3. Las colonias forman filamentos. Con o sin heterocistos y aquinetes. . . . . 4
- 3'. Las colonias forman conglomerados ovales o globosos, irregulares y a veces perforados con numerosas células esféricas distribuidas irregularmente dentro de un mucílago. Sin heterocistos ni aquinetes. . . . . *Microcystis aeruginosa* (Fig. 2.53)
4. Filamentos rectos sin heterocistos, ni aquinetes. . . . . 5
- 4'. Filamentos irregulares con numerosos heterocistos esparcidos en el tricoma . . . . . *Anabaena* sp. (Fig. 2.55)  
 Aquinetes raras veces adyacentes a los heterocistos . . . . . *Anabaena circinalis* (Fig. 2.54)
5. Filamentos con una vaina gelatinosa notoria. . . . . *Lingbya* sp.
- 5'. Filamentos sin vaina. . . . . *Oscillatoria* sp.
6. Organismos en condición vegetativa móviles. Células con 2, 4, 8 flagelos de igual longitud. . . . . Orden Volvocales . . . . . 35
- 6'. Organismos en condición vegetativa inmóviles. Células sin flagelos . . . . . 7
7. Unicelulares o colonias filamentosas o cloroplastos grandes en forma de bandas espiraladas, estrelladas o laminares con notorios pirenoides . . . . . Orden Zignematales . . . . . 8
- 7'. Unicelulares o colonias no filamentosas. Cloroplastos pequeños de variadas formas al igual que las células, que son esféricas, ovoides, aciculares, fusiformes o poliédricas. Pirenoides pequeños o ausentes. . . . . Orden Chlorococcales . . . . . 14

8. Colonias filamentosas, con una serie de células cilíndricas. Un cloroplasto axial que ocupa todo el largo de la célula . . . . . *Mougeotia* sp.
- 8'. Unicelulares con forma variada. Cloroplastos axial estrellados o laminados . . . . . 9
9. Unicelulares, sin constricción ecuatorial o istmo . . . . . 10
- 9'. Unicelulares, con constricción ecuatorial . . . . . 11
10. Células con forma de media luna abierta. Hasta con 20 pirenoides por cromatóforo, frecuentemente 14. Extremos levemente curvos . . . . . *Closterium aciculare* (Fig. 2.52)
- 10'. Células con formas variadas desde poco arqueadas o sigmoideas, 3 pirenoides por cromatóforo . . . . . *Closterium acutum* var. *variabile* (Fig. 2.51a)  
*Closterium acutum* var. *linea* (Fig. 2.51b)
11. Células de forma arriñonada. Pared ornamentada . . . . . *Cosmarium* sp. (Fig. 2.50)
- 11'. Células triangulares en vista posterior, con simetría radial, apéndices laterales presentes . . . . . 12
12. Apéndices laterales granulados, verrucosos o espinosos, poco divergentes entre sí. Centro del hemisoma sin ornamentación . . . . . *Staurastrum johnsonii* (Fig. 2.47)
- 12'. Apéndices laterales lisos . . . . . 13
13. Hemisoma rectangular. Apéndices terminados en 3 a 4 espinas poco visibles . . . . . *Staurastrum tetracerum* (Fig. 2.48)
- 13'. Hemisoma triangular. Apéndices divergentes con tres espinas claramente visibles . . . . . *Staurastrum paradoxum* (Fig. 2.49)
14. Células solitarias . . . . . 15
- 14'. Células formando colonias . . . . . 19
15. Células ovales o esféricas provistas de espinas, setas o procesos . . . . . 16
- 15'. Células cuadrangulares desprovistas de espinas . . . . . *Tetraedron minimum* (Fig. 2.26)
16. Células ovales, con 2 a 4 espinas o setas, que nacen de cada polo. Cloroplastos parietales. . . . . *Chodatella subsalsa* (Fig. 2.31)
- 16'. Células esféricas. Con numerosas y largas setas radiales en toda su superficie . . . . . *Golenkinia radiata* (Fig. 2.33)
17. Células tetragonales. Cada ángulo truncado, con una larga seta . . . . . *Poliedriopsis quadrispina* (Fig. 2.24)
- 17'. Células piramidales con 3 ó 4 ángulos redondeados, de donde nacen gruesas espinas . . . . . *Treubaria varia* (Fig. 2.29)
18. Células con cinco ángulos (8-15  $\mu\text{m}$  de diámetro) terminados en 1 a 3 espinas en un solo plano . . . . . *Tetraedron caudatum* (Fig. 2.28)
- 18'. Células poligonales con ángulos o polos de las células prolongados en procesos bi y trifurcados más largos que el diámetro de la célula y en diferentes planos . . . . . *Tetraedron limneticum* (Fig. 2.27)
19. Colonias formadas por 2, 4, 8, 14 hasta 32 células . . . . . 21
- 19'. Colonias formadas por más de 32 células . . . . . 20
20. Colonia irregular arracimada, con gran número de células ovoideas rodeadas de mucílago. . . . . *Botryococcus braunii*
- 20'. Colonias regulares esféricas compuestas hasta de 64 células globosas interconectadas por procesos gelatinosos cortos . . . . . *Coelastrum microporum* (Fig. 2.37)
21. Colonias con 2 a 8 células ovaladas agrupadas en la pared celular engrosada de la célula madre . . . . . *Oocystis lacustris* (Fig. 2.25)
- 21'. Colonias con células de forma variada no agrupadas en la pared celular de la célula madre . . . . . 22
22. Colonias con células aplanadas . . . . . 23
- 22'. Colonias con células no aplanadas . . . . . 30
23. Células ovoides, fusiformes u oblongas formando series simples o dobles con sus ejes longitudinales en paralelo o adosados por sus extremos . . . . . 24
- 23'. Células con cuernos o lóbulos formando un cenobio circular plano de células continuas o espaciadas entre sí . . . . . 28
24. Células sin espinas o denticulaciones . . . . . 25
- 24'. Células con espinas o denticulaciones . . . . . 27
25. Polos celulares redondeados . . . . . 26
- 25'. Polos celulares aguzados . . . . . *Scenedesmus acuminatus* (Fig. 2.40)
26. Células oblongas en filas dobles de 4 a 16 células . . . . . *Scenedesmus arcuatus* (Fig. 2.38)
- 26'. Células oblongas en series lineares simples . . . . . *Scenedesmus ecornis* (Fig. 2.44)



27. Células cilíndricas y ovaladas, unidas longitudinalmente a lo largo de toda la pared celular lateral. Espinas sólo en las células terminales de la serie. . . . . *Scenedesmus quadricauda* (Fig. 2.43)
- 27'. Células naviculoides, angostas en los polos. Espinas apicales largas en células externas e internas . . . . . *Scenedesmus opoliensis* (Fig. 2.42)
28. Pared externa de las células periféricas proyectada en un lóbulo o cuerno . . . . . *Pediastrum simplex* (Fig. 2.41)
- 28'. Pared externa de las células periféricas con dos cuerpos o procesos . . . . . 29
29. Cenobio con células continuas, sin perforaciones . . . . . *Pediastrum boryanum* (Fig. 2.46)
- 29'. Cenobio notoriamente perforado . . . . . *Pediastrum duplex* (Fig. 2.45)
30. Colonias con 4 a 16 células esféricas. Cada pared celular rodeada con 1 a 7 setas largas. . . . . *Micractinium pusillum* (Fig. 2.32)
- 30'. Colonias con células no esféricas sin espinas, o con espinas muy cortas. . . . . 31
31. Colonias con células lunadas de ápices agudos adosadas unas con otras por su lado convexo. . . . . 32
- 31'. Colonias con células no lunadas . . . . . 33
32. Colonia formada por 4-16 células 5-8  $\mu\text{m}$  de diámetro . . . . . *Ankistrodesmus bibraianus* (Fig. 2.35)
- 32'. Colonia formada por 2-8 células 1.5-2.5  $\mu\text{m}$  de diámetro. . . . . *Selenastrum westii* (Fig. 2.30)
33. Células fusiformes, colonias de 2 o más células rodeadas de una envoltura gelatinosa. Ejes longitudinales paralelos. . . . . *Elakatothrix gelatinosa* (Fig. 2.36)
- 33'. Células trapezoidales, organizadas de a cuatro alrededor de un espacio central en forma de cruz . . . . . *Cricigenia* sp.
34. Células ovoides formando colonias racimosas, radiando en series dicotómicas unidas entre sí por tractos gelatinosos finos. . . . . *Dictyosphaerium pulchellum* (Fig. 2.34)
- 34'. Células irregulares 3 a 6 veces más largas que anchas. En las colonias las células radian en todos los planos desde un centro común . . . . . *Actinastrum hantzschii* (Fig. 2.39)
35. Colonia globosa con células ovoides o esféricas, distribuidas regularmente en una envoltura gelatinosa. . . . . *Eudorina elegans*
- 35'. Colonia plana, cuadrangular, con 4 a 16 células ovoides o subesféricas. . . . . *Gonium pectorale*
36. Células, en vista valvar, con ornamentación dispuesta en forma radial. Sin rafe . . . . . 39
- 36'. Células en vista valvar con ornamentación dispuesta en forma bilateral. Con rafe o con área axial. . . . . 37
37. Ambas valvas con área axial o con rafe. . . . . 38
- 37'. Una valva con área axial, la otra con rafe . . . . . *Cocconeis placentula* (Fig. 2.15)
38. Ambas valvas con área axial. . . . . 41
- 38'. Ambas valvas con rafe . . . . . 45
39. Células unidas formando cadenas filamentosas . . . . . 40
- 39'. Células aisladas con escaso desarrollo pervalvar . . . . . *Cyclotella meneghiniana* (Fig. 2.1)
40. Células terminales o limítrofes con espinas. . . . . *Melosira granulata* (Fig. 2.2)
- 40'. Células terminales o limítrofes sin espinas . . . . . *Melosira varians* (Fig. 2.3)
41. Eje apical derecho . . . . . 42
- 41'. Eje apical arqueado . . . . . *Ceratoneis arcus* (Fig. 2.6)
42. Eje apical isopolar . . . . . 43
- 42'. Eje apical heteropolar, polo basal de las valvas más ancho que el apical, células forman colonias estrelladas . . . . . *Asterionella formosa* (Fig. 2.7)
43. Valvas con costillas prominentes. Células en vista conectival rectangulares, área axial tenue . . . . . *Diatoma tenue* (Fig. 2.14)
- 43'. Valvas sin costillas prominentes. Células lineares con frústulo alargado, solitarias. . . . . 44
44. Células robustas, lanceoladas. *Synedra ulna* var. *oxyrhynchus*  
*f. mediocontracta* . . . . . (Fig. 2.4)  
*S. una* var. *danica* . . . . . (Fig. 2.5)
- 44'. Células delicadas, aciculares. . . . . *Synedra acus* (Fig. 2.8)
45. Rafe situado en la parte central de la valva. Valvas derechas o sigmoideas. . . . . 46
- 45'. Rafe situado en otra parte. . . . . 51
46. Valvas derechas. . . . . 47
- 46'. Valvas sigmoideas. Estructura valvar está dada por 3 sistemas de estrías. . . . . *Gyrosigma spencerii* (Fig. 2.16)

47.	Con estrías transapicales en el área central. Estrías terminales radiales, convergentes o paralelas . . . . .	48
47'.	Sin estrías transapicales en el área central, nódulo central expandido formando un stauro. . . . .	
	. . . . . <i>Stauroneis</i> sp. (Fig. 2.17)	
48.	Estrías terminales radiales o algo paralelas . . . . .	49
48'.	Estrías terminales convergentes o paralelas . . . . .	50
49.	Valvas lineares levemente lanceoladas con extremos capitados . . . . .	
	. . . . . <i>Navicula dicephala</i> (Fig. 2.9)	
49'.	Valvas elípticas a lanceoladas con ápices rostrados. Area central con un punto . . . . .	
	. . . . . <i>Navicula lateropunctata</i> (Fig. 2.10)	
50.	Valvas lineares lanceoladas con extremos rostrados obtusos. . . . .	
	. . . . . <i>Navicula viridula</i> (Fig. 2.12)	
50'.	Valvas lanceoladas con extremos rostrados capitados . . . . .	
	. . . . . <i>Navicula cryptocephala</i> (Fig. 2.11)	
51.	Rafe marginal . . . . .	52
51'.	Rafe y área axial desplazada ventralmente y paralela a este margen. Valvas arqueadas en el margen dorsal . . . . .	
	. . . . . <i>Cymbella minuta</i> (Fig. 2.13)	
52.	Rafe excéntrico, ubicado en uno de los márgenes de la valva . . . . .	53
52'.	Rafe rodea toda la valva . . . . .	55
53.	Valvas lanceoladas con extremos prolongados . . . . .	
	. . . . . <i>Nitzschia acicularis</i> (Fig. 2.19)	
53'.	Valvas lanceoladas con extremos poco aguzados . . . . .	54
54.	Extremos redondeados débilmente capitados . . . . .	
	. . . . . <i>Nitzschia fonticola</i> (Fig. 2.20)	
54'.	Extremos aguzados algo rostrados. Valva linear lanceolada . . . . .	
	. . . . . <i>Nitzschia palea</i> (Fig. 2.21)	
55.	Célula heteropolar en el eje apical. . . . .	
	. . . . . <i>Surirella ovalis</i> v. <i>pinnata</i> (Fig. 2.23)	
55'.	Célula isopolar con superficie valvar ondulada. . . . .	
	. . . . . <i>Cymatopleura solea</i> (Fig. 2.22)	

#### ILUSTRACION DE TAXA IDENTIFICADOS EN EL EMBALSE RAPEL

1. *Cyclotella meneghiniana* Kützing.
2. *Melosira granulada* (Ehr.) Ralfs.
3. *Melosira varians* Agardh.
4. *Synedra ulna* var. *oxyrhynchus* f. *mediocontracta* (Forti) Hustedt.
5. *Synedra ulna* var. *danica* (Kütz.) Grunow.
6. *Ceratoneis araus* (Ehr.) Kützing.
7. *Asterionella formosa* Hassall.
8. *Synedra acus* Kützing.
9. *Navicula dicephala* var. *sphaerophora* Cleve-Euler.
10. *Navicula lateropunctata* Wallace.
11. *Navicula cryptocephala* Kützing.
12. *Navicula viridula* (Kütz.) Kutz. emend V. Heurck.
13. *Cymbella minuta* Hilse.
14. *Diatoma tenue* Agardh.
15. *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Ehr.) Cleve.
16. *Gyrosigma spencerii* (Ouek.) Griffith & Henfrey.
17. *Stauroneis* sp.
18. *Nitzschia* sp.
19. *Nitzschia acicularis* (Kütz.) W m. Smith.
20. *Nitzschia fonticola* Grunow.
21. *Nitzschia palea* (Kütz.) W m. Smith.
22. *Cymatopleura solea* (Breb.) W m. Smith.
23. *Surirella ovalis* var. *pinnata* (W m. Smith) Van Heurck.
24. *Poliedriopsis quadrispina* G.M. Smith.
25. *Oocystis lacustris* Chodat.
26. *Tetraedron minimum* (A. Braun) Hansgirg.
27. *Tetraedron limneticum* Borge.
28. *Tetraedron caudatum* (Corda) Hansgirg.
29. *Treubaria varia* Tiffany y Abrestrom.
30. *Selenastrum westii* Smith.

31. *Chodatella subsalsa* Lemmermann.
32. *Micractinium pusillum* Fresenius.
33. *Golenkinia radiata* (Chod) Wille.
34. *Dictyosphaerium pulchellum* Naegeli.
35. *Ankistrodesmus bibraianus* (Reinsch) Korshikov.
36. *Elakatothrix gelatinosa* Wille.
37. *Coelastrum microporum* Naegeli.
38. *Scenedesmus arcuatus* Lemmermann.
39. *Actinastrum hantzschii* Lagerheim.
40. *Scenedesmus acuminatus* (Lag.) Chodat.
41. *Pediastrum simplex* Meyen.
42. *Scenedesmus opoliensis* Richter.
43. *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson.
44. *Scenedesmus ecornis* (Ralfs) Chodat.
45. *Pediastrum duplex* Meyen.
46. *Pediastrum boryanum* (Turpin) Meneghini.
47. *Staurastrum johnsonii* W. et G.S. West.
48. *Staurastrum tetracerum* Ralfs.
49. *Staurastrum paradoxum* Meyen.
50. *Cosmarium* sp.
51. *Closterium acutum* a) var. *variabile* (Lemmermann) Krieger  
b) var. *linea* (Perty) West & West
52. *Closterium aciculare* T. West.
53. *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Lemmermann.
54. *Anabaena circinalis* Rabenhorst.
55. *Anabaena* sp.