

Las algas del canal olímpico de piragüismo de aguas tranquilas (Barcelona)

JOAN GARCIA, VIDAL MERINO, MANUEL FERNÁNDEZ & MARIONA
HERNÁNDEZ-MARINÉ

Abstract

GARCIA, J., V. MERINO, M. FERNANDEZ & M. HERNANDEZ-MARINÉ (1997). The algal flora in the Olympic Calm Waters Canoeing Channel (Barcelona). *Collect. Bot. (Barcelona)* 23: 7-27.

An investigation of the algal flora in the Olympic Calm Waters Canoeing Channel was performed during one year. A number of 90 taxa were identified (20 Cyanophyta, 25 Chlorophyta, 1 Charophyta, 9 Euglenophyta, 31 Chrysophyta, 2 Cryptophyta and 2 Pirrophyta). Morphometric data, descriptions and light microscope photographs of some species are included. Also, scanning electron microscope photographs of diatoms are presented. The floristic composition changes observed during this study related to the improvement of the water quality are discussed. The changes in diatom populations concerning the increase in salinity concentrations are described.

Resumen

GARCIA, J., V. MERINO, M. FERNANDEZ & M. HERNANDEZ-MARINÉ (1997). Las algas del canal olímpico de piragüismo de aguas tranquilas (Barcelona). *Collect. Bot. (Barcelona)* 23: 7-27.

Se ha estudiado la flora algal del Canal de Piragüismo de Aguas Tranquilas durante un año. Se han identificado 90 taxa (20 Cyanophyta, 25 Chlorophyta, 1 Charophyta, 9 Euglenophyta, 31 Chrysophyta, 2 Cryptophyta y 2 Pirrophyta). Se aportan datos morfométricos, descripciones y fotografías de microscopio óptico de algunas de las especies. También se incluyen fotografías de diatomeas realizadas al microscopio electrónico de barrido. Se comentan los cambios observados en la composición florística en relación con la mejora de la calidad del agua del canal. También se discute el efecto del progresivo incremento de salinidad del agua sobre las poblaciones de diatomeas.

INTRODUCCIÓN

El Canal Olímpico de Piragüismo de Aguas Tranquilas fue construido entre los años 1989 y 1991 para albergar las competiciones de la modalidad de piragüismo de aguas tranquilas de los Juegos Olímpicos de Barcelona 92. Se encuentra situado en el municipio de Castelldefels, a 20 Km al sur de la ciudad de Barcelona, justo en el delta del río Llobregat (fig. 1). El canal tiene 2

Joan Garcia. Laboratori d'Enginyeria Ambiental. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental. E. T. S. d'Enginyers de Camins, Canals i Ports. Universitat Politècnica de Catalunya. C/ Gran Capità, s/n. E-08034 Barcelona.

Vidal Merino, Manuel Fernández & Mariona Hernández-Mariné. Laboratori de Botànica. Facultat de Farmàcia. Universitat de Barcelona. Av. Joan XXIII, s/n. E-08028 Barcelona.

km de longitud y 150 m de ancho. Fue directamente excavado en el suelo y se llenó de agua procedente del acuífero superficial del delta hasta su profundidad actual (4 m). En estudios iniciales (CUSTODIO *et al.*, 1990) se demostró que el agua del acuífero, en la zona de construcción, estaba gravemente contaminada. Por ello se desarrolló un programa multidisciplinar dirigido por la Asociación Internacional de Hidrología Subterránea para el seguimiento de las variaciones de la calidad del agua del canal, patrocinado por las autoridades responsables de la obra (INCASOL). El trabajo que aquí presentamos es una aportación al conocimiento de la ficoflora del canal en relación con los cambios físico-químicos del agua ocurridos durante su construcción.

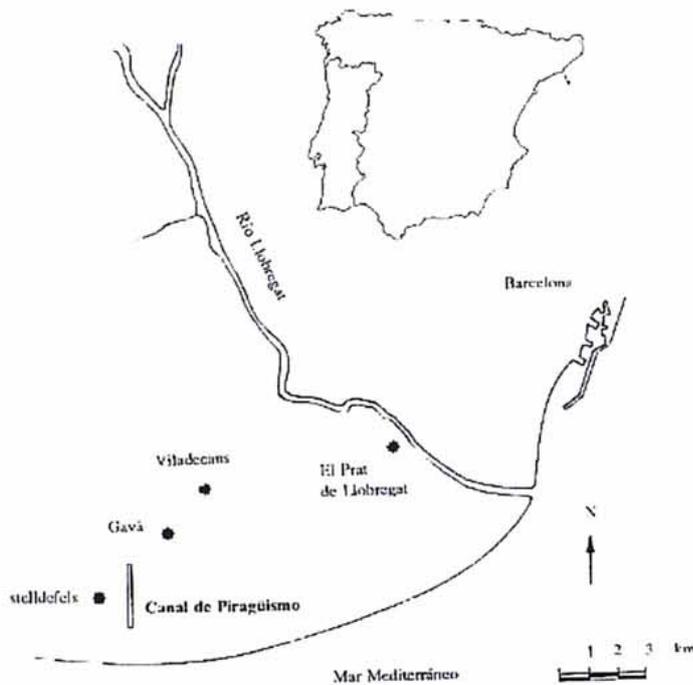


Fig. 1. Situación geográfica del Canal de Piragüismo de Aguas Tranquilas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se recogieron muestras en 7 ocasiones a lo largo del año 1991 (22 de enero, 5 de marzo, 9 de abril, 5 de mayo, 8 de julio, 16 de octubre y 18 de diciembre). Las muestras de agua para realizar los análisis físico-químicos y el estudio del fitoplancton se tomaron en tres lugares diferentes, a 20 m de ambos extremos del canal y en el centro de éste (20 m –zona este, más cercana al mar–, 1000 m –centro– y 1980 m –zona oeste, más lejana al mar–), con excepción de mayo y de julio en que se recogieron solamente en los extremos y de octubre en que sólo se tomó en la zona este. Las muestras se recogieron a nivel superficial y a 2,5 m de profundidad con una bomba de pequeña potencia, con excepción de octubre que sólo se tomó una muestra superficial. El resto de muestras algológicas se obtuvieron por raspado de piedras de las orillas y otros sustratos –maderas, plásticos, etc.– También se recolectaron hidrófitos (para el estudio de sus epífitos) y sedimento superficial.

El fitoplancton se preservó con unas gotas de lugol acético. El resto de muestras se recogieron por duplicado; una se preservó con formaldehído al 4 % y la otra se reservó para su estudio *in vivo*. Para el estudio de las diatomeas, parte de las muestras preservadas se trataron según la metodología descrita por RENBERG (1990). En el laboratorio las muestras de bentos fueron estudiadas en un microscopio Nikon 104 provisto de cámara clara y en un microscopio Nikon Optiphot-2 con equipo de microfotografía. El fitoplancton se estudió, previa sedimentación en cámaras de fondo desmontable, en un microscopio invertido Wild según el método de UTERMÖHL (1958). Para el estudio de las diatomeas al microscopio electrónico de barrido, las muestras ya

Parámetro	Media	Desviación	Rango
Temperatura (°C)	17,1	6	8,8-24,8
Conductividad (mS/cm)	4,955	0,151	4,700-5,445
pH	8,02	0,26	7,80-8,40
Oxígeno disuelto (mg/L)	9,3	0,7	6,0-10,4
Alcalinidad (meq/L)	5,3	2,3	2,1-9,2
Calcio (meq/L)	8,8	1,1	6,7-10,7
Magnesio (meq/L)	7,4	1,0	6,2-10,9
Potasio (meq/L)	2,6	0,1	2,2-2,8
Sodio (meq/L)	31,8	1,9	27,2-35,3
Cloruro (meq/L)	34,0	1,6	33,4-38,0
Sulfato (meq/L)	11,2	0,4	10,0-12,0
Nitrato (mg/L NO ₃ -N)	10,73	5,11	0,65-22,3
Nitrito (mg/L NO ₂ -N)	0,91	1,58	0,01-8,26
Amonio (mg/L NH ₄ ⁺ -N)	4,01	3,59	0,02-0,41
Fósforo reactivo soluble (mg/L PO ₄ ³⁻ P)	0,10	0,11	0,02-0,41
Clorofila <i>a</i> (mg/m ³)*	3,8	2,0	0,9-6,0

* Sólo se consideraron los valores de las muestras superficiales.

Tabla I. Principales características físico-químicas de las aguas del canal durante 1991.

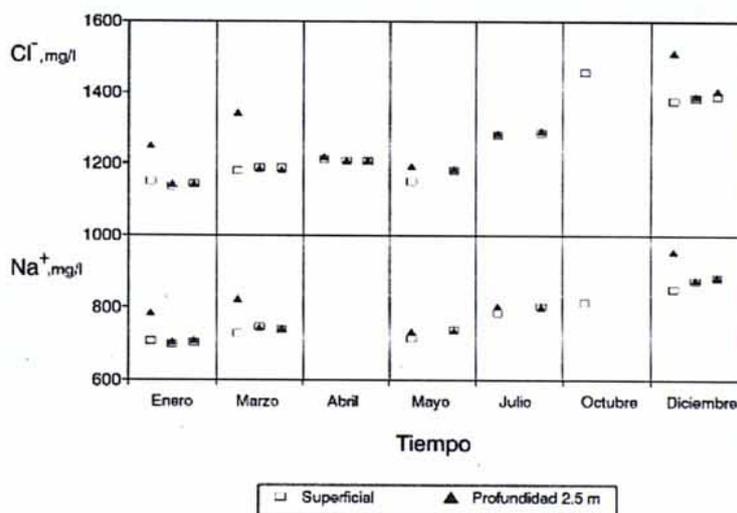


Fig. 2. Evolución del cloruro y el sodio durante 1991. Los tres valores indicados para cada mes corresponden a los tres puntos de muestreo, a 20 m, a 1000 m y a 1980 m respectivamente de la costa este. También se indican los valores superficiales y a 2,5 m de profundidad. En el caso de falta de alguno de los datos, las posiciones son conservativas. Los valores se han expresado en mg/l para clarificar el cambio de concentración ocurrido a lo largo del tiempo.

tratadas se recubrieron con una capa de 60 nm de oro y fueron observadas en un microscopio Hitachi S-2300. Las muestras de agua para los análisis físico-químicos se analizaron inmediatamente al llegar al laboratorio, siguiendo los procedimientos indicados en APHA (1989). Se realizaron cultivos a partir de las muestras *in vivo* para obtener estadios reproductivos de aquellas especies cuya sistemática lo precisa. Se utilizó medio mineral básico BBM (BOLD & WINNE, 1978), líquido o solidificado con agar al 1%. Los cultivos se mantuvieron frente a una ventana orientada al Norte.

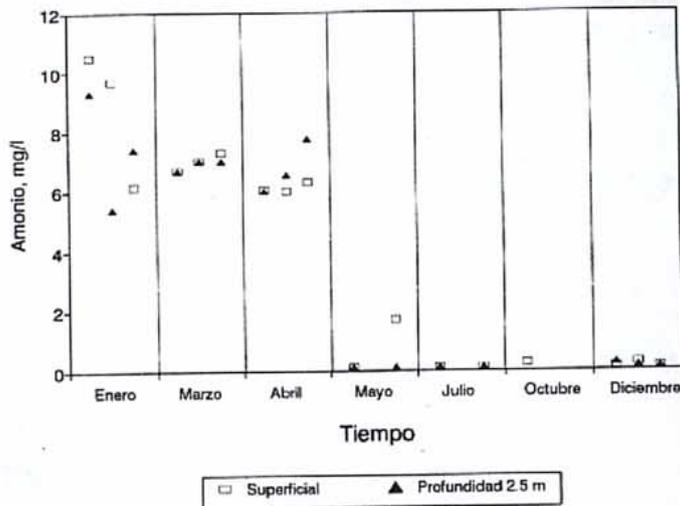


Fig. 3. Evolución del amonio durante 1991. Los tres valores indicados para cada mes corresponden a los tres puntos de muestreo, a 20 m, a 1000 m y a 1800 m respectivamente de la costa este. También se indican los valores superficiales y a 2,5 m de profundidad. En el caso de falta de alguno de los datos, las posiciones son conservativas.

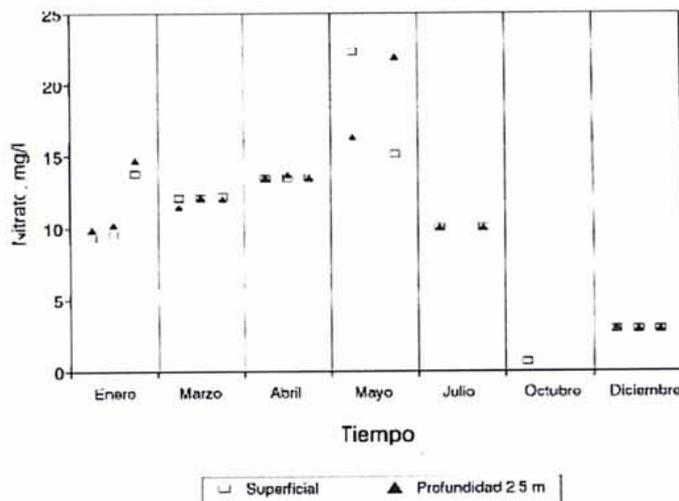


Fig. 4. Evolución del nitrato durante 1991. Los tres valores indicados para cada mes corresponden a los tres puntos de muestreo, a 20 m, a 1000 m y a 1800 m respectivamente de la costa este. También se indican los valores superficiales y a 2,5 m de profundidad. En el caso de falta de alguno de los datos, las posiciones son conservativas.

Para la identificación de las especies las obras más usadas han sido: DESIKACHARY (1959) y GEITLER (1932) para las cianobacteria, Ettl (1983) para las Volvocales, Ettl & GÄRTNER (1988) para las Tetrasporales y las Clorococales, KOMAREK & FOTT (1983) para las Clorococales, RAMANATHAN (1964) para las Ulotricales, WEST & WEST (1904-1922) para las Desmidiáceas, HUBER-PESTALOZZI (1955) para las Euglenófitas, STARMACH (1985) para las Crisófitas, Ettl (1978) para las Xantófitas, KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986-1991) para las Diatomeas, HUBER-PESTALOZZI (1968) para las Criptófitas y POPOVSKY & PFIESTER (1990) para las Dinófitas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del agua del canal durante el período de estudio se indican en la Tabla I. La distribución vertical de los valores de temperatura no evidenció procesos de estratificación termal, debido a la escasa profundidad y a la gran superficie del canal.

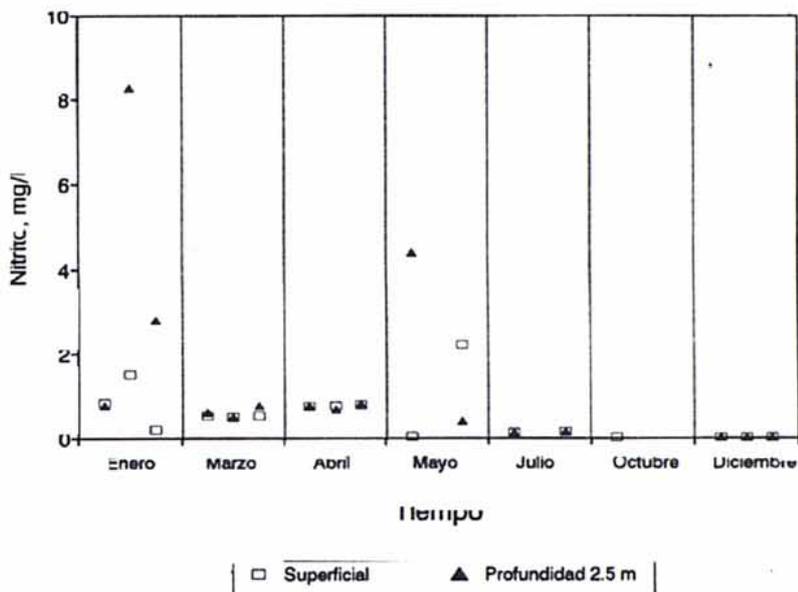


Fig. 5. Evolución del nitrato durante 1991. Los tres valores indicados para cada mes corresponden a los tres puntos de muestreo, a 20 m, a 1000 m y a 1980 m respectivamente de la costa este. También se indican los valores superficiales y a 2,5 m de profundidad. En el caso de falta de alguno de los datos, las posiciones son conservativas.

El contenido en oxígeno disuelto no mostró grandes variaciones durante el período de estudio; de ahí su escasa desviación. La proporción de los iones mayoritarios fue: $Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+$ para los cationes y $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ para los aniones, asemejándose a la composición del agua marina (LÓPEZ & TOMÁS, 1989). Esta composición evidencia que el agua del canal procede de la mezcla de agua continental con una porción de agua marina.

El cloruro y el sodio mostraron un ciclo anual muy parecido (fig. 2). Ambos presentaron un incremento en concentración a lo largo del tiempo; el ligero descenso de sus concentraciones en mayo fue debido a episodios de lluvia. También se observó que sus concentraciones tendieron a aumentar en superficie y a disminuir en profundidad en el eje longitudinal del canal desde el punto de muestreo localizado a 20 m, en el este, hacia el punto de muestreo localizado a 1880 m, en el oeste. Este efecto fue debido a la presencia de una cuña de agua salina densa en el

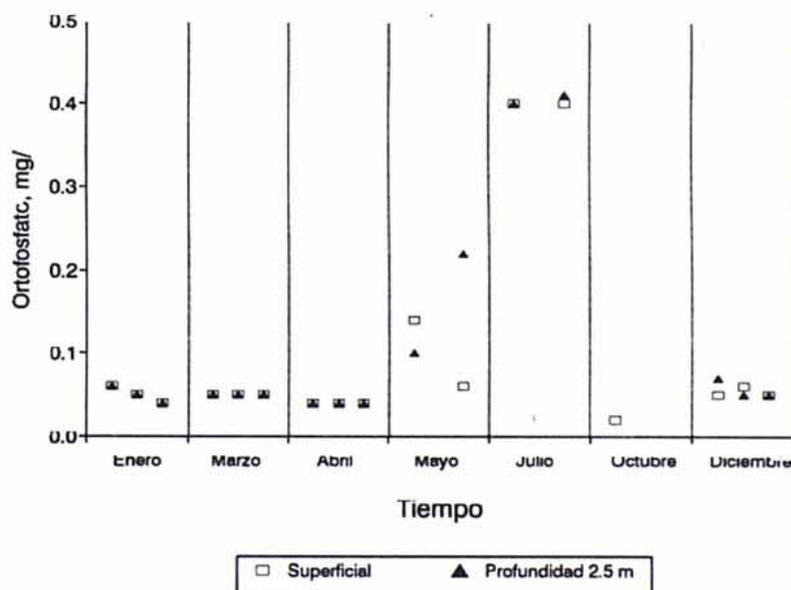


Fig. 6. Evolución del fósforo reactivo soluble durante 1991. Los tres valores indicados para cada mes corresponden a los tres puntos de muestreo, a 20 m, a 1000 m y a 1980 m respectivamente de la costa este. También se indican los valores superficiales y a 2,5 m de profundidad. En el caso de falta de alguno de los datos, las posiciones son conservativas.

punto este, que se iba disipando a lo largo del eje mayor del canal. En la mitad del canal las concentraciones de cloruro y sodio observadas en superficie y profundidad eran ya muy similares. La conductividad eléctrica siguió una evolución similar a la descrita para el cloruro y el sodio.

El amonio mostró máximas concentraciones en enero, marzo y abril, para después casi agotarse (fig. 3). Los nitratos, en cambio, aumentaron progresivamente hasta mayo, y disminuyeron a partir de julio (fig. 4). La elevada concentración de amonio en enero se relacionó con las características reductoras del agua procedente del acuífero. Posteriormente, los niveles fueron disminuyendo debido a la asimilación biológica y a procesos de nitrificación que se tradujeron en un incremento de los niveles de nitrato hasta el mes de mayo. A partir de este mes la disminución del nitrato se podría relacionar con la asimilación biológica, justo en el momento en que la concentración de amonio fue muy baja. La concentración de nitrito fue especialmente elevada desde enero hasta mayo; posteriormente fue baja (fig. 5).

La concentración de fósforo reactivo soluble observada durante el estudio osciló alrededor de 0,5 mg/l, con excepción de mayo y julio (fig. 6). Los valores de enero, marzo, abril, octubre y diciembre se correspondieron con los datos analíticos del agua del acuífero (CUSTODIO *et al.*, 1990). El incremento de concentración de mayo y junio pudo ser debido a un episodio de entrada de agua del acuífero rica en fósforo reactivo soluble o bien a la disolución de alguna fracción precipitada. Las cantidades medidas de fósforo reactivo soluble sitúan al sistema en la línea de la eutrófia (MARGALEF, 1983).

La biomasa del fitoplancton superficial, expresada en términos de clorofila *a*, fue elevada en enero y marzo, coincidiendo con el desarrollo masivo de *Tribonema aequale* y varias Euglenófitas, para disminuir hasta mayo. Desde mayo y hasta el final del estudio la concentración de clorofila *a* aumentó progresivamente

Listado florístico

Se han identificado 90 especies que se agrupan en divisiones (y además en clases en las *Chrysophyta*) según la clasificación de BOLD & WYNNE (1985). Las *Craspedophyceae* se han incluido en las *Chrysophyta*.

La descripción de cada taxon finaliza con una nota sobre su abundancia o habitat.

En algunos cultivos crecieron especies que no se observaron en las muestras de campo del canal, las cuales también se presentan en el catálogo.

Se han usado las siguientes abreviaciones morfométricas. a: anchura, Ø: diámetro y l: longitud. También se utilizan abreviaciones de abundancia. A: abundante, C: identificado en cultivos agarizados, E: escasa, F: presente en más de la mitad de las muestras; MA: muy abundante, MF: presente en todas las muestras, MR: muy rara, O: ocasional, R: rara.

CYANOBACTERIA

Aphanizomenon flos-aque (Linné) Ralfs (fig. 15)

Tricomas de 7,5-9,5 µm Ø, atenuados. Células de 3-8 µm l. O en el fitoplancton en los meses de octubre y diciembre.

Calothrix parietina (Nägeli) Thuret

Talos amarillentos en la zona basal. Filamentos de hasta 1 mm l. Células basales de 5 µm a y 10 µm l. MA, especialmente en los muelles.

Chroococcus turgidus (Kützing) Nägeli (fig. 20)

Células esféricas o hemisféricas de 15-25 µm Ø. R.

Geitlerinema amphibium (Agardh) Anagnostidis (fig. 21)

Tricomas de 1,5-2 μm Ø, células de 6-13(-17) μm l. Un gránulo refringente a cada lado de los tabiques. MA, MF.

Gloeothece samoensis Wille (fig. 22)

Células reunidas por pares o solitarias de 6-8 μm l y de 4-5 μm a. Forma masas más o menos extensas. MA sobre piedras.

Gomphosphaeria tenera Skuja

Cenobios de 16-24 μm Ø. Células ovales de 2-3 μm Ø. E en el fitoplancton.

Lyngbya epiphytica Hieronymus

Tricomas laxamente espiralados de 1 μm a. Células de 1,5-2,5 μm l. Sobre *Cladophora fracta*.

Lyngbya sp.

Filamentos fijados por sus bases. Tricomas ligeramente entrados en los tabiques. Células subcuadradas de 2-3 μm a. En sustratos diversos y en especial sobre *Calothrix parietina*.

Merismopedia punctata Meyen (fig. 23)

Colonias formadas por 16-128 células, de 2,5-3,5 μm Ø. A.

Merismopedia glauca (Ehrenberg) Nägeli (fig. 9)

Colonias de 4-16 células, de 4-6,5 μm Ø. O en el fitoplancton.

Microcystis flos-aquae (Wittrock) Kirchner (fig. 24)

Células de 3-5 μm Ø. F en octubre y diciembre en el fitoplancton.

Oscillatoria brevis Kützing

Tricomas de 5-6 μm Ø. Apices curvados y frecuentemente atenuados. Células de 2,5-4,5 μm l. A, MF.

Phormidium tenue (Meneghini) Gomont

Tricomas de 0,7 a 2,5 μm Ø, entrados a nivel de los tabiques. Células de 2-3 μm l. A sobre piedras y plásticos.

Plectonema boryanum Gomont

Tricomas de 1,5-2 μm Ø. Células de 2-3 μm l. Falsas ramificaciones escasas. R.

Plectonema dangeardii Frémy

Tricomas de 1,5 μm Ø. Células 3-8 (-16) μm l. F entre las piedras.

Pseudanabaena galeata Bocher

Tricomas de 1,2-1,8 μm Ø. Células de (1,5-) 2-4,5 (-5,5) μm l, en número de 15-35 en cada tricoma. Forma masas macroscópicas sobre ramitas en descomposición y plumas de gaviotas. También sobre piedras. F.

Pseudanabaena papillaterminata (Kisselev) Kukk

Tricomas de 1,5-2 μm Ø. Células de 1,5-3 (-4) μm l, en número de 17-34 en cada tricoma. Presenta coloración pardo-violácea. C.

Spirulina labyrinthiformis (Meneghini) Gomont

Tricomas de 0,8-1 μm \emptyset . Espiras contiguas separadas 2-3 μm . MR en el fitoplancton.

Spirulina major Kützing

Tricomas de 1,5-2 μm \emptyset . Frecuentemente asociada a *Pseudanabaena galeata*.

Synechococcus elongatus Nägeli (fig. 8)

Células de 3-3,5 μm a y 5-7 μm l. Solitarias o en pequeños grupos, adheridas a filamentos de *Cladophora fracta*.

CHLOROPHYTA

Ankyra judayi (G.M. Smith) Fott

Células de 40-50 μm l y 2-5 μm a. E en el fitoplancton.

Aphanochaete repens A. Braun (fig. 25)

Filamentos simples, con escaso número de células. Células de 8-10 μm \emptyset y 10-18 μm l. Fructificada en abril. Esporocistes de 9-11 μm a y 6-11 μm l. Esporas tetraflageladas de 9 μm \emptyset , ameboides al perder los flagelos. Es el alga más abundante sobre las piedras.

Bracteacoccus medionucleatus Bischof et Bold (fig. 26)

Células esféricas de 10-25 μm . Esporociste con 64 esporas biflageladas, ovoidales de 2,5-3 μm l y 1-1,5 μm a. C.

Botryococcus braunii Kützing (fig. 28)

Células piriformes de 8-11 μm l y 4-6 μm a. A en el fitoplancton en octubre y diciembre.

Carteria crucifera Korschikoff

Células de 30-33 μm l y 24-26 a, ligeramente asimétricas. Plasto en forma de H con un pirenoide central y con abundante almidón estromático. R en el fitoplancton.

Chlamydomonas sp.

Células ovaladas de 8 μm l y 6 μm a. Plasto en copa con un pirenoide en posición basal. Presenta papila apical. R en el fitoplancton.

Chlorococcum macrostigmatum Starr (figs. 29, 30)

Células redondeadas, ovaladas cuando son jóvenes, de 8-37 μm \emptyset . Pared celular lisa y ancha de 1 μm de grosor, como mínimo. Citoplasma muy vacuolizado. Cloroplasto parietal, que presenta fisuras alargadas y crestas longitudinales superficiales. Pirenoide esférico con estructura radial característica y envoltura continua de almidón. Zoósporas piriformes de 6 μm l y 4 μm a, plasto parietal con un pequeño pirenoide. Estigma en posición subanterior. C, de material adherido a un plástico.

Cladophora fracta (Müller) Kützing

Células apicales de 150-470 μm l y de 25-35 μm \emptyset . MA, sobre *Potamogeton pectinatus*.

Closterium diana Ehrenberg (fig. 27)

Células de 186-390 μm l y 23-40 μm a. E, MF.

Cosmarium botrytis (Meneghini) Ralfs (fig. 13)

Células de 55-62 μm l y 37-43 μm a. E en el fitoplancton.

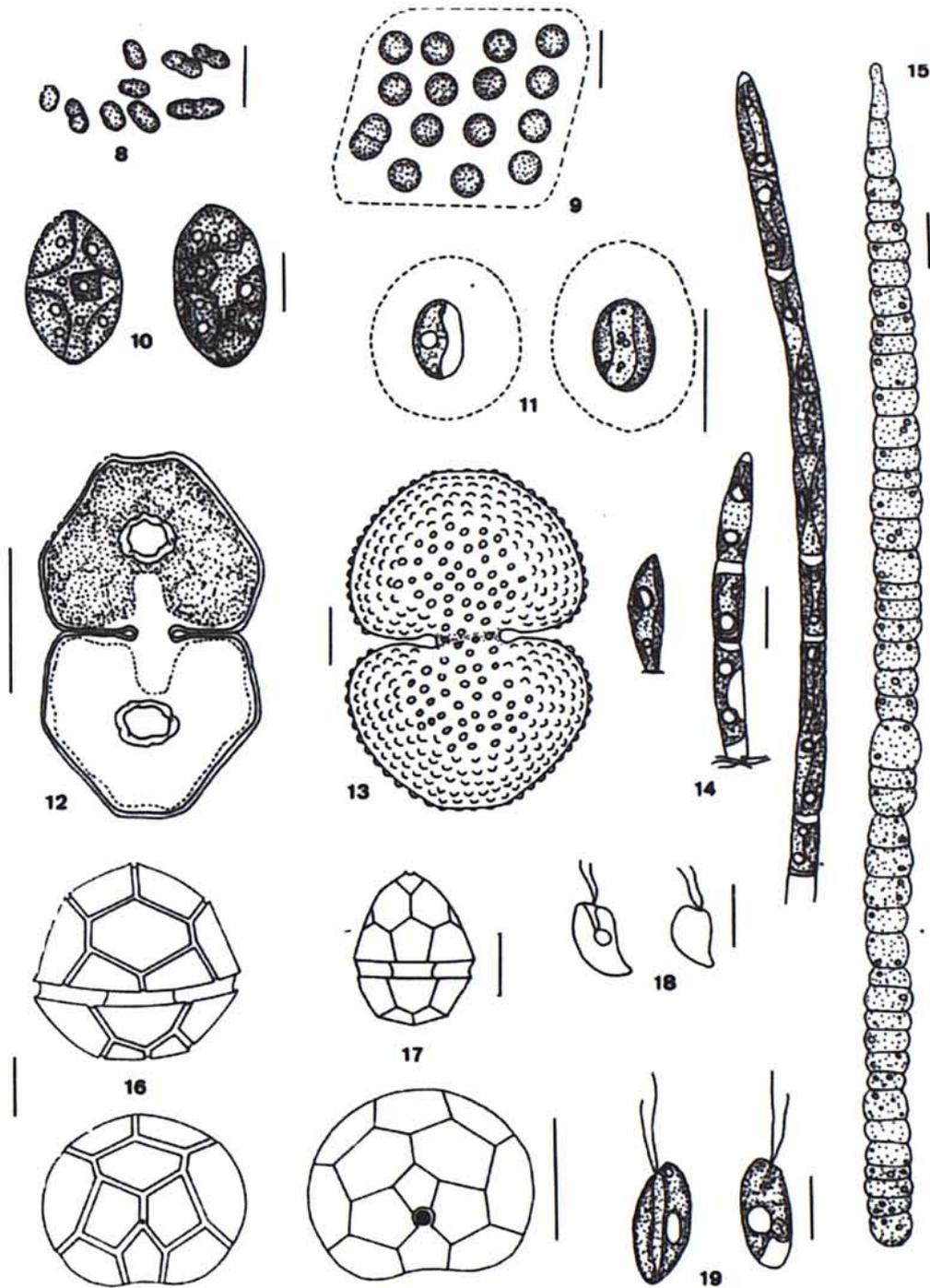


Lámina 1. Ilustraciones. Fig. 8. *Synechococcus elongatus*. Fig. 9. *Merismopedia glauca*. Fig. 10. *Oocystis solitaria*. Fig. 11. *Oocystis* sp. Fig. 12. *Cosmarium laeve*. Fig. 13. *Cosmarium botrytis*. Fig. 14. *Uronema confervicolum*. Fig. 15. *Aphanizomenon flos-aquae*. Fig. 16. *Peridinium borgei*. Fig. 17. *Peridinium umbonatum*. Fig. 18. *Rhodomonas minuta*. Fig. 19. *Cryptomonas rufescens*.

Cosmarium laeve Rabenhorst (fig. 12)

Células de forma y tamaño variables, 24-30 μm l y de 11-25 de anchura. A entre *Chara aspera* y *Potamogeton pectinatus*.

Klebsormidium flaccidum (Kützing) Silva, Mattox & Blackwell

Células de 8-9 μm \emptyset y 7,5-15 μm l. C.

Lagerheimia sp.

Células ovaladas de 5,5-6 μm l y 4,5 μm a, con 4 sedas (2 en cada polo) de hasta 22 μm l. MR en el fitoplancton.

Monoraphidium circinale (Nygaard) Nygaard

Células en forma de media luna, con los ápices puntuados, de 4-7 μm l y 2-3 μm a. C.

Monoraphidium nanum (Ettl) Hindák (fig. 31)

Células en forma de media luna, con los ápices redondeados, de 4-5,5 l y 2-3 μm a. C.

Mougeotia sp

Células de 13-27 μm l y 7-12 μm a. No se encontró fructificada. MA entre *Potamogeton pectinatus* en octubre y diciembre.

Oocystis solitaria Wittrock (fig. 10)

Células elípticas de 23-29 μm l y 14-19 μm a, con engrosamientos apicales y generalmente con 8 plastos. De 4 a 8 autósporas. E en el fitoplancton.

Oocystis sp. (fig. 11)

Envolturas gelatinosas de 13-19 μm \emptyset . Células ovales con los extremos no mamelonados, solitarias, de 6-7,5 μm l y 5 μm a, con un único plasto. R.

Pedinomonas sp.

Células esféricas de 5 μm \emptyset . Plasto parietal que ocupa la mayor parte de la célula. Mancha ocular en posición mediana. Flagelo de 8 μm l. E en el fitoplancton.

Pseudoclonium sp. (fig. 32)

Filamentos postrados de aspecto pleurococoide. Células redondeadas de 5-13 μm de diámetro con un plasto parietal y un pirenoide. Membranas muy gelificadas. E, MF sobre piedras.

Scenedesmus armatus Chodat

Células de 12-15 μm l y de 5-7 μm a. C.

Spirogyra sp.

Células de 150-160 μm \emptyset y 150-300 μm l. Número de plastos variable (4-8), aunque en general son 5. No se observó fructificada. Sin epífitos, con excepción de los filamentos en estado senescente, que presentaban *Phormidium tenue*, *Gomphonema parvulum* y *Diploeca flava*.

Stigeoclonium tenue (Agardh) Kützing (figs. 33, 34)

Partes erecta y postrada bien desarrolladas tanto en cultivo como en material salvaje. Células centrales de la parte postrada redondeadas de 8-10 μm \emptyset (fig. 33), las de los extremos

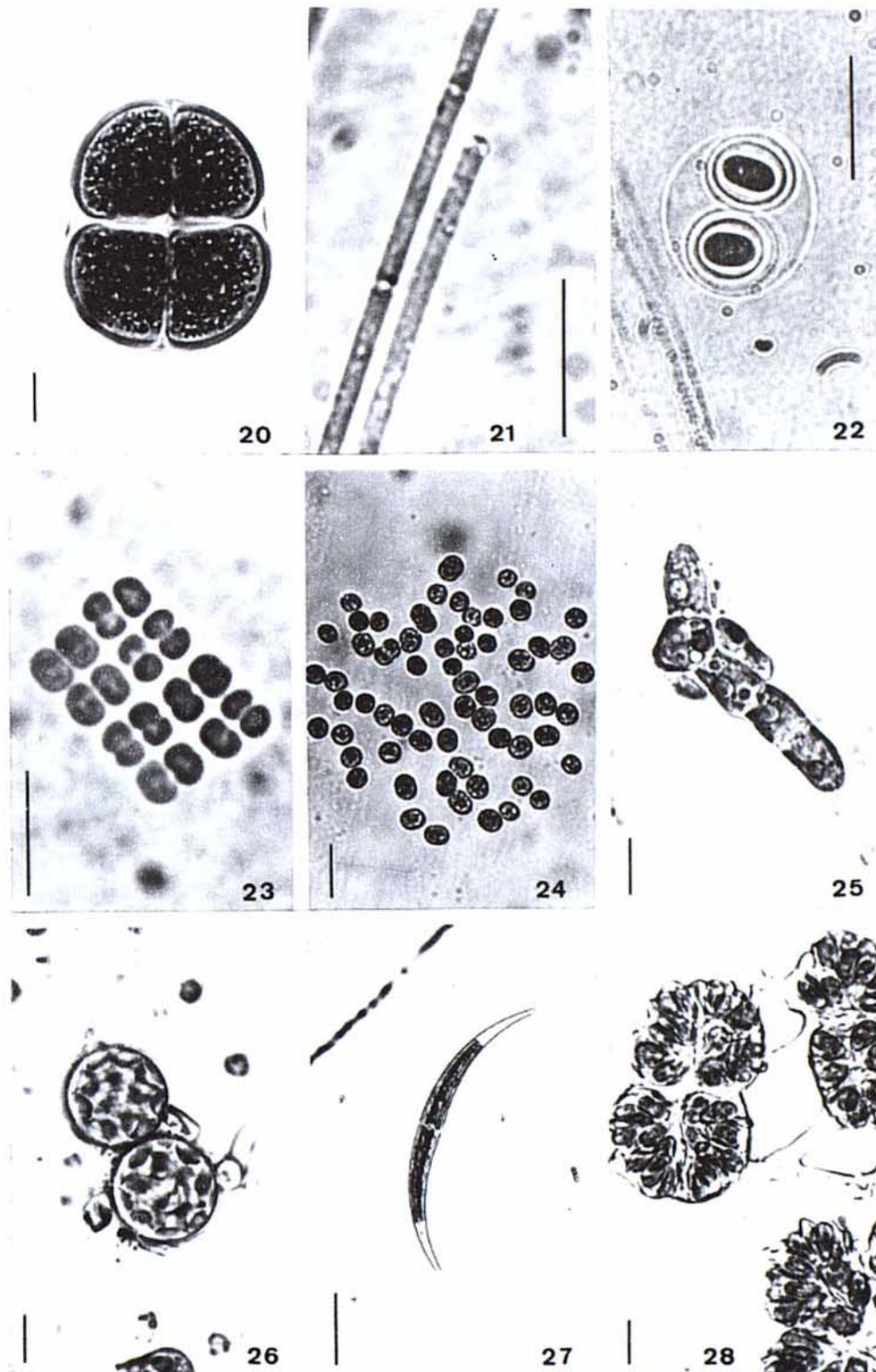


Lámina 2. Fotografías al microscopio óptico. Fig. 20. *Chroococcus turgidus*. Fig. 21. *Geitlerinema amphibium*. Fig. 22. *Gloeotheca samoensis*. Fig. 23. *Merismopedia punctata*. Fig. 24. *Microcystis flos-aquae*. Fig. 25. *Aphanochaete repens*. Fig. 26. *Bracteacoccus medionucleatus*. Fig. 27. *Closterium diana*. Fig. 28. *Botryococcus braunii*. Barra = 10 μ m.

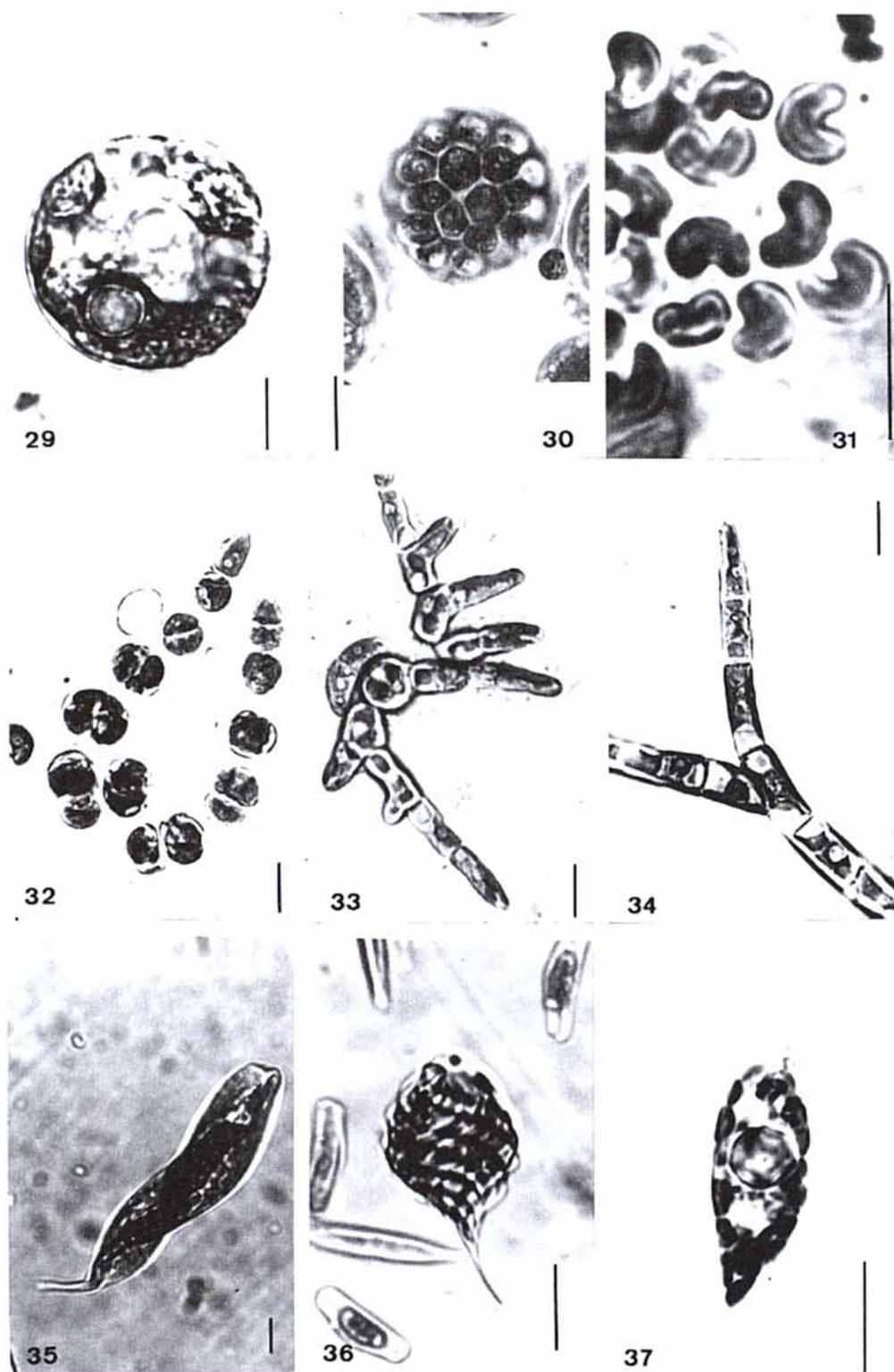


Lámina 3. Fotografías al microscopio óptico. Fig. 29. *Chlorococcum macrostigmaticum*. Fig. 30. *Chlorococcum macrostigmaticum*, esporociste. Fig. 31. *Monorraphidium nanum*. Fig. 32. *Pseudoendoclonium* sp. Fig. 33. *Stigeoclonium tenue*, parte postrada de un talo joven. Fig. 34. *Stigeoclonium tenue*, ramas de la parte erecta. Fig. 35. *Euglena tripteris*. Fig. 36. *Phacus nordstedtii*. Fig. 37. *Phacus skujai*. Barra = 10 μ m.

cilíndricas de 9-17 μm l y de 5-9 μm a (fig. 34). Células de la parte erecta cilíndricas de (12-) 18-35 (-43) μm l y 5-8 μm \varnothing (fig. 33). Esporocistes redondos de 11-12 μm \varnothing , siempre con 8 zoósporas. Zoósporas elipsoidales de 8-9 μm l y 4,5 μm de anchura. A sobre cualquier sustrato.

Tetraselmis cordiformis (Carter) Stein

Células ovaladas de 13,5-15 μm l y de 11-12,5 a. F en el fitoplancton.

Uronema confervicolum Lagerheim (fig. 14)

Células de 4-7 μm \varnothing y 14-25 (-53) μm l. Plasto parietal con 1-2 pirenoides. Célula apical terminada en punta recta. Células iniciales con dos grandes inclusiones lipídicas, conservando durante cierto tiempo la mancha ocular. Sobre *Cladophora fracta*.

CHAROPHYTA

Chara aspera Willdenow

Plantas de 20-45 cm l, triplósticas y diplostéfanas. Fructificada en primavera y verano. Forma extensas praderas en el fondo del canal.

EUGLENOPHYTA

Colacium sp.

Células ovaladas de 20-21 μm l y 13-16 μm a. F sobre Copépodos y *Daphnia* sp.

Entosiphon sulcatum (Dujardin) Stein

Células ovaladas de 23 μm l y 13 μm a. R en el fitoplancton.

Euglena oblonga Schmitz

Células ovaladas de 68 μm l y 36 μm a, poco metabólicas. Flagelo de 50 μm . Periplasto muy aparente. Cuerpos mucíferos visibles sin necesidad de tinción. Plastos en forma de cintas cortas, dispuestos oblicuamente. Solamente se observaron dos individuos en enero entre el plocon de *Tribonema aequale*.

Euglena tripteris (Dujardin) Klebs (fig. 35)

Células aciculares de sección trígona, de 90-97 μm l y 15-16 μm a, muy poco metabólicas. El flagelo nunca fue observado. Periplasto aparente. Dos grandes cuerpos de paramilo bacilares. O, MF en enero.

Euglena sp.

Células nadadoras de forma acicular de 66-83 μm l y 11-28 μm a, flagelo de 60 μm . Muy metabólicas cuando carecen de flagelo. Periplasto muy aparente. Plastos poco definidos, aparecen como cintas lobuladas. Se contabilizaron 4-5 diplopirenoides por célula, lo que sugiere la presencia del mismo número de plastos. Gránulos de paramilo en general bacilares y con tendencia a agruparse en la parte anterior. MA en enero.

Peranema trichophorum (Ehrenberg) Stein

Células cilíndricas de 55 μm l y 23 μm a. O.

Phacus nordstedtii Lemmermann (fig. 36)

Células globosas con una gran espina caudal, de 32-33 μm l y 21-23 μm a. Película con 6-7 suturas oblicuas. E, MF de enero y marzo.

Phacus skujai Skvortzow (fig. 37)

Células ovalado-lanceoladas con un mamelón en el extremo posterior, de 22-25,5 μm l y 9-11,5 μm a. Estrías de la película casi paralelas al eje mayor. E.

Phacus sp. (fig. 38)

Forma acorazonada con un pequeño apéndice caudal curvado, de 34-40 μm l y 19-30 μm a. En sección presenta una quilla marcada, menos aparente en los ejemplares cuyo cuerpo de paramilo central es de grandes dimensiones. Flagelo tan largo como la mitad del cuerpo. Dos cuerpos de paramilo redondos, el central siempre mayor. Pertenece al grupo de *P. orbicularis* Hubner. A en enero.

CHRYSTOPHYTA

Chrysophyceae

Ochromonas cf. *minuscula* Conrad

Células ovaladas de 4-7 μm \emptyset , poco metabólicas. Plasto parietal excéntrico que ocupa la mitad de la célula. Mancha ocular mediana o apical. Una sola vacuola pulsátil en posición apical. A en el fitoplancton.

Ochromonas sp.

Células ovaladas de 12 μm \emptyset , muy metabólicas. O en el fitoplancton.

Xanthophyceae

Tribonema aequale Pascher (figs. 39, 40)

Filamentos de 5,5-7 μm \emptyset , células de 15-33 μm l. Plastos en placa parietal, normalmente en número de 2 o 4. MA en enero y marzo, para después ir desapareciendo paulatinamente.

Bacillariophyceae

(El número de estrías y fíbulas se refiere al que se ha contado en 10 μm)

Achnanthes minutissima Kützing (figs. 49, 50)

Valvas de 7,5-12 μm l y 2,5-3 μm a. 30-31 estrías. A, MF.

Achnanthes thermalis (Rabenhorst) Schoendfeld

Valvas de 13,5-16 μm l y 3,5-4 μm a. 23-24 estrías. Se distingue del anterior por su curvatura acusada, por tener el área axial generalmente unilateral en la epivalva y por la menor densidad de estrías. MA en enero y marzo.

Amphora ovalis (Kützing) Kützing

Valvas de 23-26 μm l y 13-15 μm a. 10-11 estrías. MR en el sedimento.

Brachysira aponina Kützing (fig. 53)

Valvas de 22-25 μm l y 4-5 μm a. 35-37 estrías. MA a partir de julio.

Cocconeis placentula Ehrenberg var. *euglypta* (Ehrenberg) Grunow (figs. 51, 52)

Células de 15-31 μm l y 10-21 μm a. MA sobre *Cladophora fracta*.

Cyclotella meneghiniana Kützing (fig. 54)

Valvas de 15-17 μm \emptyset . A en el fitoplancton.

Cocellata pantocksek (fig. 55)

Valvas de 7-8 μm \emptyset . MR en el fitoplancton.

Cocellata pseudostelligera Hustedt (fig. 45)

Valvas de 5,5-6,5 μm \emptyset . Area central con areolas dispuestas en forma de estrella. R, MF.

Cymbella microcephala Grunow (fig. 56)

Valvas de 12-14 μm l y 3,5-4 μm a. 26-30 estrías. O en muestras del bentos.

Cymbella pusilla Grunow (fig. 57)

Valvas de 26-37 μm l y 4-7,5 μm a. 15-18 estrías. O en muestras del bentos.

Entomoneis paludosa (W. Smith) Reimer = (*Amphiprora paludosa* W. Smith) (fig. 58)

Valvas de 59-66 μm l y 26-28 μm a. 22-23 estrías. R en muestras del sedimento.

Fragilaria fasciculata (Agardh) Lange-Bertalot = (*Synedra tabulata* Agardh) (fig. 41)

Valvas de 41-104 μm l y 4,5-6 μm a. Estrías 12-15. F.

Fragilaria ulna (Nitzsch) Lange-Bertalot = (*Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg)

Frústulos de 70-105 μm l y 5-8 μm a. 10-13 estrías. E entre filamentos de *Cladophora fracta*.

Gomphonema gracile Ehrenberg (fig. 59)

Valvas de 35-58 μm l y 7-10 μm a. 15-16 estrías. E entre *Cladophora fracta*.

Gomphonema parvulum Kützing (figs. 43, 60)

Valvas de 17-27 μm l y 5,5-7 μm a. Estrías 11-13. MA, sobretudo entre las masas de plocon de *Tribonema aequale* en enero.

Gyrosigma acuminatum (Kützing) Rabenhorst

Valvas de 77-84 μm l y 11-15 μm a. 20-21 estrías. E en el sedimento.

Navicula cuspidata (Kützing) Kützing

Valvas de 55-76 μm l y 18-21 μm a. 24 estrías. E en las muestras de sedimento.

Navicula halophila (Grunow) Cleve (figs. 48, 61)

Valvas de 23-24 μm l y 5-6 μm a. 20-23 estrías. Normalmente relacionada con *Navicula veneta* y *Nitzschia elegantula*. A, MF en el bentos.

Navicula veneta Kützing = (*N. cryptocephala* var. *veneta* (Kützing) Rabenhorst) (figs. 47, 62)

Valvas de 24-28 μm l y 6,5-7 μm a. 13-15 estrías. A, MF.

Nitzschia aurariae Cholnoky = (*N. alexandrina* Cholnoky) (fig. 63)

Valvas linear-elípticas de 11 μm l y 2,5 μm a. 54 estrías. 18 fíbulas. Especie muy poco silicificada. R, en el epilíton.

Nitzschia elegantula Grunow (figs. 44, 64)

Valvas 15-17 μm l y 3-3,5 μm a. 24-26 estrías. 11-12 fíbulas. A, MF en el bentos.

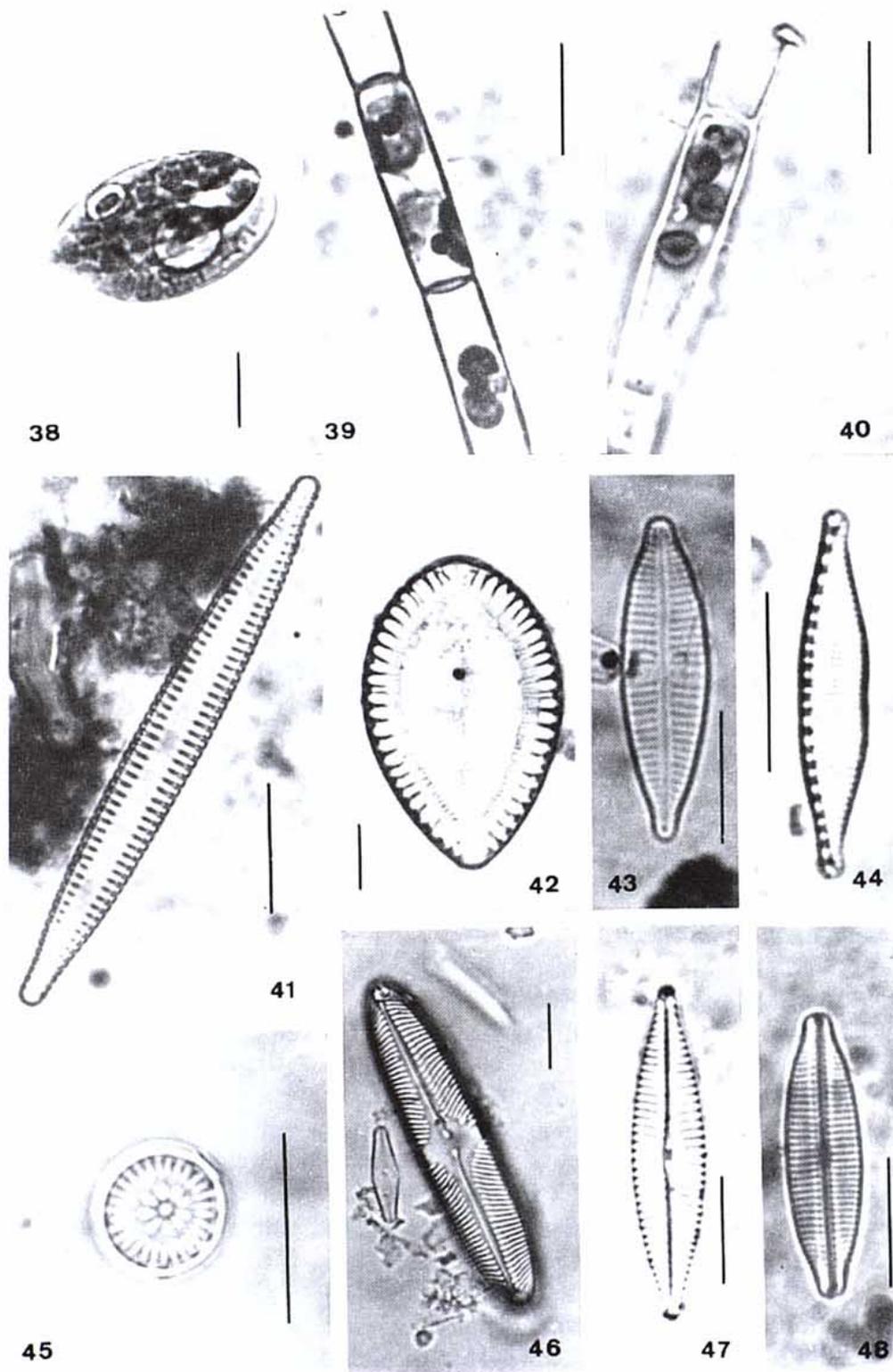


Lámina 4. Fotografías al microscopio óptico. Fig. 38. *Phacus* sp. Fig. 39. *Tribonema aequale*. Fig. 40. *Tribonema aequale*, extremo. Fig. 41. *Fragilaria fasciculata*. Fig. 42. *Surirella ovalis*. Fig. 43. *Gomphonema parvulum*. Fig. 44. *Nitzschia elegantula*. Fig. 45. *Cyclotella pseudostelligera*. Fig. 46. *Pinnularia brebissonii*. Fig. 47. *Navicula veneta*. Fig. 48. *Navicula halophila*. Barra = 10 μ m.

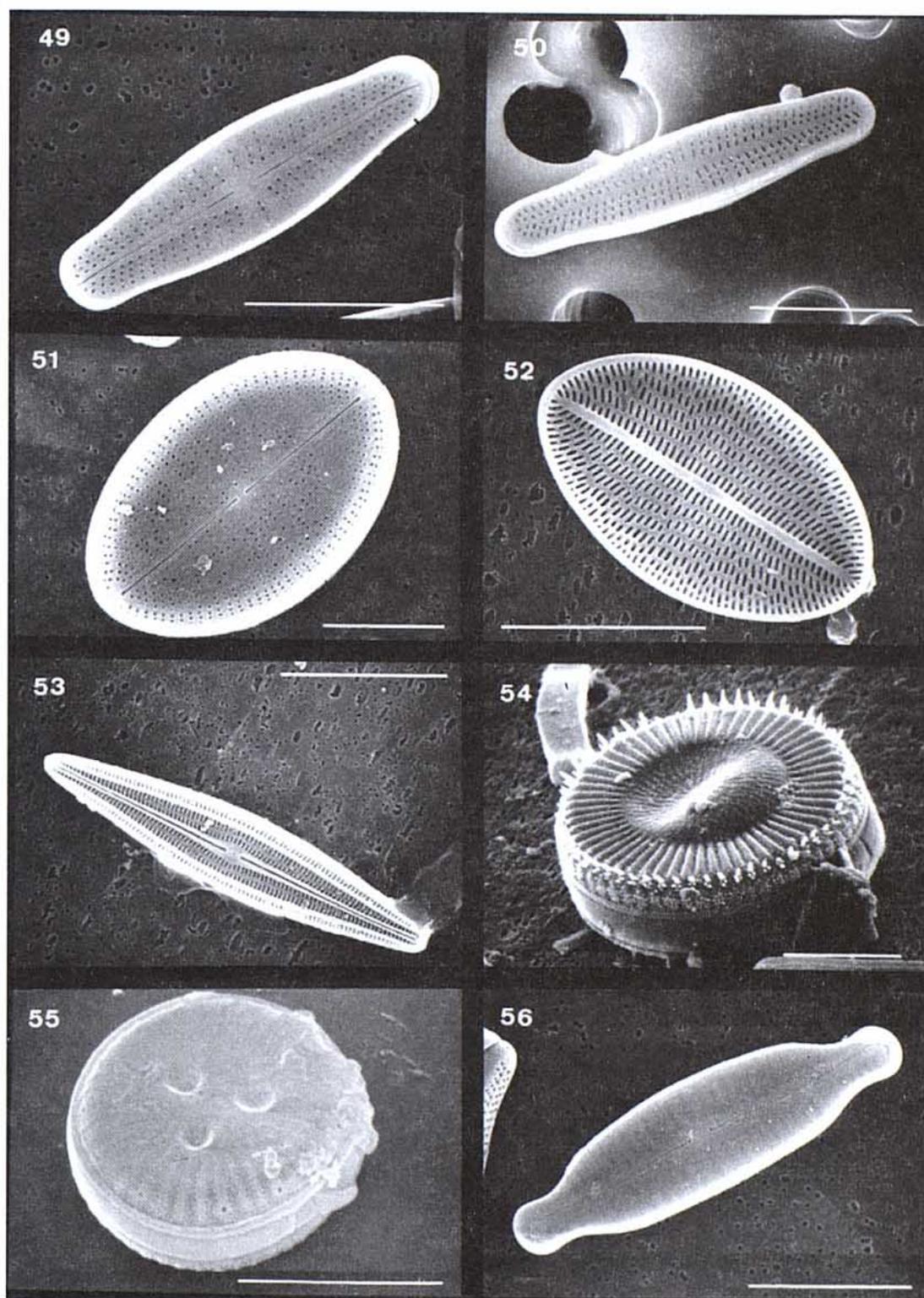


Lámina 5. Fotografías al microscopio electrónico de barrido. Fig. 49. *Achnanthes minutissima*, hipovalva. Fig. 50. *Achnanthes minutissima*, epivalva. Fig. 51. *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, hipovalva. Fig. 52. *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, epivalva. Fig. 53. *Brachysira aponina*. Fig. 54. *Cyclotella meneghiniana*. Fig. 55. *Cyclotella ocellata*. Fig. 56. *Cymbella microcephala*. Barra = 10 μ m.

Nitzschia hungarica Grunow

Valvas de 31-73 μm l y 5-8 μm a. 13-16 estrías. 9-10 fíbulas. A en el bentos.

Nitzschia palea (Kützing) W. Smith

Valvas de 25-37 μm l y 3-4 μm a. 35-37 estrías. 13-14 fíbulas. A en el bentos.

Nitzschia sigmoidea (Ehrenberg) W. Smith

Valvas de 81 μm l y 6 μm a. 25 estrías. R en el sedimento.

Pinnularia brebissonii (Kützing) Rabenhorst (fig. 46)

Valvas de 35-50 μm l y 9-10 μm a. 11-13 estrías. F en el sedimento.

Surirella ovalis de Brébisson (fig. 42)

Valvas de 25-48 μm l y 24-33 μm a. 14-16 estrías. O, MF en el bentos.

Monosiga ovata Kent

Células ovaladas de 7-10 μm Ø. MA entre el plocon de *Tribonema aequale* en enero.

*Craspedophyceae**Diploeca flava* (Korsikov) Bourrelly (= *Salpingoeca flava* Korsikov)

Células semiglobosas de 6,5-9 μm Ø. Superficie de fijación aplanada mostrando una excrecencia adhesiva. Cuello de 4 μm l y 2,5-3 μm a. Flagelo de 10-18 μm l. Sobre *Spirogyra* sp. y libremente nadando -poco activamente- entre los detritos.

CRYPTOPHYTA

Cryptomonas rufescens Skuja (fig. 19)

Células ovales de 18-20 μm l y 8-10 μm a con coloración parda. Pirenoide en situación dorsal. Tricocistes bastante aparentes. E en el fitoplancton.

Rhodomonas minuta Skuja (fig. 18)

Células de 10-16 μm l y 5-8 μm a. R en el fitoplancton.

PIRROPHYTA

Peridinium borgei (Lemmermann) Lemmermann (fig. 16)

Células globosas de 35-40 μm l y 30-34 μm a. Frecuentemente las placas están separadas por canales anchos rayados. A en el fitoplancton.

Peridinium umbonatum Stein (fig. 17)

Células de 25-30 μm l y 18-24 μm a. Frecuentemente presenta pequeñas espinas en la hipoteca. A en el fitoplancton.

CONCLUSIONES

Los cambios observados en las características físico-químicas del agua condicionaron la composición taxonómica de las algas a lo largo del año. Dos fenómenos han parecido ser los factores reguladores de la flora algal. Primero, al inicio del estudio, cuando la calidad del agua -

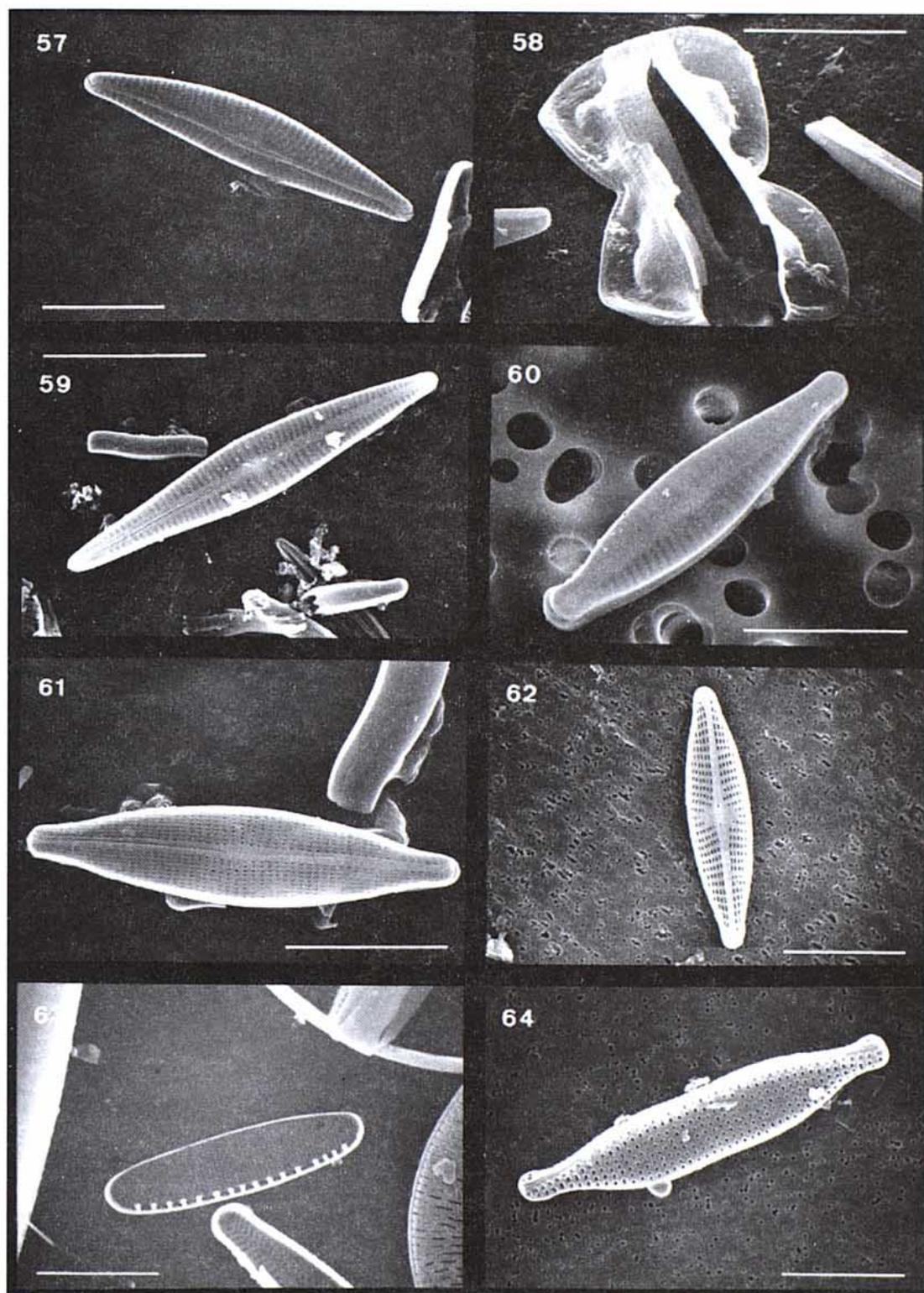


Lámina 6. Fotografías al microscopio electrónico de barrido. Fig. 57. *Cymbella pusilla*. Fig. 58. *Entomoneis paludosa*. Fig. 59. *Gomphonema gracile*. Fig. 60. *Gomphonema parvulum*. Fig. 61. *Navicula halophila*. Fig. 62. *Navicula veneta*. Fig. 63. *Nitzschia aurariae*. Fig. 64. *Nitzschia elegantula*. Barra = 10 μ m.

estaba muy relacionada con el agua del acuífero que rellenaba el canal (desde enero a abril), las poblaciones de algas estaban dominadas por especies pertenecientes a la división Euglenophyta y la especie *Tribonema aequale*. Aunque parece evidente que los "blooms" formados por estas especies durante ese período estaban relacionados con la elevada contaminación orgánica procedente del agua de entrada, un factor relacionado con la estacionalidad podría ser también importante. La aparición y dominancia de *Tribonema aequale* se relaciona con el alto nivel de hierro en el agua (MARGALEF, 1955). El resto del año la biomasa algal ha estado representada mayoritariamente por especies de clorofíceas filamentosas (*Cladophora fracta*, *Mougeotia* sp, *Aphanochaete repens*, *Stigeoclonium tenue*, etc.) y *Chara aspera*.

El segundo fenómeno que afectó a la flora algal fue el incremento de salinidad. Este factor ha sido bien observado en la variación de la composición de la poblaciones de diatomeas. Aunque durante todo el estudio varias especies halófilas han estado presentes (*Cymbella pusilla*, *Entomoneis paludosa*, *Navicula cuspidata*, *Nitzschia elegantula*, *Fragilaria fasciculata*, etc.) *Brachysira aponina*, especie polihalobia (NOËL, 1984), apareció en gran cantidad en todas las muestras a partir de julio. Además, se observó que algunas especies oligohalinas indiferentes, como *Achnanthes thermalis* (la diatomea dominante en enero y marzo) y *Gomphonema parvulum* desaparecieron completamente al final de este estudio.

La evolución de la ficoflora durante la construcción del canal se relacionó con la mejora de la calidad del agua, tanto a nivel químico como microbiológico. Sin embargo, hay que señalar la presencia en octubre y diciembre de las cianobacterias *Aphanizomenon flos-aquae* y *Microcystis flos-aquae*, coincidiendo con la disminución del N inorgánico disuelto. Ambas son frecuentes en aguas eutróficas y están implicadas en la producción de potentes toxinas solubles en agua y termoestables (GORHAM & CARMICHAEL, 1988). No llegaron a formar grandes flores de agua.

Agradecimientos

La Asociación Internacional de Hidrología Subterránea y el INCASOL nos cedieron los datos físico-químicos y los informes internos realizados por los expertos del Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Gervasi Benito y Pere Badiella nos facilitaron gran parte de las muestras de campo. Albert Porrà elaboró muchas de las gráficas. El profesor Emilio Custodio revisó el manuscrito e hizo múltiples sugerencias. Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todos estos organismos y personas.

Bibliografía

- APHA (1989). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 17th ed. Amer. Public Health Assoc. New York.
- BOLD, H. C. & M. J. WYNNE (1978). Introduction to the Algae. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs. New Jersey. 776 pp.
- BOLD, H. C. & M. J. WYNNE (1985). Introduction to the Algae. 2nd Edition. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs. New Jersey. 720 pp.
- CUSTODIO, E., A. GALOFRÉ, P. BADIELLA & G. BENITO (1990). Informe del seguimiento de las características hidroquímicas de las aguas del Canal de Remo Olímpico y recomendaciones durante su construcción (Gavá-Castelldefels). Curso Internacional de Hidrología Subterránea (interno).
- DESIKACHARY, T.V. (1959). Cyanophyta. Indian Counc. Agric. Res. New Delhi. 686 pp.
- ETTL, H. (1978). Xantophyceae. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer, Eds. Vol. 3. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. 530 pp.
- ETTL, H. (1983). Chlorophyta I (Phytomonadina). In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer, Eds. Vol. 9. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. 807 pp.
- ETTL, H. & G. GÄRTNER (1988). Chlorophyta II (Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales) In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer, Eds. Vol. 10. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. 436 pp.

- GEITLER, L. (1932). Cyanophyceae. Rabenhorst's Kryptogamen Flora. Akadem. Verlags. Leipzig. 1196 pp.
- GORHAM, P. R. & W. W. CARMICHAEL (1988). Hazards of freshwater blue-greens (cyanobacteria). In: *Algae and Human Affairs*. LEMBI, C.A. & J. R. WAALAND, Eds. Cambridge University Press. Cambridge.
- KOMAREK, J. & FOTT, B. (1983). Chlorophyceae (Chlorococcales). In: *Das Phytoplankton das Süßwassers. Die Binnengewässer*. HUBER-PESTALOZZI, G. Ed. Vol. 7. Stuttgart 1044 pp.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. (1986-1991). Bacillariophyceae. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa* Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer, Eds. Vols. 2/1, 2/2, 2/3, 2/4. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. 876 pp.
- HUBER-PESTALOZZI, G. (1955). Euglenophyceen. In: *Das Phytoplankton das Süßwassers. Die Binnengewässer* Thienemann, A. Ed. Vol. 16/4. Stuttgart. 606 pp.
- HUBER-PESTALOZZI, G. (1968). Cryptophyceae, Chloromonadophyceae, Dinophyceae. In: *Das Phytoplankton das Süßwassers. In: Die Binnengewässer*. ELSTER, H. J. & W. OHLE, Eds. Vol. 16/3. Stuttgart. 322 pp.
- LOPEZ, P. & TOMAS, X. (1989). Chemical composition of the small coastal lagoons of the Mediterranean Spanish littoral. In: *Topics in Marine Biology*. Ros, J.D., Ed. *Scient. Mar.* 53:591-599.
- MARGALEF, R. (1955). Los organismos indicadores en la limnología. In: *Biología de las aguas continentales*. Vol XII. Ministerio de Agricultura. Madrid. 300 pp.
- MARGALEF, R. (1983). *Limnología*. Ed. Omega. Barcelona. 1010 pp.
- NOEL, D. (1984). Les diatomées des saumures et des sédiments de surface du Salin de Bras del Port (Santa Pola province d'Alicante, Espagne) *Rev. Inv. Geol.* 38/39:79-107.
- POPOVSKY, J. & L.A. PFIESTER (1990). Dinophyceae. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer, Eds. Vol. 6. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. 272 pp.
- RAMANATHAN, K. R. (1964). Ulothrichales. *Ind. Counc. Agric. Res. New Delhi*. 188 pp.
- RENBURG, I. (1990). A procedure for preparing large sets of diatom slides from sediment cores. *Journal of Paleolimnology* 4:87-90.
- STARMACH, K. (1985). Chrysophyceae und Haptophyceae. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer, Eds. Vol. 1. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. 515 pp.
- UTERMÖHL, H. (1958). Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Ver. Limnol.*, 9:1-38.
- WEST, W. & G. S. WEST (1904-1922). *A Monograph of the British Desmidiaceae*. Johnson Reprint Corp. (1971) London.

Acceptat: octubre de 1993