

# DISTRIBUCIÓN VERTICAL Y VARIACIÓN ESTACIONAL DEL FITOPLANCTON DE UNA LAGUNA CÁRSTICA MEROMÍCTICA, LA LAGUNA DE LA CRUZ (CUENCA, ESPAÑA)

M.J. Dasí y M.R. Miracle

Departament d'Ecologia, Facultat de Ciències Biològiques, Universitat de València. 46100 Burjassot. España.

Palabras clave: phytoplankton, meromixis, *Cryptomonas*, karstic lakes, Spain

## ABSTRACT

### VERTICAL DISTRIBUTION AND SEASONAL CHANGE OF PHYTOPLANKTON IN THE KARSTIC MEROMICTIC LAKE LA CRUZ, CUENCA (SPAIN)

The vertical distribution of phytoplankton in the iron meromictic, karstic lake of La Cruz (central Spain) was studied during June 1987 to October 1988. Populations were rather stratified.

In the mixolimnion important seasonal variations were observed. In spring *Cyclotella glomerata* was clearly dominant in the whole profile, accompanied by *Pedinomonas minor*. Also *Rhodomonas lacustris* and *Peridinium inconspicuum* had some relative importance at this time. In early-mid summer these species diminished but remained concentrated in deeper metalimnetic layers. Summer was characterized by a bloom of *Crucigenia rectangularis* which constituted more than the 75 % of the total phytoplankton. Diversity fell to its minimum values and a dramatic precipitation of aragonite took place, which changed the lake water color from green to white. As summer advanced *C. rectangularis* was succeeded by *P. minor* which had a second and most important peak with relative proportions around 30 % of total phytoplankton. In late summer-autumn these dominance vanished and species, from poorly represented groups before, such as pennate diatoms, chrysophytes and dinoflagellates, began to have some occurrence. Diversity reached its maximum values and phytoplankton density was low. In winter permanent species such as *C. glomerata* and *R. lacustris* had the greater relative abundance but without dominance, coexisting with the still occurring chrysophytes and dinoflagellates from autumn.

The phytoplankton of the oxycline constituted a separated community of permanent and constant population throughout the year. This was restricted to this thin layer of water which required adaptations to extreme conditions, low light, temperature and oxygen but which had a rich nutrient supply. The most abundant and typical oxycline species were *Cryptomonas obovata*, *Cryptomonas phaseolus*, *Astasia curvata* and *Trachelomonas hispida*.

A cluster analysis separated the oxycline species from the rest and grouped the other species according to their seasonal distribution.

## INTRODUCCIÓN

Recientemente se está prestando gran atención a la vida en condiciones microaerófilas o anaeróbicas. Sin embargo, si bien son frecuentes los trabajos sobre algunos grupos de organismos viviendo en tales condiciones como bacterias fotosintéticas (GUERRERO *et al.*, 1985, 1987) y ciliados (FINLAY, 1990; FINLAY and FENCHEL, 1986) son muy

pocos los estudios existentes sobre algas eucariotas. El presente estudio demuestra la existencia de poblaciones algales relativamente densas en la zona microaerófila de una laguna meromíctica del sistema cárstico de Cuenca, la laguna de la Cruz, mediante la recolección de muestras a intervalos muy pequeños de profundidad en la interfase óxica-anóxica. En esta laguna tiene mucha importancia la compartimentación vertical del agua en epilimnion, hipolimnion y monimolimnion, que conlleva una importante segregación vertical de las comunidades fitoplanctónicas. La caracteriza-

ción de estas comunidades y su variación estacional, con especial atención a las que se establecen en la interfase óxica-anóxica, constituye el objetivo principal de este trabajo.

La laguna de la Cruz es una torca o dolina llena de agua, formada por la disolución de la caliza en un sistema cárstico de la provincia de Cuenca (39" N, 1° 52' W), a unos 1000 m sobre el nivel del mar. Concretamente, está situada en la zona de los alrededores de Cañada del Hoyo, a unos 25 km de la ciudad de Cuenca. Esta laguna tiene una superficie de 1,4 ha, con un diámetro medio de 132 metros y una profundidad máxima de 25 m en el centro. Presenta una meromixis férrica (VICENTE y MIRACLE, 1988) como resultado de la acumulación de iones solubles, principalmente hierro y bicarbonato, lo cual la convierte en una laguna fuertemente estratificada, con una capa de agua anóxica en el fondo separada del resto por una quimioclina. La composición y características químicas de sus aguas están indicadas en VICENTE y MIRACLE (1988), tratándose de aguas muy ricas en carbonatos y bicarbonatos pero pobres en otros aniones. Esto se pone de manifiesto cuando todos los veranos, hacia finales de julio, las aguas verde-azuladas del lago toman un color blanco lechoso debido a la precipitación de carbonato cálcico.

La laguna de la Cruz presenta un período de estratificación térmica que comienza en primavera y se mantiene hasta otoño y un período de mezcla en invierno con oxigenación de las aguas del fondo hasta la quimioclina permanente que se sitúa a los 18-19,5 m de profundidad (fig. 1), siendo fácilmente detectable debido a los cambios que algunos parámetros físico-químicos experimentan a esa profundidad, en especial la conductividad y el hierro. Durante el período de estratificación, la zona anóxica se encuentra ya a partir de los 12,5-15 m de profundidad, dependiendo de los años.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron un total de 11 campañas de muestreo durante el período comprendido entre junio de 1987 y octubre de 1988, en las que se tomaban muestras en un punto fijo y central de la laguna, a diferentes profundidades dependiendo de la situación de la oxiclina. Por tanto, las profundidades de cada muestreo son distintas y de acuerdo con las condiciones físico-químicas presentes en la laguna. En general se recogían 2 o 3 muestras en

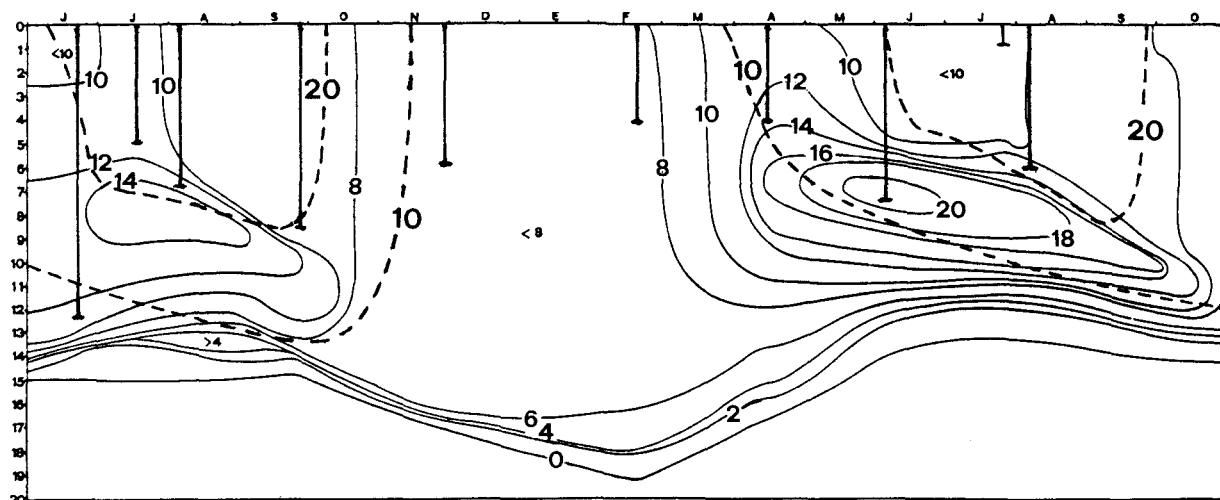


Figura 1. - Isótopos de la concentración de oxígeno (mg/l, líneas continuas) en función de la profundidad (m) y del tiempo, desde junio de 1987 hasta octubre de 1988. Se han superpuesto algunas isotermas (10 y 20 °C en líneas de trazos) para situar el epi y metalimnion. Se indica también la profundidad de visión del disco de Secchi.

Oxygen isopleths (mg/l, continuous lines) according to depth (m) and time, from June 1987 to October 1988. Some isotherms (10 and 20 °C in dashed lines) have been superposed to locate epi and metalimnion. Secchi disk depth is also indicated.

el epilimnion (cerca de la superficie y en la parte más baja), 3 o 4 en el metalimnion y parte aerobia del hipolimnion y un mayor número de muestras en la zona de la oxiclina con intervalos de 20 o incluso 10 cm sobrepasando el punto de extinción del oxígeno. Las diferentes profundidades de muestreo pueden verse, representadas por puntos, en las figuras de isóneas (fig. 2 y 3).

La temperatura, conductividad y oxígeno fueron medidos in situ con un salinómetro y un oxímetro WTW respectivamente. Las muestras de agua fueron tomadas con una bomba peristáltica conectada a un tubo que terminaba con un muestreador de capa fina (un doble cono de metacrilato cuyas mitades estaban separadas por 1 cm).

Las muestras de agua destinadas a estudiar el fitoplancton (177) se recogían en botellas de 500 ml y se fijaban in situ con lugol. Para el recuento del fitoplancton se sedimentaban 50 o 100 ml de muestra, según la densidad de algas, en cubetas de fondo móvil, observándose a 1000x con un microscopio invertido Olympus. Se contaba una media de 200 campos y luego se hacía un rastreo a 400x del fondo de la cubeta, para evaluar la densidad de algas grandes relativamente poco abundantes.

A partir de los datos de ind/ml se ha calculado el n.º de ind/m<sup>2</sup> para cada especie en la columna de agua entre la superficie y el fondo o entre dos profundidades limitadas por el inicio de fuertes gradientes de temperatura u oxígeno. Para el cálculo del índice de diversidad se ha utilizado el de Shannon-Weaver. Para estudiar las asociaciones entre especies se realizó la matriz de correlación entre ellas, previa transformación logarítmica de los datos originales de individuos por ml. A partir de la matriz de correlación se hizo un análisis de cluster mediante el método SINGLE LINKAGE (NEAREST NEIGHBOR), introducido a la taxonomía por FLOREK *et al.* (1951a, b) y SNEATH (1957). Tanto la correlación como el análisis de cluster sólo se hizo para las 99 especies más importantes.

## RESULTADOS

### Composición específica del fitoplancton

En la tabla 1 se da una relación de las 133 especies identificadas, ordenadas por su abundancia

y grupos taxonómicos, indicándose para las 99 especies más frecuentes: el porcentaje de muestras en que se encontraron, su frecuencia relativa (expresada en tantos por mil respecto del total de individuos del fitoplancton recontados) y su densidad media cuando estaban presentes.

Los gradientes verticales de luz y concentración de nutrientes y oxígeno, así como la distribución de la turbulencia, conducen a la diferenciación de las comunidades por estratos (MARGALEF, 1983). La estratificación de las aguas de la laguna puede representarse con la distribución de la concentración de oxígeno, que muestra un máximo metalimnético y una oxiclina que delimita la interfase óxica-anóxica, tal como puede verse en la figura 1. En esta figura se han representado también las isotermas que delimitan el metalimnion y la profundidad de visión del disco de Secchi. En las figuras 2 y 3 se muestra la distribución de las principales especies en relación con la profundidad y el tiempo durante el período estudiado.

Dada la marcada estratificación que presentan las aguas en esta laguna, se pueden establecer varios grupos de algas atendiendo a su posición en el perfil vertical:

a) *Especies del epilimnion*: en este grupo se incluyen aquellas especies que están por encima de la termoclina, y también aquellas especies que a pesar de encontrarse también a otras profundidades, desarrollan grandes poblaciones en el epilimnion.

b) *Especies metalimnéticas*: se incluyen aquellas especies que se sitúan preferentemente en el metalimnion pero que pueden aparecer también en el epi e hipolimnion. Es el grupo que incluye la mayoría de las especies.

c) *Especies meta-hipolimnéticas*: incluye a aquellas especies que se desarrollan desde el inicio de la termoclina hasta el inicio de la oxiclina. Entendiendo por oxiclina el gradiente fuerte que lleva a la extinción del oxígeno.

d) *Especies de la oxiclina*: las especies incluidas aquí, son de dos tipos, aquellas que se encuentran exclusivamente en la oxiclina y a aquellas que viviendo también más arriba en el hipolimnion forman poblaciones mucho mayores en la oxiclina. Las especies que se incluyen en este apartado son aquellas que pueden crecer en condiciones anóxicas o microaerófilas.

## a) Especies del epilimnion

*Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Schrank

A esta especie se la suele calificar como una especie de aguas cálidas que se desarrolla preferentemente durante los meses de verano, cuando el agua se halla estratificada térmicamente (MOORE, 1981); es decir, su crecimiento coincide con los momentos en que las aguas son más pobres en nutrientes, sobre todo en las capas superiores. En esta laguna, *C. hirundinella* presentó siempre pocos individuos por mililitro, contribuyendo poco al número total de células de fitoplancton, alcanzando la máxima abundancia de todo el período estudiado en septiembre de 1987, en la parte superior de la termoclina (que se hace profunda en esta época del año). a 10,5 m de profundidad con 41,29 ind/ml.

*Nuiculu cf. cryptocephala* Kütz.

Los especímenes encontrados en esta laguna tienen un tamaño de alrededor de 22  $\mu$  de largo y 5,7-6,42  $\mu$  de ancho, ligeramente inferior al hasta ahora descrito para esta especie (25-35  $\mu$ ) pero coincidiendo, sin embargo, en el resto de características. siendo por ello por lo que se ha aproximado a *N. cryptocephala*. Ha aparecido más abundantemente en los meses de finales de verano, en las capas de agua superiores a la termoclina. Presentó un crecimiento explosivo a principios de octubre de 1988, localizado a los 5 m de profundidad (con densidades de 1000 ind/ml), acompañado por picos de población de otras diatomeas pennadas del género *Nitzschia*.

*Nitzschia palea* var *debilis* (Kütz.) Grun.

Esta variedad es de menor tamaño que *Nitzschia palea*, con un tamaño de 20.33  $\mu$  de largo por 3.21  $\mu$  de ancho. Se trata de un alga muy poco frecuente en la laguna pero a principios del mes de octubre de 1988 tuvo un importante crecimiento localizado a 5 m, junto con otra especie de *Nitzschia* y la *Navicula* antedicha, con unos 300 ind/ml, mientras que apenas apareció en las restantes profundidades.

*Planctonema lauterbornii* Schmidle

Es una cloroficea ulotrival cuyos filamentos son cortos y flotan libremente. Las células que forman sus tricomas son cilíndricas y redondeadas en los extremos y tienen una longitud aproximada de 10  $\mu$ , siendo la anchura del filamento de 3  $\mu$ . Presenta mayor crecimiento en las capas de agua superficiales, concretamente desde la superficie hasta los 5 m aproximadamente, aunque también se ha encontrado en las últimas capas del metalimnion. En cuanto a su distribución a lo largo del año, presenta mayor número de filamentos por mililitro durante los meses de verano, apareciendo regularmente desde julio hasta octubre de 1988, mientras que en el año anterior su crecimiento se retrasó hasta septiembre. Por tanto, al igual que en los embalses de Cúber y Gorg Blau (Mallorca, RAMON y MOYA 1984) y en el lago de Estanya (Huesca, AVILA *et al.* 1984), el período de mayor desarrollo de esta especie algal se da a finales de verano. De hecho, el máximo detectado fue de 250 filamentos/ml el 30 de septiembre de 1988.

Tabla I (página siguiente). - Relación de las especies del fitoplancton de la laguna de la Cruz indicando su porcentaje de presencia en las muestras (1), su frecuencia (%) respecto del número total de individuos contado ( $336 \times 10^6$ ) (2) y su densidad media cuando estaba presente, en individuos/ml (3). \* indica frecuencias relativas menores de un 0.1 %.

Phytoplankton species from Laguna de la Cruz indicating their percentage of occurrence (relative to the total number of samples) (1), their frequency (%) relative to the total number of individuals counted ( $436 \times 10^6$ ) (2) and their mean density when where present (in individuals/ml) (3). \* indicates relative frequencies less than 0.1 %.

Especies menos importantes, que completan la tabla:

*Gymnodinium obesum*, *Gymnodinium* sp., *Amphidinium* sp., *Navicula radiosa* var. *tenella*, *Navicula subrhynchocephala*, *Navicula* cf. *cincta*, *Navicula pseudolanceolata*, *Nitzschia dissipata*, *Nitzschia hantzschiana*, *Amphora ovalis*, *Amphora* sp., *Achnanthes microcephala*, *Achnanthes lanceolata*, *Cymbella ventricosa*, *Cymbella microcephala*, *Cymbella* sp., *Diploneis ovalis*, *Euglena limnophila* var. *lemmermannii*, *Trachelomonas* sp., *Lyngbya limnetica*, *Lyngbya* sp., *Stigonema* sp., *Cosmoledium* sp., *Roya* sp., *Oocystis* cf. *apiculata*, *Hyalocardium* sp., *Chlamydomonas botryopara*, *Chlamydomonas cylindrica*, *Chloromonas conoidea*.

	(1)	(2)	(3)		(1)	(2)	(3)
<b>Dinophyceae</b>				<b>Cyanophyceae</b>			
<i>Peridinium palatinum</i>	67,2	5,7	20,9	<i>Anabaena sp.</i>	14,7	1,6	10,7
<i>Peridinium inconspicuum</i>	72,9	20,5	69,2	<i>Spirulina major</i>	1,7	*	1,9
<i>Peridinium striolatum</i>	12,4	0,7	13,2	<i>Lyngbya perelegans</i>	2,3	*	1,9
<i>Peridinium volzii</i>	44,6	1,7	9,6	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	16,9	0,3	4,3
<i>Peridinium cinctum</i>	8,5	0,2	5,5	<i>Pseudanabaena catenata</i>	3,4	*	2,1
<i>Peridinium bipes</i>	3,4	*	3,8	<i>Oscillatoria cf. amphigranulata</i>	3,9	*	3,9
<i>Peridinium goslaviense tab. remotum</i>	2,3	*	4,5	<i>Oscillatoria tenuis</i>	1,7	*	1,7
<i>Peridinium gutwinski</i>	1,7	*	9,2	<i>Microcystis aeruginosa var. major</i>	5,6	0,6	24,9
<i>Peridinium umbonatum</i>	2,3	0,1	14,8				
<i>Peridinium cinctum f. ovoplanum</i>	1,1	*	16,5	<b>Chlorophyta</b>			
<i>Gymnodinium varians</i>	21,5	2,4	27,7	<i>Cosmarium punctulatum</i>	14,1	0,2	2,6
<i>Gymnodinium cf. bogoriense</i>	41,8	3,4	19,8	<i>Cosmarium botrytis</i>	0,6	*	2,5
<i>Gymnodinium cf. rotundatum</i>	8,5	0,7	21,5	<i>Cosmarium abbreviatum var. abbreviatum</i>	3,4	*	2,4
<i>Ceratium hirundinella</i>	24,9	0,6	6,2	<i>Cosmarium regulare</i>	1,7	0,3	42,9
				<i>Cosmarium laeve</i>	1,1	*	5,9
<b>Cryptophyceae</b>				<i>Cosmarium reniforme</i>	2,3	*	0,6
<i>Cryptomonas erosa</i>	95,5	54,4	140,0	<i>Cosmarium bioculatum var. bioculatum</i>	0,6	*	0,6
<i>Cryptomonas obovata</i>	76,8	74,5	239,0	<i>Cosmarium venustum</i>	1,7	*	3,9
<i>Cryptomonas phaseolus</i>	62,7	42,8	168,0	<i>Cosmarium angulosum</i>	0,6	*	3,0
<i>Rhodomonas lacustris</i>	80,2	77,6	238,0	<i>Closterium gracile</i>	0,6	*	0,6
				<i>Closterium parvulum var. parvulum</i>	1,1	*	2,6
				<i>Closterium sp.</i>	1,7	*	2,8
<b>Bacillariophyceae</b>				<i>Roya cambrica</i>	9,6	*	2,2
<i>Cyclotella glomerata</i>	80,8	133,0	404,0	<i>Monoraphidium minutum</i>	80,2	26,8	82,2
<i>Cyclotella kützingiana</i>	21,5	6,8	78,5	<i>Monoraphidium tortile</i>	59,9	3,5	14,2
<i>Stephanodiscus dubius</i>	1,1	*	1,3	<i>Monoraphidium irregulare</i>	19,2	0,6	7,6
<i>Navicula cf. cryptocephala</i>	14,1	2,8	48,0	<i>Monoraphidium convolutum</i>	8,5	1,9	55,8
<i>Navicula radiosa</i>	11,3	0,2	3,8	<i>Monoraphidium komarkovae</i>	8,5	0,4	11,8
<i>Navicula bacilloides</i>	2,3	*	2,2	<i>Monoraphidium contortum</i>	4,5	0,6	30,9
<i>Navicula lanceolata</i>	1,7		0,5	<i>Tetraedron minimum</i>	12,4	0,3	6,5
<i>Navicula sp.</i>	0,6		13,8	<i>Tetraedron sp.</i>	2,3	*	5,9
<i>Nitzschia palea</i>	19,8	0,7	8,3	<i>Pedinomonas minor</i>	63,8	111,0	428,0
<i>Nitzschia palea var. debilis</i>	1,1	0,7	148,0	<i>Oocystis sp.</i>	74,0	6,6	22,0
<i>Nitzschia gracilis</i>	38,4	1,0	6,6	<i>Scenedesmus linearis</i>	40,7	6,2	37,7
<i>Nitzschia microcephala</i>	0,6	*	2,1	<i>Scenedesmus ecornis</i>	27,7	1,6	13,8
<i>Nitzschia sp.</i>	1,1	0,6	128,0	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	21,5	1,1	12,9
				<i>Scenedesmus serratus</i>	31,6	1,2	17,2
<b>Chrysophyceae</b>				<i>Scenedesmus denticulatus</i>	8,5	0,2	4,6
<i>Dinobryon sp.</i>	1,1	*	7,8	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	0,6	*	13,8
<i>Chrysolkyos planctonicus</i>	16,9	10,8	157,0	<i>Scenedesmus longispina</i>	3,4	*	3,5
<i>Calycomonas sp.</i>	11,3	3,4	73,1	<i>Scenedesmus lefevrii</i>	22,0	0,8	8,4
<i>Kephyrion sp.</i>	18,1	2,1	28,9	<i>Scenedesmus nanus</i>	1,1	*	12,9
<i>Diceras ollula</i>	6,2	0,3	9,8	<i>Scenedesmus quadrispina</i>	2,3	*	4,3
<i>Diceras cf. chodati</i>	1,1	*	10,9	<i>Scenedesmus circumfusus</i>	1,7	*	6,8
<i>Chromulina sp.</i>	29,9	16,9	139,0	<i>Scenedesmus cf. granulatus</i>	0,6	*	2,3
				<i>Scenedesmus acutus</i>	0,6	*	24,2
				<i>Chlorella sp.</i>	45,2	12,5	67,9
<b>Euglenophyceae</b>				<i>Crucigenia rectangularis</i>	61,0	269,0	109,0
<i>Astasia curvutu</i>	30,5	5,7	46,0	<i>Pseudoquadrigula sp.</i>	28,3	6,1	53,5
<i>Astasia cf. oblonga</i>	28,3	10,3	89,7	<i>Ankistrodesmus sp.</i>	24,3	0,8	8,4
<i>Astasia inflata</i>	6,2	0,6	22,0	<i>Keratococcus mucicola</i>	10,2	2,4	57,7
<i>Euglena acus</i>	18,1	0,3	3,9	<i>Planctonema lauterbornii</i>	30,5	4,6	36,8
<i>Trachelomonas hispida</i>	61,0	2,8	11,2	<i>Pediastrum boryanum</i>	13,6	0,2	3,7
<i>Trachelomonas intermedia</i>	4,5	0,2	10,6	<i>Chlamydomonas acuta</i>	6,2	8,3	330,0
				<i>Chlamydomonas passiva</i>	25,9	5,6	53,1
				<i>Chlamydomonas cf. gloeophila</i>	35,6	4,5	31,1

## b) Especies metalimnéticas

*Peridinium palatinum* Lauterborn 1896

Dinoflagelado frecuente en el fitoplancton de la laguna de la Cruz, apareciendo en todos los muestreos realizados. Su tamaño es de 38-40  $\mu$  de longitud y de 35-36  $\mu$  de anchura. En cuanto a su distribución a lo largo del período estudiado, presentó un máximo de 147 indlml en septiembre de 1987 a 11,5 m, no disminuyendo mucho su crecimiento durante los meses de invierno, detectándose en febrero una importante cantidad de células. Su distribución en la columna de agua varía de unas estaciones a otras, así en los meses en los que la laguna está estratificada aparece hasta los 14-15 m de profundidad aproximadamente, a excepción del muestreo del mes de julio de 1988, coincidente con la precipitación de carbonato cálcico, y en el que *Peridinium palatinum*, debido a la gran turbidez del agua y a la escasa penetración de la luz, sólo se encontró hasta los 10 m. En el mes de agosto (tanto de 1987 como de 1988), es cuando más se concentró su población, encontrándose sólo desde los 10 hasta los 15 m en ambos casos. En los meses de mezcla, se detectó también hasta la profundidad de la oxiclina.

*Peridinium inconspicuum* Lemmerman 1899

Esta especie es la que alcanzó mayor desarrollo de todos los *Peridinium*, siendo la más frecuente y también la más abundante en esta laguna. Es de menor tamaño que *P. palatinum*, con una longitud de 20 a 23  $\mu$  y con una anchura de 15 a 22  $\mu$ . Aparece desde la superficie hasta una profundidad que varió según la época del año, al igual que ocurría con *P. palatinum*. Durante la época de mezcla se encontró hasta 17 m. Durante los meses en que la laguna estuvo estratificada llegó hasta los 12 y los 15 m de profundidad, según la posición de la oxiclina. En el verano de 1987 su crecimiento se vio retardado respecto al de 1988, apareciendo en poca cantidad en junio y julio, para alcanzar ya gran densidad en agosto y sobre todo en septiembre, mientras que en 1988 su desarrollo empieza mucho antes, alcanzando ya los 544 indlml en el mes de abril.

*Peridinium volzii* Lemmerman 1905

Es el *Peridinium* de mayor tamaño aparecido en la laguna, con una longitud de 42-48  $\mu$  y una

anchura de 43-48  $\mu$ , es decir, tiene una forma casi totalmente esférica. Esta especie apareció en todos los meses de muestreo menos en noviembre y febrero de 1987 y 1988 respectivamente. A pesar de ser bastante frecuente su población nunca alcanzó grandes concentraciones de organismos, siendo el máximo de 142 indlml en agosto de 1987 a 14 m de profundidad. La profundidad máxima a la que se encontró en todo el período estudiado fue de 15 m (en junio de 1987).

*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner

El tamaño de esta alga en la laguna de la Cruz es de 5  $\mu$  de anchura por 10  $\mu$  de longitud. Apareció en todos los muestreos realizados pero su crecimiento fue mayor en los meses de verano, alcanzando más de 1000 indlml en agosto del 87 y julio del 88. La precipitación de carbonato cálcico también afectó su distribución, pasando de una profundidad máxima de 14 m el día 25 de julio a 12 m el día 27. Al mes siguiente, agosto de 1988, una vez la laguna ya había vuelto a la normalidad, volvió otra vez a situarse alrededor de los 13-14 m como profundidad máxima.

*Cyclotella glomerata* Bachmann

Ésta ha sido la diatomea más abundante y frecuente en la laguna. Su tamaño fue de 6-7  $\mu$  de diámetro. Presenta estrias periféricas muy delicadas, estando el centro desprovisto generalmente de ornamentos. Alcanzó sus poblaciones más importantes, en cuanto a número de individuos, en el mes de junio, tanto de 1987 como de 1988, llegando a contarse en junio de 1987 más de 3800 indlml. En verano sus poblaciones están más localizadas, presentando máximos metalimnéticos profundos.

*Cyclotella kützingiana* Thwaites

Sus valvas son cilíndricas y presentan también estrias en la periferia. Su diámetro es mayor que el de *Cyclotella glomerata*, con una variación entre 10 y 20,3  $\mu$ . Se cita como especie limitada a los medios calcáreos. Fue mucho menos frecuente que la anterior. Apareció desde los 10 hasta los 13 m de profundidad en los meses de verano, sin embargo en la época de mezcla está más dispersa.

*Monoraphidium minutum* (N.) Kom.-Legn.

Se trata de una clorofícea de pequeño tamaño, 1,6  $\mu$  de ancho por 6-7  $\mu$  de largo. Esta especie es

muy frecuente en esta laguna, apareciendo en todos los muestreos realizados y alcanzando en algunas ocasiones un gran desarrollo, sobre todo en los meses de julio (con una densidad máxima de 720 ind/ml) y agosto.

*Scenedesmus linearis* Kom.

Es una clorofícea bastante frecuente en esta laguna. El tamaño de cada célula es de 13-15  $\mu$  de largo por 3 y de ancho. Al igual que *Monoraphidium minutum*, esta alga aparece fundamentalmente en el metalimnion aunque crece también abundantemente en el epilimnion. Su máximo desarrollo lo alcanzó en octubre de 1988 a 5 m con 183 ind/ml. Su crecimiento se ve bastante reducido durante el invierno.

*Crucigenia rectangularis* (Näg.) Gay. 1891

Es una clorofícea que constituye una parte muy importante del fitoplancton de esta laguna, pues es muy frecuente y además alcanza un gran desarrollo en los meses de verano. Las células aparecen siempre agrupadas de cuatro en cuatro, constituyendo cenobios. Las células son más o menos aplanadas y de forma elipsoidal. Los cenobios son rectangulares y pueden ser compuestos, de hecho, en esta laguna lo son la mayoría de las veces. Sus mayores poblaciones se dieron en julio de 1987 con densidades superiores a los 5000 ind/ml. Durante los meses de invierno y primavera de 1988 desapareció por completo, pero volvió a aparecer en junio, alcanzando ya cantidades importantes en julio. Después del verano, volvió a disminuir. En 1988 se mantuvo todavía con más de 1000 ind/ml en la termoclina profunda de finales de septiembre.

*Pediastrum boryanum* (Turp.) Meneg.

Se trata de una especie cuyas células aparecen agrupadas formando colonias. El número de células que forman la colonia puede ser de hasta 128 (STKEBLE & KRAUTER, 1987) pero no es éste el

caso en esta laguna, donde la media es de unas 16 células por colonia. Las células marginales de la colonia se prolongan en lóbulos agudos. La distribución de esta diatomea en la laguna de la Cruz es bastante clara, desarrollándose en los meses de verano y situándose más abundantemente alrededor de la termoclina, siempre con densidades muy bajas.

*Pedinomonas minor* Korsch.

Se trata de una clorofícea de pequeño tamaño (4  $\mu$  de ancha y 4.5  $\mu$  de larga) cuyas células son asimétricas y sin pared celular. Presentan un flagelo y en la base de éste hay una vacuola contráctil. Es muy frecuente en el plancton de esta laguna, estando presente en ella todo el tiempo que comprende este estudio y alcanzando en algunas ocasiones enormes cantidades de células por unidad de volumen. Así, en septiembre de 1987 y en octubre de 1988, se contaron más de 5000 ind/ml. En abril de 1988 también fue muy importante su presencia desde el punto de vista cuantitativo. Por tanto, parece que esta especie crece muy bien desde la segunda mitad del verano hasta principio de otoño y también en primavera. Apareció en todas las profundidades estudiadas los meses de mezcla y desde la superficie hasta una profundidad que varió entre 12 y 15 m durante los meses de estratificación.

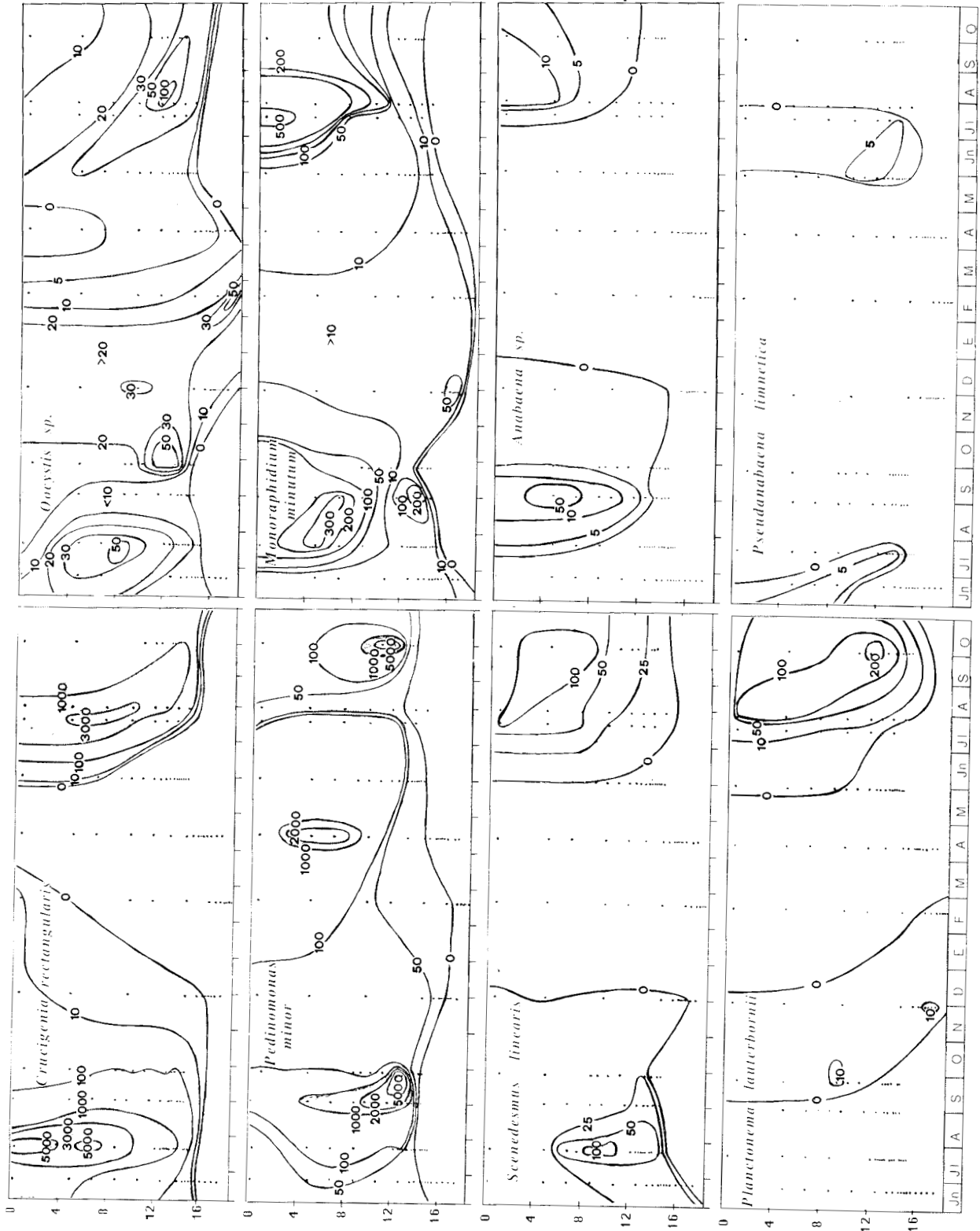
c) Especies meta-hipolimnéticas

*Nitzschium palea* (Kütz.) W. Smith

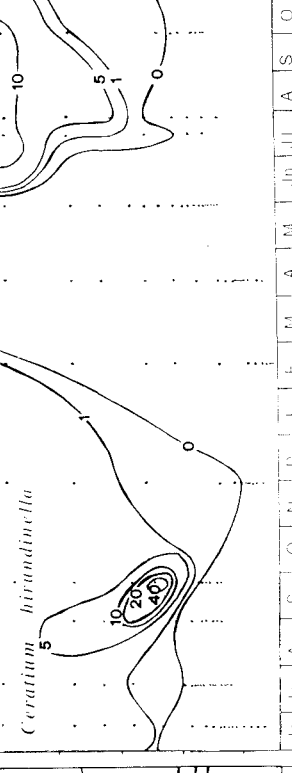
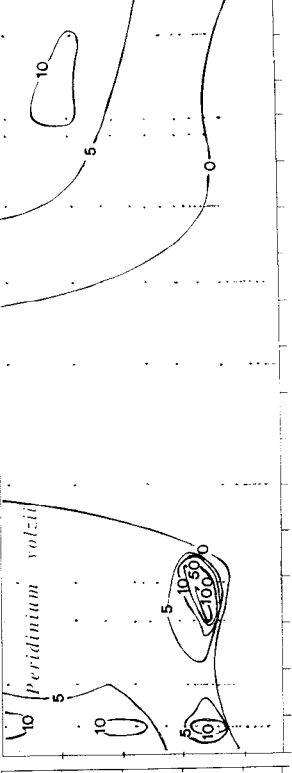
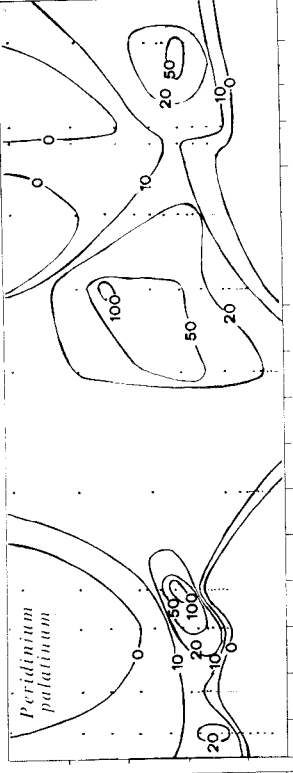
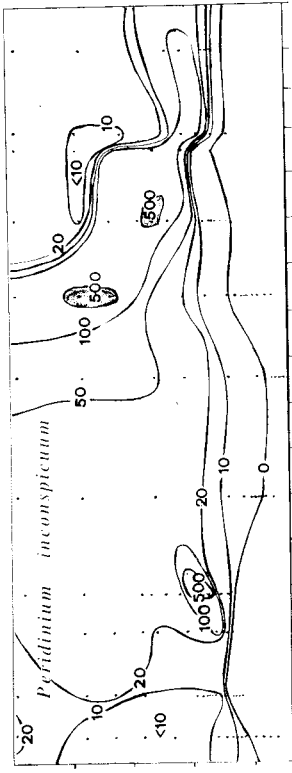
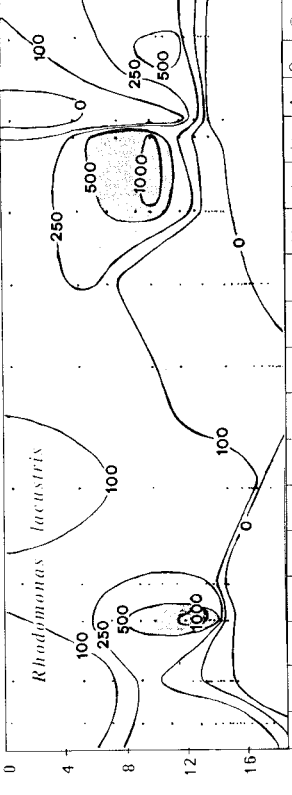
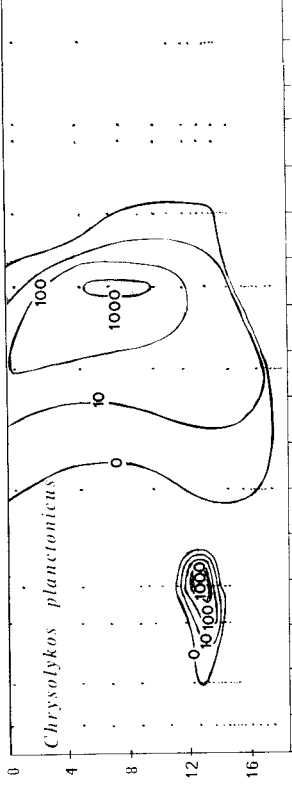
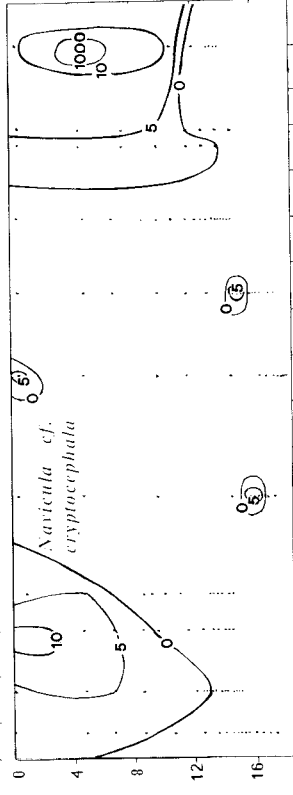
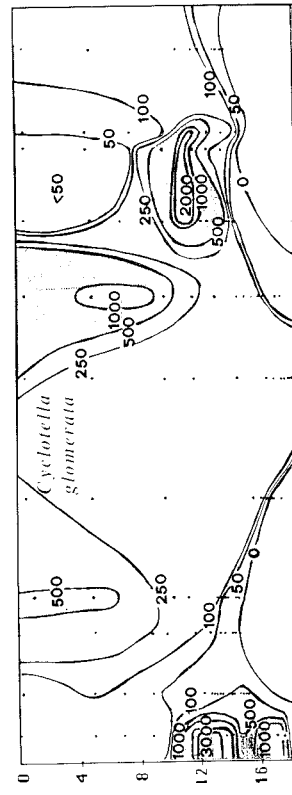
Se trata de una diatomea pennada de 34  $\mu$  de largo y 5  $\mu$  de ancho, que presenta en la superficie del frústulo unas estrías muy finas. Se encuentra en aguas bastante contaminadas, siendo parcialmente heterótrofa. En la laguna de la Cruz tiende a situarse en profundidades donde el oxígeno es escaso pero casi siempre por arriba de la oxiclina, aunque no tiene una distribución del

Figura 2 (páginas siguientes). - Distribución de la densidad de población (ind/ml) de las principales especies del fitoplancton en función de la profundidad (m) y del tiempo, desde junio de 1987 hasta octubre de 1988. Las isolíneas se han interpolado libremente entre las muestras indicadas por puntos.

Depth (m, ordinates) and temporal (months from June 1987 to October 1988) distribution of population density (ind/ml) of the main phytoplankton species. Isopleths have been freely interpolated between the samples indicated by dots.







Jn J J A S O N D E F M A M Jn J J A S O

todo clara. No alcanzó cantidades importantes de individuos por volumen pero fue la *Nitzschia* que apareció con mayor regularidad.

#### *Chrysolykos planctonicus* Mack 1951

Son células solitarias planctónicas libres y tienen una lóriga hialina en forma de croissant muy curvado con un divertículo en operón opuesto a la abertura. La longitud de esta lóriga es de 16  $\mu$ , mientras que la anchura resulta difícil de medir debido a su peculiar forma. Su crecimiento se da a partir de los 13 m aproximadamente en los meses de estratificación, mientras que aparece en todo el perfil vertical los meses de mezcla, así en febrero se encontró desde 0,5 hasta los 17,5 m. Los meses en los que presentó mayor desarrollo fueron septiembre de 1987, con 1242 ind/ml a 13,5 m de profundidad, y en abril de 1988, con 936 ind/ml.

#### d) Especies de la oxiclina

##### *Cryptomonas erosa* Ehrenberg

Se trata, al igual que el resto de *Cryptomonas*, de células libres. El tamaño de esta alga en la Laguna de la Cruz varió entre 19,5-21  $\mu$  de longitud y entre 8-11  $\mu$  de anchura. Tanto esta especie, como el resto de especies de este mismo género encontradas en la laguna presentan bastante variabilidad en el tamaño. MORGAN & KALFF (1975) encontraron *C. erosa* a muy bajas temperaturas y bajas intensidades de luz y observaron que la célula acumulaba en su interior gránulos de almidón y presentaba mayor tamaño, considerándolo como una adaptación a la supervivencia en condiciones de oscuridad debajo del hielo. *C. erosa* apareció en todos los muestreos realizados, es decir, en todas las estaciones, alcanzando gran desarrollo en los meses más cálidos, no por ello dejando de ser importante parte del fitoplancton total en los meses de invierno, con cantidades incluso de más de 1000 ind/ml a algunas profundidades. En julio

de 1987 alcanzó más de 2500 ind/ml a 15,5 m de profundidad. En cuanto a su distribución a lo largo de la columna de agua, *Cryptomonas erosa* crece a casi todas las profundidades, pero se ha encontrado mayor número de individuos a partir de los 14 m aproximadamente, con un máximo en el perfil vertical alrededor de los 15 m en los meses de estratificación. Esta alga se presenta mucho más dispersa en la columna de agua durante los meses de invierno.

##### *Cryptomonas obovata* Skuja

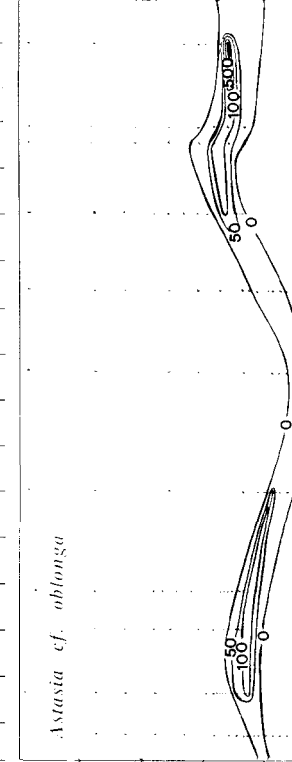
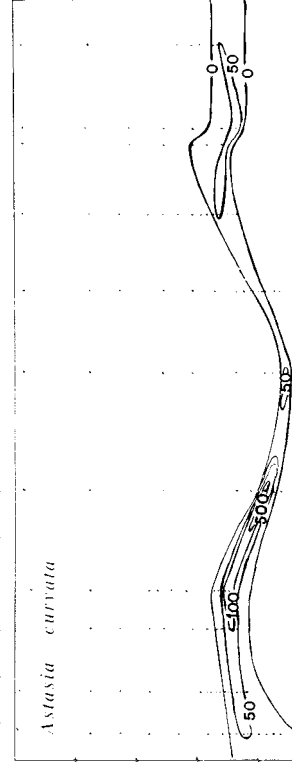
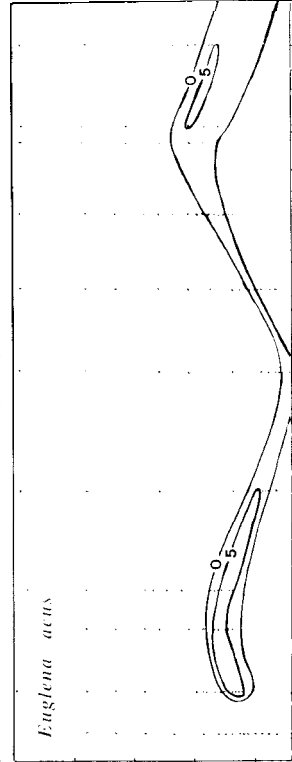
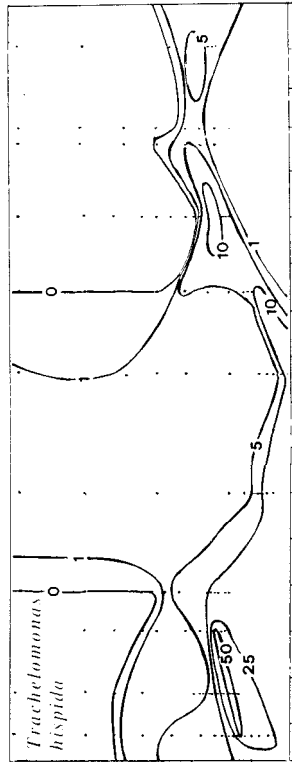
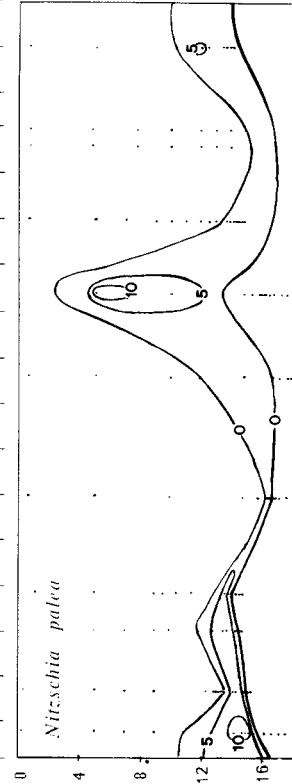
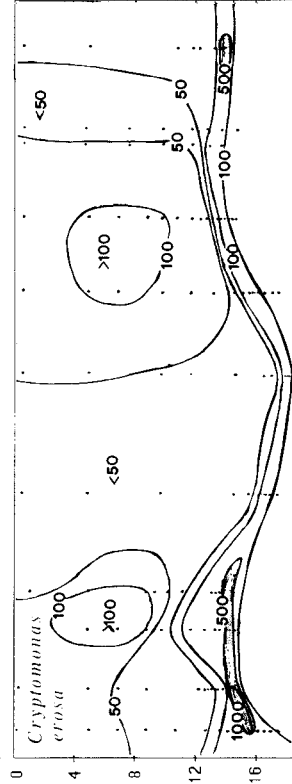
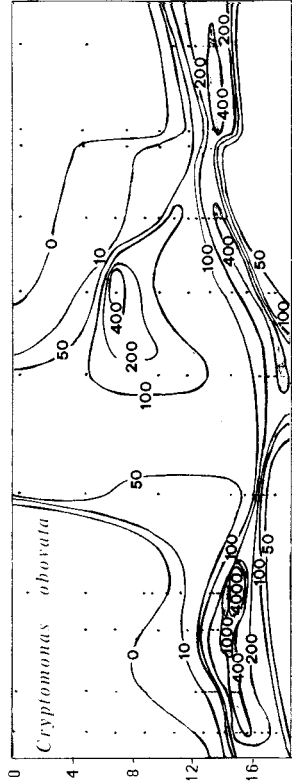
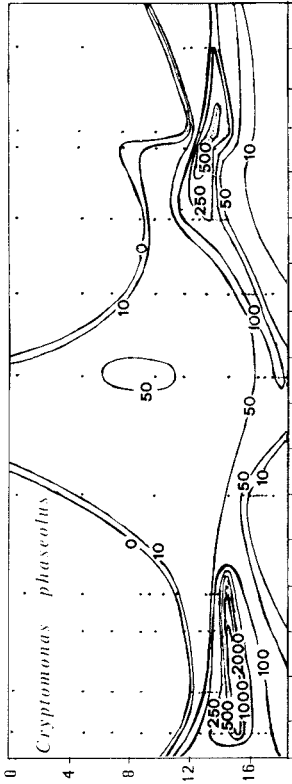
Esta especie es de gran tamaño, el cual varía bastante de unos individuos a otros, oscilando entre 16,2 y 24  $\mu$  de anchura y de 29,16 a 41,5  $\mu$  de longitud. En muestras vivas se ha podido observar que se desplaza muy rápidamente en el medio, teniendo, como consecuencia, fácil acceso a los nutrientes. También apareció en todos los muestreos, pero a diferencia de *Cryptomonas erosa* sólo se encontró en toda la columna de agua en los meses de invierno (desde noviembre hasta febrero), empezando a encontrarse desde los 5 m en el mes de abril, desde los 7,7 m en julio y desde los 12 m en agosto de 1988. En todos estos casos el alga se detectó hasta la mayor profundidad muestreada, llegando a encontrarse por debajo de la oxiclina, alcanzando incluso allí importantes poblaciones. Así, en agosto de 1987 y a 14,7 m de profundidad alcanzó su máxima densidad, con más de 3800 ind/ml, encontrándose la extinción de oxígeno ese mes a los 14,9 m.

##### *Cryptomonas phaseolus* Skuja

Es la especie de *Cryptomonas* de menor tamaño encontrada en esta laguna, no presentando tanta variabilidad de tamaño como la anterior, con un tamaño de 7-8  $\mu$  de anchura y 12-13  $\mu$  de longitud. Presenta un comportamiento parecido a *Cryptomonas obovata*, situándose incluso por debajo de ésta, es decir, tiende a situarse en la oxiclina y en las capas más profundas del hipolim-

Figura 3. - Distribución de la densidad de población (ind./ml) de las especies del fitoplancton que se sitúan en la oxiclina, según la profundidad y el tiempo, tal como se indica en la figura 2.

Depth (m. ordinates) and time (months from June 1987 to October 1988) distribution of population density (ind./ml) of the phytoplanktonic species which are located in the oxycline. Isopleths as in figure 2.



Jn Jj A S O N D E F M A M Jn Jj A S O

nion. Su mayor desarrollo lo alcanzó en julio de 1987 a 15,4 m de profundidad, con más de 2000 indlml. Se ha citado como característica de la interfase óxico-anóxica en prácticamente todos los lagos españoles que la presentan, tanto cársticos (la laguna del Sisó, PEDROS-ALIÓ *et al.*, 1987; la laguna del Vilá, GARCÍA 1973; el lago de Estanya, AVILA *et al.*, 1984) como del litoral marino (l'Estany de Cullera, ROJO y MIRACLE 1989).

#### *Astasia curvata* Klebs

Alga euglenofita de forma curvada, estrecha y que no presenta cloroplastos. Su tamaño es de unas 5  $\mu$  de ancho por 46,2 y de largo. Esta especie es la más abundante de este género en la laguna. Así, estuvo presente en la laguna en todos los meses muestreados, pero en el año 1987 tuvo mayor desarrollo que en 1988, alcanzando en noviembre del 87 casi 700 indlml. Es exclusiva de la oxiclina, apareciendo normalmente alrededor de los 14-15 m de profundidad y hasta una profundidad de 18-19 m.

#### *Astasia cf. oblonga* Skv.

Esta alga es de menor tamaño que *Astasia curvata*, teniendo una longitud de 17  $\mu$  y una anchura de 7 y, (1 y menos, tanto en longitud como en anchura del intervalo de tamaños que se cita en la literatura para *A. oblonga*). Su distribución es muy similar a la de *A. curvata*, tanto en profundidad como a lo largo del año, alcanzando su máximo de indlml en octubre de 1988 a 14 metros de profundidad con 534,86.

#### *Euglena acus* Ehrenb.

Esta especie la constituyen células fusiformes largas con un flagelo (92  $\mu$  de longitud y 9,72  $\mu$  de anchura), cloroplastos en forma de placas y con movimientos lentos debido a que es bastante rígida. Se suele encontrar en aguas ricas en sustancias nutritivas, encontrándose en esta laguna exclusivamente en las capas de agua de la oxiclina. Aunque estuvo presente en muchas ocasiones en la laguna, el número de células encontradas era siempre escaso, con un máximo en julio de 1987 a 14,6 metros de 18 indlml.

#### *Trachelomonas hispida* (Per.) Stein.

Células que presentan caparazón de contorno ovalado, revestido con cortas espinas densamente

y regularmente dispuestas. El tamaño que presentó en esta laguna ha sido de 32  $\mu$  de longitud y 23  $\mu$  de anchura. En los meses de verano parece que se encuentra ligeramente en mayores cantidades que en los meses de invierno, alcanzando su máximo desarrollo en agosto de 1987, con 62 indlml. Apareció normalmente a partir de los 9-11 m, aunque en junio de 1988 no lo hizo hasta los 13,4 m, alcanzando una profundidad de 19 m en febrero de 1988, único mes donde se muestreó hasta los 19 m.

#### *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb.

Esta especie se encontró formando colonias de 4 células normalmente. Sus células tienen una anchura de 4 y una longitud de 10  $\mu$ . Las células terminales presentan dos espinas dirigidas hacia el exterior y curvadas hacia arriba. Se localiza en el hipolimnion y alcanza también la oxiclina, apareciendo en mayores cantidades a partir de los 12,5-13 m de profundidad. Durante los meses de mezcla, el alga se encontró desde la superficie hasta los 18-18,5 m, mientras que el resto de meses se presentó exclusivamente en la oxiclina.

#### *Scenedesmus serratus* (Corda) Bohl.

El tamaño de las células es de 11-12  $\mu$  de longitud y unas 4  $\mu$  de anchura. Al igual que *Scenedesmus quadricauda*, tiende a situarse cercana a la oxiclina. En febrero de 1988 llegó a presentar a 18,7 m más de 100 indlml. En cuanto a su distribución a lo largo del año no parece que varíe mucho, salvo su presencia en todo el perfil vertical los meses de mezcla, cosa muy normal para otras muchas algas.

### Sucesión estacional

En la figura 4 se representan en histogramas el total de individuos/m<sup>2</sup> de cada grupo junto con la especie más abundante del mismo, responsable básico de su variación estacional].

De los grupos de algas que forman el fitoplancton de la Laguna de la Cruz, es el de los clorófitos el representado por mayor número de especies. La elevada proporción de los clorófitos respecto del número total de individuos del fitoplancton se debe sobre todo al crecimiento masivo que experimentan unas pocas especies, concretamente *Crucigenia rectangularis*, *Pedinomonas minor* y

también *Monoraphidium minutum* aunque en menor proporción. Los clorófitos presentan un porcentaje elevado en los meses de verano, en concreto desde julio hasta septiembre u octubre, con un máximo en julio y agosto (89 % del fitoplancton total en julio de 1987). La mayor aportación a estos máximos fue la de *Crucigenia rectangularis*, cuya proporción relativa respecto del total del fitoplancton fue del 75 % en julio de 1987 y del 63 % en julio y principios de agosto de 1988. Más

avanzado el verano, la composición fitoplanctónica cambia a favor de *Pedinomonas minor*, con altas proporciones relativas respecto del total del fitoplancton por columna de agua (38 % a finales de agosto en 1987, 39 % a finales de septiembre en 1988), quedando *Crucigenia rectangularis* muy relegada (con un 5 % en septiembre de 1987 y un 15 % en septiembre de 1988). Otros clorófitos importantes en estas épocas fueron *Monoraphidium minutum* (con proporciones del 2 al 7 %). De apa-

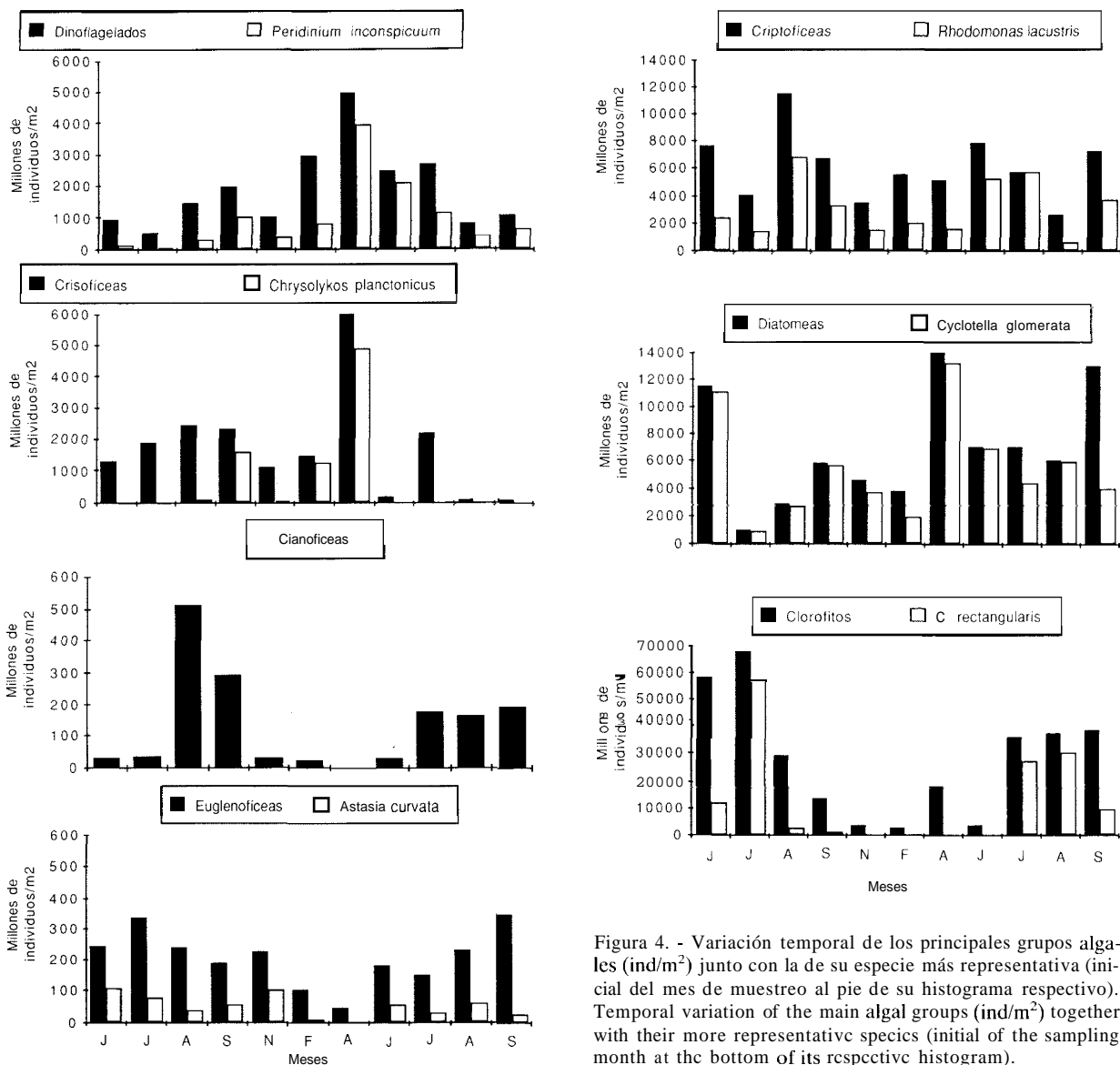


Figura 4. - Variación temporal de los principales grupos algales ( $\text{ind}/\text{m}^2$ ) junto con la de su especie más representativa (inicial del mes de muestreo al pie de su histograma respectivo). Temporal variation of the main algal groups ( $\text{ind}/\text{m}^2$ ) together with their more representative species (initial of the sampling month at the bottom of its respective histogram).

rición más puntual pero también importantes a finales de verano fueron *Chlamydomonas acuta*, sobre todo en 1987, y *Planctonema lauterbornii* en 1988. En invierno se produjo una notable disminución en el crecimiento de los clorófitos. La variación anual de las clorofíceas de esta laguna parece, pues, depender en gran medida de un grupo reducido de especies que fluctúan cuantitativamente bastante de unos meses a otros. Además de estas especies hay otras que fluctúan poco a lo largo del año, encontrándose en la laguna de forma más o menos continua pero que por no alcanzar importantes porcentajes destacan poco.

Las diatomeas presentan mayores abundancias relativas desde principios de otoño hasta finales de primavera, con una disminución en julio y agosto, tanto en 1987 como en 1988, presentando los porcentajes más elevados en primavera (abril y junio). Esta variación a lo largo del tiempo se corresponde con la de la diatomea céntrica *Cyclotella glomerata*, la cual alcanzó altas densidades de individuos en los meses anteriormente citados. Así, el porcentaje de diatomeas en junio de 1988 fue de 32,67, y sólo el de *C. glomerata* ya fue de 32,39, es decir, prácticamente el 100 % del número total de diatomeas correspondió a esta especie. En cambio, a principios de otoño hay una mayor proporción de diatomeas pennadas, especialmente en el de 1988, en que se observó un notable crecimiento de especies de *Nitzschia*.

Otro grupo importante es el de las criptofíceas, el cual, a pesar de estar representado sólo por cuatro especies, presentó importantes poblaciones permanentes. *Cryptomonas obovata* y *Cryptomonas phaseolus* se localizan preferentemente en las capas de la oxiclina, donde forman densas poblaciones bastante estables, sin embargo, al no aparecer en las otras profundidades, su representación en los totales por columna de agua es pequeña. De todas formas, en noviembre y febrero, cuando baja la densidad del fitoplancton, adquieren proporciones importantes, incluso cuando se considera toda la columna de agua. Las otras dos especies, *Rhodomonas lacustris* y *Cryptomonas erosa*, presentaron abundancias relativas mayores por estar menos localizadas en el perfil vertical. *Rhodomonas lacustris* fue la más abundante y también la más fluctuante, presentando picos de crecimiento en verano.

Los dinoflagelados presentan un gran crecimiento en invierno-principios de primavera, y muestran abundancias relativas bajas en los meses de verano debido a la proliferación de los clorófitos en dichos meses. En febrero fue *Gymnodinium varians* el dinoflagelado más abundante (6,7 %), seguido de *Peridinium inconspicuum* (5,1 %), aunque esta última especie adquirió gran desarrollo en el mes de abril, durante el cual consiguió el máximo en abundancia absoluta del grupo de todo el período.

Las crisofíceas constituyen un grupo poco representado cuantitativamente, con tendencia a localizarse en verano en la oxiclina, especialmente en el año 1987, año en que ésta fue más estable. En primavera presentaron también un desarrollo muy marcado, situándose a profundidades más superficiales. Las especies responsables de este aumento en abril fueron *Chrysolykos planctonicus* (10 %), seguida de *Chromulina sp.* y *Kephyrion sp.*, ambas con un 1 %.

Las cianofíceas filamentosas fueron poco importantes, sólo *Anabaena sp.* fue ligeramente más abundante pero no alcanzó nunca ni el 1 % del fitoplancton total.

Las englenofíceas constituyen el grupo que presenta los porcentajes más bajos y también más constantes a lo largo del tiempo, ya que se localizan en la oxiclina y aunque alcanzan densidades altas lo hacen en un pequeño intervalo de profundidades. *Astasia curvata* y *Astasia cf. oblonga* fueron las más abundantes (con densidades en algunos meses superiores a los 500 ind/ml), seguidas de *Trachelomonas hispida*. En noviembre presentaron la mayor abundancia relativa, sin embargo, tal y como se ve en la figura 4, el máximo en cifras absolutas lo alcanzaron a finales de septiembre de 1988. En abril, debido al descenso sufrido por las especies del género *Astasia*, se registró el mínimo de todo el período.

En la figura 5 (A, B y C) se representa la variación estacional por columna de agua de las principales especies del fitoplancton, agrupadas según la semejanza de dicha variación. La distribución temporal en la laguna de la Cruz puede categorizarse según los grupos de especies que se describen a continuación:

1er grupo: especies perennes y constantes: *Trachelomonas hispida*, *Cryptomonas phaseolus*,

*Cryptomonas obovata*, *Cryptomonas erosa*, *Monoraphidium irregulare*, *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus serratus* y *Euglena acus*. Son especies con una variación temporal muy atenuada y en su mayoría localizadas en una estrecha franja del perfil vertical, en la oxiclina, donde las condiciones son más extremas, pero constantes, en el límite de la presencia de luz y oxígeno, pero con altas concentraciones de nutrientes y compuestos orgánicos e inorgánicos derivados de una importante actividad bacteriana. Debido a que probablemente los requerimientos nutritivos deben estar siempre en exceso, las poblaciones, que están adaptadas a dicho ambiente extremo, pueden mantenerse sin grandes fluctuaciones, sólo limitadas por la luz.

2.º grupo: especies perennes con máximos en primavera y máximos localizados a más profundidad en verano: *Cyclotella glomerata*, *Peridinium inconspicuum* y *Pedinomonas minor*. Las dos primeras presentan el mayor número de individuos en primavera. *C. glomerata* es la segunda alga más abundante en el mes de abril, con el 27 % del fitoplancton total, detrás de *Pedinomonas minor*. *P. inconspicuum* fue la cuarta en orden de abundancia, con una representación del 8 % (tabla 2). Estas especies salen beneficiadas en períodos con riqueza de nutrientes y ligera turbulencia de las aguas. Forman máximos en el mixolimnion cuando empieza a formarse la termoclina en primavera y también en verano pero localizados a mayor profundidad, en la parte inferior del meta-hipolimnion, justo por encima de la oxiclina (fig. 2).

3er grupo: especies perennes con máximo en verano: *Monoraphidium minutum* y *Rhodomonas lacustris*. *M. minutum* presenta característicamente esta distribución, con un máximo en julio-agosto de ambos años. *R. lacustris* también presentó esta distribución pero con ligeros cambios de un año a otro ya que en 1987 alcanzó su mayor desarrollo en agosto, mientras que en 1988 lo hizo en junio y julio.

4.º grupo: especies estivales: este grupo incluye a bastantes especies, pero las que presentan más claramente esta distribución son las siguientes: *Crucigenia rectangularis*, *Scenedesmus linearis*, *Cosmarium punctulatum*, *Pseudanabaena limnetica*, *Pediastrum boryanum*, *Anabaena sp.*, *Peridinium volzii*, *Spirulina major* y *Ceratium hirundinella*. Todas ellas presentaron crecimiento desde

finales de la primavera hasta el mes de septiembre o principios de octubre. Se trata, pues, de especies, algunas de ellas de tamaño relativamente grande, que requieren altas temperaturas y poca turbulencia en el agua para desarrollarse. Éstas son típicas de esa época del año ya que, a medida que avanza la sucesión, las especies de pequeño tamaño y alta tasa de reproducción van siendo sustituidas por otras de mayor tamaño y períodos de generación más largos. Este es el caso de *Ceratium hirundinella*, *Peridinium volzii*, y las especies del género *Cosmarium* entre otras. También es el caso de las especies de clorofíceas que forman cenobio-como *Crucigenia rectangularis*, *Scenedesmus linearis* o consorcios como *Pediastrum boryanum*, dando lugar a formas grandes con gran acúmulo de mucílago, característico de épocas con concentraciones de nitrógeno y fósforo bajas. Otro grupo estival lo formarían las cianofíceas, las cuales ven favorecido su desarrollo en esta época de escasez de nitrógeno, a pesar de representar en esta laguna una parte muy pequeña del fitoplancton total; es el caso de *Pseudanabaena limnetica*, *Anabaena sp.*, y *Spirulina major*.

5.º grupo: especies otoñales-primaverales e invernales: *Chrysolykos planctonicus*, *Kephyrion sp.*, *Tetraedron minimum*, *Diceras ollula*, *Peridinium palatinum* y *Gymnodinium varians*. *C. planctonicus* presentó dos máximos, uno en septiembre de 1987 y otro en abril de 1988, disminuyendo en cantidad en noviembre. *Kephyrion sp.* también presentó dos máximos, el primero en noviembre de 1987 y el segundo en abril de 1988, con una disminución en febrero. Estas dos crisofíceas permanecen en la laguna durante todo el invierno. *Diceras ollula*, en cambio, sólo se observó desde abril hasta finales de septiembre de 1988, siendo muy escasa de junio a agosto. *T. minimum*, *P. palatinum* y *Gymnodinium varians* presentaron distribuciones típicamente invernales.

En la laguna de la Cruz, el período *invernal-primaveral*, época en la que las aguas se encuentran mezcladas, se caracteriza por una disminución en el número de individuos en la mayoría de las especies y por la proliferación en especial de las crisofíceas (*C. planctonicus*, *Kephyrion sp.*), que aunque no se encuentren en grandes cantidades sí permiten observar que presentan una clara preferencia por los períodos de bajas temperaturas y

de turbulencia. Estas especies se mantienen hasta finales de primavera pero van siendo sustituidas poco a poco por *Cyclotella glomerata*, diatomea céntrica de pequeño tamaño que se favoreció su crecimiento bajo estas condiciones de movimientos y mezcla del agua, y por la clorofícea *P. minor*, la cual, debido también a su pequeño tamaño alcanza grandes cantidades de individuos en poco tiempo, volviendo a disminuir rápidamente al mes siguiente. El dinoflagelado *P. inconspicuum* también alcanzó su máximo desarrollo en primavera, en abril concretamente, siendo la cuarta especie más abundante.

Al empezar la estratificación de la laguna, empiezan a adquirir importante desarrollo las especies estivales. En julio la composición fitoplanctónica cambia drásticamente, con una clara dominancia de *Crucigenia rectangularis* sobre el resto, que se cambia a finales de agosto por una dominancia de *Pedinomonas minor*, que se mantiene hasta finales de septiembre. La variación anual en el número de individuos por m<sup>2</sup> de *Crucigenia rectangularis* y de *Pedinomonas minor*, pone de manifiesto la exclusión estacional entre ambas, es decir, sus máximos nunca coinciden en el mismo período sino que se suceden de forma que cuando una alcanza grandes cantidades de individuos, la otra disminuye.

Un comportamiento similar parece que se da entre distintas especies de *Peridinium*, las cuales tienden a aumentar su población en distintas épocas del año, de forma que *Peridinium palatinum* es el dinoflagelado más abundante en invierno, *Peridinium inconspicuum* presenta su máximo en primavera y *Peridinium volzii*, especie de mayor tamaño, sólo crece durante los meses de verano.

A finales de septiembre de 1988 hubo una importante proliferación de algunas especies de dia-

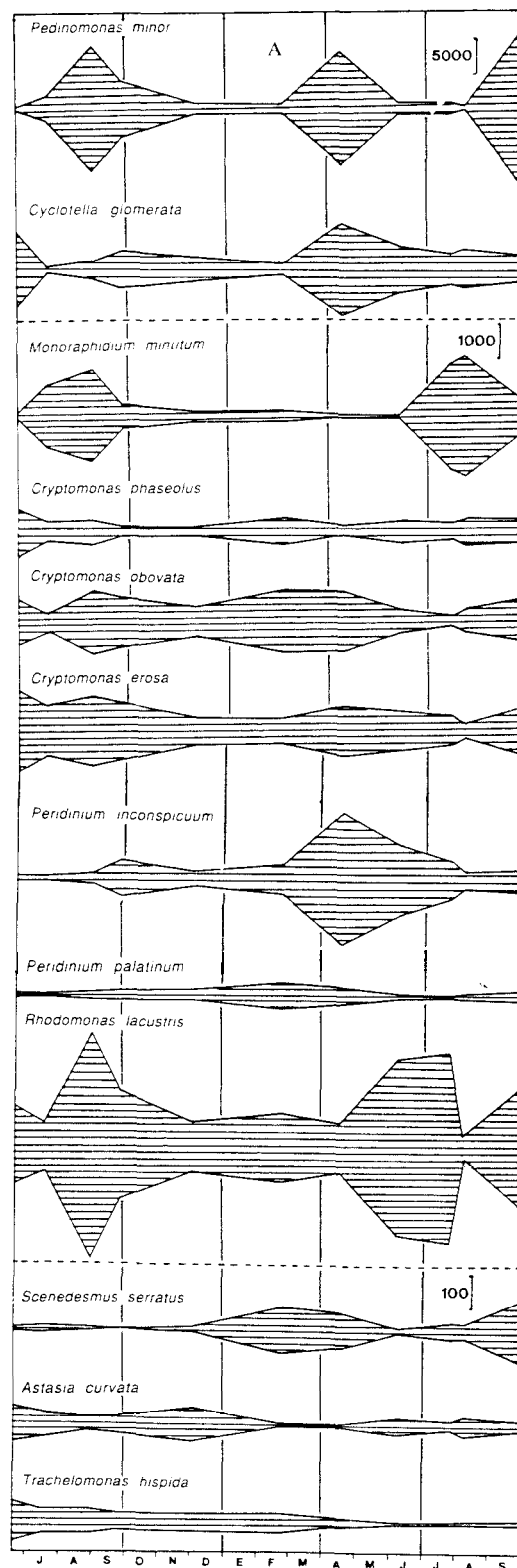
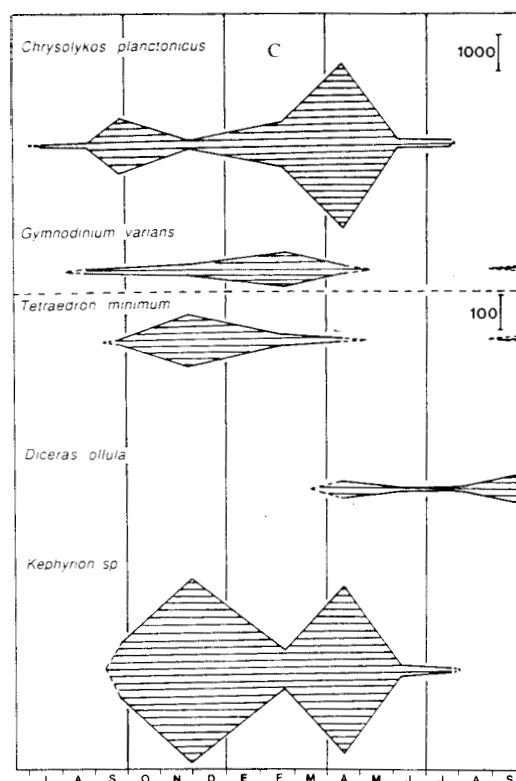
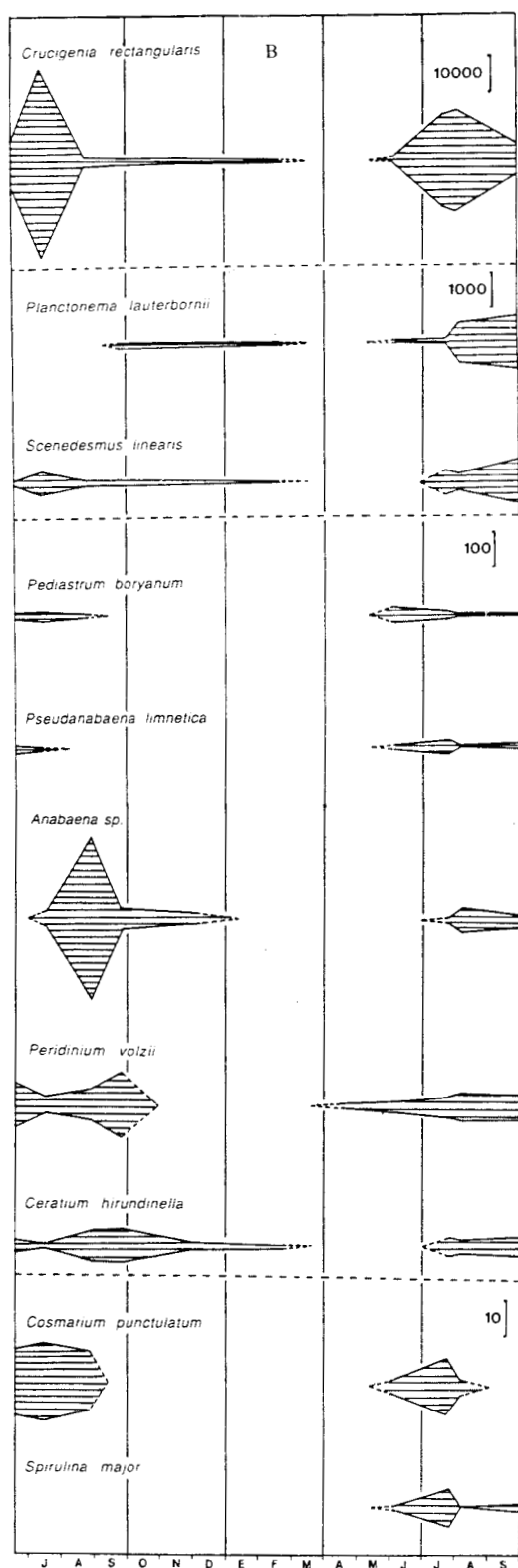


Figura 5 (A, B y C) - Distribución temporal de las principales especies según las correspondientes escalas, cuya cifra representa millones de individuos por m<sup>3</sup> (para toda la columna de agua). A: Especies permanentes, B: Especies estivales y C: Especies otoño-primaverales e invernales.

Temporal distribution of the main phytoplankton species according to the respective scales, whose figure represents thousands of individuals per m<sup>3</sup> (for the whole water column). A: Permanent species. B: Summer species and C: autumn-spring and winter species.





tomeas pennadas, favorecidas, probablemente, por las primeras mezclas verticales entre las capas de agua como consecuencia de que la temperatura ya empezaba a disminuir. Estas diatomeas fueron *Nitzschia sp.* y *Nitzschia palea var. debilis* que no se han incluido en ningún grupo debido a que sólo aparecieron ese mes.

Se observan también algunas diferencias entre un año y otro. El año 1988 presentó una producción primaria más alta respecto de la de 1987, lo cual se deduce de la gráfica de distribución de la concentración de oxígeno (fig. 1). La oxiclina a su vez se formó más superficialmente en 1988 (extinción de  $O_2$  en verano entorno a los 12 m) que en 1987 (extinción de  $O_2$  en verano a los 15 m). En 1988 se favoreció el crecimiento de la mayoría de las especies, en particular *Cyclotella glomerata*, *Scenedesmus serratus*, *Planctonema lauterbornii*, *Spirulina major* y *Dicerias ollula*, que presentaron números mucho más bajos en 1987. En cambio, especies como *Ceratium hirundinella* y *Peridinium volzii* tuvieron menos crecimiento.

Tabla 2. - Proporción relativa (% respecto del total de individuos por columna de agua) de las 6 especies más importantes en cada día de muestreo. Se indica también el correspondiente valor de la diversidad por columna de agua. Relative proportion (% in respect to the total number of individuals per water column) of the 6 most important species in each sampling date. The corresponding water column diversity value is also indicated.

Fecha	Especies	bits/individuo
17/VI/87	<i>Crucigenia rectangularis</i> 28,96%, <i>Cyclotella glomerata</i> 26,91%, <i>Amoebocyclops</i> sp. 7,41%, <i>Cryptomonas erosa</i> 6,13%, <i>Rhodomonas lacustris</i> 5,73%, <i>Pseudoquadrigula</i> sp. 5,22%	2,27
15/VII/87	<i>Crucigenia rectangularis</i> 73,09%, <i>Pedinomonas minor</i> 5,71%, <i>Monoraphidium minutum</i> 2,48%, <i>Chromulina</i> sp. 2,07%, <i>Cryptomonas erosa</i> 2,05%, <i>Rhodomonas lacustris</i> 1,89%	1,91
27/VIII/87	<i>Pedinomonas minor</i> 37,85%, <i>Rhodomonas lacustris</i> 13,79%, <i>Chlamydomonas acuta</i> 5,90%, <i>Crucigenia rectangularis</i> 5,82%, <i>Monoraphidium minutum</i> 5,61%, <i>Cyclotella glomerata</i> 5,54%	2,85
23/IX/87	<i>Pedinomonas minor</i> 27,21%, <i>Cyclotella glomerata</i> 18,29%, <i>Rhodomonas lacustris</i> 10,64%, <i>Cryptomonas erosa</i> 5,54%, <i>Chrysolykos planctonicus</i> 5,20%, <i>Cryptomonas obovata</i> 4,83%	2,92
29/XI/87	<i>Cyclotella glomerata</i> 25,83%, <i>Pedinomonas minor</i> 11,60%, <i>Rhodomonas lacustris</i> 10,49%, <i>Cryptomonas obovata</i> 6,09%, <i>Cryptomonas erosa</i> 5,79%, <i>Cyclotella kützingiana</i> 4,92%	3,32
20/II/88	<i>Rhodomonas lacustris</i> 12,29%, <i>Cryptomonas obovata</i> 11,34%, <i>Cyclotella glomerata</i> 11,30%, <i>Cyclotella kützingiana</i> 10,98%, <i>Pedinomonas minor</i> 8,82%, <i>Chrysolykos planctonicus</i> 7,48%	3,05
15/IV/88	<i>Pedinomonas minor</i> 35,39%, <i>Cyclotella glomerata</i> 27,39%, <i>Chrysolykos planctonicus</i> 10,16%, <i>Peridinium inconspicuum</i> 8,17%, <i>Cryptomonas obovata</i> 3,75%, <i>Rhodomonas lacustris</i> 3,28%	2,61
5/VI/88	<i>Cyclotella glomerata</i> 32,34%, <i>Rhodomonas lacustris</i> 24,67%, <i>Peridinium inconspicuum</i> 9,81%, <i>Pedinomonas minor</i> 8,63%, <i>Cryptomonas erosa</i> 5,59%, <i>Cryptomonas obovata</i> 3,25%	2,72
21-27/VII/88	<i>Crucigenia rectangularis</i> 55,27%, <i>Rhodomonas lacustris</i> 11,43%, <i>Cyclotella glomerata</i> 8,61%, <i>Monoraphidium minutum</i> 6,40%, <i>Chlorella</i> sp. 2,84%, <i>Peridinium inconspicuum</i> 2,27%	3,32
5/VIII/88	<i>Crucigenia rectangularis</i> 62,82%, <i>Cyclotella glomerata</i> 12,36%, <i>Monoraphidium miriurum</i> 6,40%, <i>Planctonema lauterbornii</i> 2,33%, <i>Cryptomonas phaseolus</i> 1,65%, <i>Cryptomonas obovata</i> 1,49%	2,00
30/IX/88	<i>Pedinomonas minor</i> 38,91%, <i>Crucigenia rectangularis</i> 15,64%, <i>Navicula</i> cf. <i>cryptocephala</i> 9,36%, <i>Cyclotella glomerata</i> 6,61%, <i>Rhodomonas lacustris</i> 6,11%, <i>Cryptomonas erosa</i> 2,63%	2,72

## Diversidad

Las diversidades calculadas con los números de individuos integrados para la columna de agua fraccionada en epilimnion, metalimnion y oxiclina, aparecen representadas junto con la diversidad media de todo el período estudiado en la figura 6.

El epilimnion fue el estrato con menor diversidad durante 1987, no ocurriendo lo mismo en 1988. Así, a finales de septiembre de 1988, alcanzó una diversidad muy alta (3,3 bits), mientras que en el metalimnion fue baja (1,8 bits). Esto se debió al elevado porcentaje durante dicho mes de la

clorofícea *Pedinomonas minor* en el metalimnion (72 %), frente al 2 % que presentó en el epilimnion. Por tanto, y a pesar de haber mayor número de especies en el metalimnion (43 frente a las 38 del epilimnion), éste presentó una diversidad mucho más baja. Algo similar ocurrió en el mes anterior, agosto, pero esta vez con *Crucigenia rectangularis*, representando el 82 % del fitoplancton total del metalimnion.

La diversidad del metalimnion en 1987 es más o menos paralela a la del epilimnion, aunque con valores más altos, presentando ambas un importante descenso en julio como consecuencia del predominio de *C. rectangularis* en estos estratos,

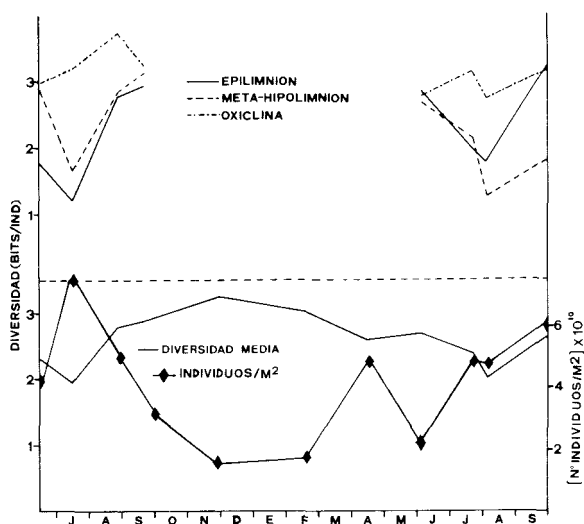


Figura 6. - Comparación de la diversidad media con el número total de individuos/m<sup>2</sup> para toda la columna de agua. En la mitad superior se representa la diversidad de las distintas fracciones de la columna de agua durante los períodos de estratificación.

Comparison between mean diversity and the total number of individuals/m<sup>2</sup> for the whole water column. In the upper half, the diversity for the different fractions of the water column (epi, metalimnion and oxycline) during the stratification periods.

no viéndose afectada la oxiclina debido a que esta especie presentó menor densidad a dichas profundidades.

La oxiclina presentó siempre, los valores de diversidad más altos y menos fluctuantes, debido a que es la zona más estable y en sus marcados gradientes fisicoquímicos pueden establecerse poblaciones estratificadas de diversos organismos.

La diversidad media (media de las diversidades de las distintas profundidades), osciló entre 1,91 y 3,32 bits durante el período estudiado. El ciclo de la diversidad en esta laguna es como sigue: la diversidad es baja en primavera y baja más aún hasta mediados de verano debido a un «bloom» o crecimiento explosivo de algunas clorofíceas (*Cryptomonas rectangularis* sobre todo), que favorece el fenómeno de precipitación de calcita-aragonito durante la última semana de julio. Esto puede ocasionar además una disminución del número de especies, por ejemplo en la tabla 3 se puede ver la disminución de especies en el muestreo del 5 de

agosto de 1988, que se efectuó justo después de dicho fenómeno. Luego, la diversidad se incrementa desde finales de verano hasta el otoño, produciéndose entonces el máximo. En esta época se observó un aumento tanto en la diversidad como del número de especies, sobre todo de diatomeas pennadas y clorofíceas. Además, especies de dinoflagelados y crisofitos que estaban poco representados anteriormente adquirieron mayor representación. Todo ello, unido a la disminución de la densidad de las especies dominantes en verano, llevó a un aumento de la diversidad, especialmente en las zonas superficiales (mixolimnion). En invierno la diversidad bajó ligeramente para decrecer mucho más marcadamente en primavera y mediados de verano, tal como se acaba de comentar.

Por esto se da la paradoja de que los períodos de estratificación térmica presentan diversidades bajas, aunque el número de especies fue mayor que en los períodos de mezcla (tabla 3), debido al claro dominio de la especie más abundante, bien *C. rectangularis* o bien *P. minor*. La diversidad está inversamente correlacionada con la densidad total de células, relación que no es necesaria, sino una consecuencia de la transitoriedad y dinamismo de las poblaciones muy densas que en esta laguna tienen lugar en primavera y sobre todo en verano.

### Grupos de asociación de especies

Para tipificar el fitoplancton de la laguna de la Cruz se ha realizado un análisis de agrupamiento a partir de la matriz de correlación entre las 99 especies más importantes. Los resultados de este

Tabla 3. - Número de especies de cada grupo encontrado en los distintos días de muestreo.  
Number of species of each group identified in each sampling date.

	1987					1988					
	J	J	A	S	N	F	A	J	J	A	S
Dinoflagelados	10	10	10	7	6	6	6	6	8	8	8
Criptofíceas	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Diatomeas	6	5	8	8	13	6	5	5	9	4	9
Crisofíceas	4	3	3	5	3	3	5	5	4	3	2
Euglenofíceas	3	6	6	4	4	4	5	5	4	4	5
Cianofíceas	4	4	3	8	2	4	3	7	7	4	9
Clorofíceas	22	21	17	25	16	18	16	24	29	22	29
Total especies	53	53	51	61	48	45	44	56	65	49	66

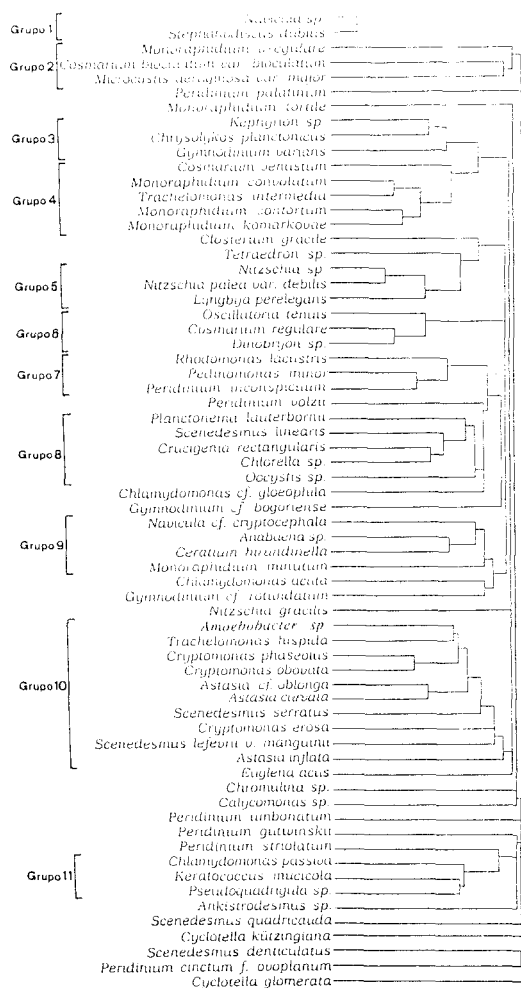


Figura 7. - Dendrograma de afinidad resultante del análisis de agrupamiento efectuado con la matriz de correlación entre las 99 especies de la tabla 1. Las especies que quedaban a los extremos presentando correlaciones inferiores a 0.2 han sido excluidas.

Dendrogram from the cluster analysis using the correlation matrix between the 99 species in table 1. Species which came at the edges and had correlations below 0.2 have been excluded.

análisis se presentan en el dendrograma de la figura 7. Las correlaciones altas indican que las especies aparecen simultáneamente, tanto temporal como espacialmente. Aquellas especies que aparecen solamente en uno o pocos meses suelen presentar correlaciones altas con las especies de esas mismas muestras. Igual ocurre con aquellas especies que aparecen esporádicamente, por esta ra-

zón el análisis «clusters» nos da una serie de grupos poco significativos formados por estas especies de aparición puntual. A continuación se describen los diferentes grupos, los principales en primer lugar y numerados según su ordenación en el dendrograma (figura 7).

**Grupo 3: Especies invernales.** — Este grupo está formado por tres especies, *Chrysolykos planktonicus*, *Kephyrion* sp. y *Gymnodinium virians*, las cuales se caracterizan por estar presentes en la laguna durante todo el invierno, aunque sus máximos los presentan en distintos meses (*Kephyrion* sp. en noviembre, *G. virians* en febrero y *C. planktonicus* en abril).

**Grupo 7: Especies con máximos profundos en verano, que aparecen más superficialmente en primavera.** — Este grupo lo forman tres especies que fueron muy frecuentes en la laguna y que presentaron una distribución vertical muy similar. Son las siguientes: *Rhodomonas lucustris*, *Pedinomonas minor* y *Peridinium inconspicuum*.

**Grupo 8: Especies estivales que aparecen en gran parte de la columna de agua.** — Está formado por *Scenedesmus linearis*, *Crucigenia rectangularis*, *Chlorella* sp., *Oocystis* sp. y con menor afinidad por ser abundante en sólo uno de los dos años estudiados, *Planctonema lauterbornii*. *Chlorella* sp. y *Oocystis* sp. presentan una distribución más constante a lo largo del año, aunque es en verano cuando presentan mayor desarrollo.

**Grupo 9: Especies del epilimnion de verano.** — Este grupo corresponde a las especies que se localizan siempre en las capas de agua superficiales, sobre todo en los meses en los que la laguna se encuentra estratificada. Estas especies son: *Anabaena* sp., *Ceratium hirundinella*, *Monoraphidium minutum* y *Navicula cf. cryptocephala*.

**Grupo 10: Especies de la oxiclina.** — Está constituido por las especies que siempre aparecen en las capas de agua más profundas, en la interfase óxica-anóxica: *Cryptomonas obovata*, *C. phaseolus*, *Astasia curvata*, *Astasia cf. oblonga*, *Trachelomonas hispida*, *Scenedesmus serratus*, *Cryptomonas erosa*, *Astasia inflata* y *Scenedesmus lefevrii v. munguinii*. Entre ellas figura también la bacteria fotosintética *Amoebobacter*, que forma agregados y se ha incluido en el análisis (con contajes del número de agregados) como indicadora de presencia exclusiva en la parte baja de la oxiclina.

Los otros seis grupos que se van a comentar a continuación están formados por especies que presentan altas correlaciones entre ellas debido a que aparecieron en momentos y puntos muy concretos, no siendo por ello del todo significativos. Son los siguientes:

*Grupo 11: Especies que se encuentran en toda la columna de agua y principalmente en los meses de verano.*— Son las siguientes: *Pseudoquadrigula sp.*, *Chlamydomonas passiva* y *Keratococcus mucicola*.

*Grupo 1:* Este grupo lo forman *Stephanodiscus dubius* y *Navicula sp.*, sólo aparecieron en las muestras correspondientes a *septiembre de 1987*.

*Grupo 2: Especies de la oxiclina.*— Se encuentran en un grupo aparte del 10 debido a que éstas aparecieron en muchas menos ocasiones, coincidiendo en los mismos meses y a las mismas profundidades. Son: *Microcystis aeruginosa var. major*, *Cosmarium bioculatum var. bioculatum* y *Monoraphidium irregulare*.

*Grupo 4: Especies presentes sólo u finales de verano-principios de otoño.*— Estas especies son: *Trachelomonas intermedia*, *Monoraphidium komarkovae*, *Monoraphidium contortum* y *Monoraphidium convolutum* y *Cosmarium venustum*.

*Grupo 5.*— En este grupo se encuentran *Nitzschia palea var. debilis*, *Nitzschia sp.* y *Lyngbya perelegans*. Las dos primeras presentan una alta correlación debido a que sólo aparecieron en *septiembre de 1988*, *Lyngbya perelegans* también alcanzó uno de sus mayores crecimientos dicho mes, aunque estuvo presente en otros.

*Grupo 6:* Son: *Oscillatoria tenuis*, *Cosmarium regulare* y *Dinobryon sp.*, las cuales aparecieron en contadas ocasiones, coincidiendo las tres en *septiembre de 1987*.

## DISCUSIÓN

El fitoplancton de la laguna de la Cruz es el característico de los lagos cársticos de la Península Ibérica. De la comparación de nuestros resultados con los estudios existentes de otros lagos cársticos como Banyoles (PLANAS, 1973), Vilá (GARCÍA, 1973), Montcortés (CAMPS *et al.*, 1976, MODAMIO *et al.*, 1988) y Estanya (AVILA *et al.*, 1984), se observan claras similitudes, existiendo en todos ellos

poblaciones importantes de *Cyclotella* durante todo el año, situándose al inicio de la termoclina, y poblaciones metalimnéticas más profundas de *Peridinium* de varias especies que se suceden en el tiempo. Igualmente, en algunos de ellos se dan crecimientos explosivos de clorofíceas.

En aquellos que presentan una marcada estratificación con condiciones anóxicas durante largos períodos de tiempo (Vilá, GARCÍA, 1973; Sisó, PEDRÓS-ALIÓ *et al.*, 1987), se confirma la presencia característica en la oxiclina de algunas de las especies encontradas por nosotros en esta zona, especialmente *Cryptomonas* y euglenales que en algunos de estos lagos (Montcortés, MODAMIO *et al.* 1988; Arcas, FINLAY *et al.* 1991) van acompañadas por especies de *Oscillatoria*.

En la laguna de la Cruz el número de especies mayoritarias es en realidad pequeño. De las 133 especies identificadas, sólo 13 especies se presentaron en más del 50 % de las muestras y 37 presentaban una frecuencia relativa mayor del 1 % del total de individuos del fitoplancton contabilizado.

Es de gran interés señalar que las características de meromixis permanente de este lago permiten confirmar la adaptación de algunas especies a condiciones de intensidades de luz muy bajas (menos de  $1-2 \mu\text{E} \times \text{m}^{-2} \times \text{seg}^{-1}$ ). Dichas especies se encontraban preferentemente y algunas exclusivamente a profundidades con estas intensidades de luz tan bajas y algunas de ellas presentaban densidades de población relativamente significativas por debajo de la profundidad de extinción del oxígeno. Esto significa que estas especies deben poseer además mecanismos distintos de la fotosíntesis para sobrevivir, como metabolismo heterotrófico. Las especies más características adaptadas a estas condiciones en la laguna estudiada son las euglenales de los géneros *Astasia*, *Euglena* y *Trachelomonas*, y las especies de *Cryptomonas*, con algunas de *Scenedesmus*, que se encuentran coexistiendo con las poblaciones de bacterias fotosintéticas, principalmente *Amoebobacter*, según se desprende del análisis estadístico.

El fitoplancton de la laguna de la Cruz está constituido por una serie de comunidades bien diferenciadas, especialmente la comunidad de la oxiclina, característicamente separada de las demás. Las comunidades del mixolimnion se separan fundamentalmente por la época del año.

En el mixolimnion la sucesión estacional sigue, en líneas generales las etapas características definidas en la literatura para los lagos templados: una primera etapa en primavera con predominio de clorofíceas y diatomeas de pequeño tamaño, (*Pedinomonas minor* y *Cyclotella glomerata*); una segunda etapa hacia principios de junio con proliferación de criptofíceas (*Cryptomonas erosa* y *Rhodomonas lucustris*) y en la que las diatomeas siguen siendo importantes todavía; una tercera etapa durante el verano con claro predominio de las clorofíceas, primero con desarrollos masivos de *C. rectunguluris* que favorecen la precipitación de calcita y aragonito a finales del mes de julio, cambiando el color del agua de verde azulado a blanco lechoso, seguidos luego por crecimientos importantes de otras especies, principalmente *Pedinomonas minor*. Finalmente, la cuarta etapa, desde finales de verano hasta el invierno, se caracterizó por la disminución de la abundancia de las clorofíceas y mayor desarrollo de los dinoflagelados (*Peridinium pulatinum*, *Gymnodinium varians*, etc.) y de las crisofíceas (*Chrysolykos planktonicus*, *Keephyrion sp.*, etc.).

Las condiciones de la laguna permiten pues el crecimiento masivo de ciertas clorofíceas, en concreto de *Pedinomonas minor* en primavera y finales de verano y *Crucigenia rectunguluris* en verano, especialmente en el año 1988, verano que sucedió a una primavera muy lluviosa que determinó una menor profundidad de la oxiclina, con la consiguiente elevación de los nutrientes a capas con intensidades mayores de luz.

Por ello, la diversidad muestra una clara relación inversa con la densidad total de células, como es de esperar, presentando marcadas disminuciones durante los crecimientos algales masivos de las clorofíceas que tuvieron lugar en la primavera y verano. La diversidad luego aumenta desde finales de verano hasta el otoño, produciéndose entonces los valores máximos, y decrece ligeramente en invierno.

En ROJO y MIRACLE (1987) se presenta un estudio sobre la distribución de las poblaciones fitoplanctónicas de la laguna de la Cruz, a partir de muestras tomadas en diferentes fechas desde 1981 a 1985. La comparación entre nuestros resultados de los años 1987-88 con los de los años antes citados pone de manifiesto la coincidencia de las especies mas abundantes, así como también la de

sus máximos de abundancia. Tal es el caso de *Cyclotella glomerata*, la cual presentó también su máximo en el mes de abril en aquel estudio de los años 1981-85, apareciendo también en casi toda la columna de agua, incluso por debajo de la oxiclina. *Crucigenia rectangularis* y *Monoraphidium minutum* fueron muy abundantes también en dichos años y con sus mayores poblaciones en los meses de verano y en el mixolimnion, con un predominio casi exclusivo de *C. rectangularis* en agosto de 1982.

Euglenofíceas, sobre todo del género *Astasia* y *Euglena* y *Cryptomonas* (*C. obovata* y *C. phaseolus*) también se localizaron principalmente en la oxiclina. Otra especie que presentó una distribución temporal muy similar a la encontrada ahora es la clorofícea *Planctonema lauterbornii*, la cual creció también a finales de verano.

La distribución de los dinoflagelados sí fue ligeramente distinta puesto que algunas especies como *Peridinium pulatinum* y *P. inconspicuum* presentaron en 1983 mayores densidades hacia el mes de junio, mientras que en el ciclo ahora estudiado aparecen en épocas más frías, llegando *P. pulatinum* a presentar su máximo en febrero.

En general se puede decir que las especies son bastante constantes a lo largo del tiempo, y que los principales grupos se distribuyen, en líneas generales, de forma similar.

## AGRADECIMIENTOS

Debemos agradecer la colaboración incondicional de Eduardo Vicente en todas las fases de realización del trabajo sin cuya participación no hubiera sido posible. Damos también las gracias a M.A. Rodrigo, J. Armengol, A. Camacho y L. Ballesteros su ayuda en el trabajo de campo. Este estudio ha sido subvencionado por el Proyecto de investigación de la C.A.Y.C.I.T. otorgado a M.R.M.

## BIBLIOGRAFÍA

- ÁVILA, J., BURREL, A., A. DOMINGO, E. FERNÁNDEZ, J. GODALL & M. LLOPART, 1984. Limnología del lago Grande de Estanya (Huesca). *Oecologia aquatica*, 7: 3-24.

- CAMPS, J., I. GONZALVO, J. GUELL, P. LOPEZ, A. TEJERO, X. TOLDRA, F. VALLESPINOS & M. VICENS, 1976. El lago de Montcortés: descripción de un ciclo anual. *Oecologia aquatica*, 2: 99-110.
- FINLAY, B.J., 1990. Physiological ecology of free-living protozoa. *Advances in Microbial Ecology*, 11: 1-35.
- FINLAY, B.J. & T. FENCHEL, 1986. Spatial distribution of microaerophilic ciliates in lakes: the interacting roles of oxygen tension blue light and gravity. *Perspectives in Microbial Ecology. Slovenian Soc. Microbiol.*, pp. 343-348. Ljubljana, Yugoslavia.
- FINLAY, B.J., K. CLARKE, E. VICENTE y M.R. MIRACLE, 1991. Anaerobic ciliates from a sulphide rich-solution lake in Spain. *Emop. J. Protitol.*, 27: 148-159.
- FLOREK, K., J. LUKASZEWICZ, J. PERKAL, H. STEINHAUS & S. ZUBRZYCKI, 1951 a. Sur la liason et la division des points d'un ensemble fini. *Colloquium Math.*, 2: 282-285.
- FLOREK, K., J. LUKASZEWICZ, J. PERKAL, H. STEINHAUS & S. ZUBRZYCKI, 1951 b. *Taksonomia Wroclawska. Przegl. Antropol.*, 17: 193-211.
- GARCIA, M.O., 1973. Fitoplancton de la Laguna del Vilá (Gerona, España). *Oecologia aquatica*, 1: 107-155.
- GUERRERO, R., E. MONTESINOS, C. PEDRÓS-ALIÓ, I. ESTEVE & J. MAS, 1985. Phototrophic sulfur bacteria in two Spanish lakes: Vertical distribution and limiting factors. *Limnol. Oceanogr.*, 30 (5): 919-931.
- GUERRERO, R., C. PEDRÓS-ALIÓ, I. ESTEVE & J. MAS, 1987. Communities of phototrophic sulfur bacteria in lakes of the Spanish Mediterranean region. *Acta academiae Aboensis*, 47 (2): 125-151.
- MARGALEF, R., 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona. 1010 pp.
- MODAMIO, X., V. PÉREZ & F. SAMARRA. 1988. Limnología del lago de Montcortés (ciclo 1978-79) (Pallars Jussá, Lleida). *Oecologia aquatica*, 9: 9-17.
- MOORE, J.W., 1981. Seasonal abundance of *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Schrank in lakes of different trophy. *Arch. Hydrobiol.*, 92 (4): 535-548.
- MORGAN, K. & J. KALFF. 1975. The winter dark survival of an algal flagellate, *Cryptomonas erosa* (SKUJA). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19: 2734-2740.
- PEDRÓS-ALIÓ, C., J.M. GASOL & R. GUERRERO, 1987. On the ecology of a *Cryptomonas phaseolus* population forming a metalimnetic bloom in Lake Cisó, Spain: Annual distribution and loss factors. *Limnol. Oceanogr.*, 32 (2): 285-298.
- PLANAS, D., 1973. Composición, ciclo y productividad del fitoplancton del lago de Banyoles. *Oecologia aquatica*, 1: 3-106.
- RAMON, G. & G. MOYA. 1984. Distribución estacional de *Planctonema lauterbornii*. (Ulotrichaceae) en dos embalses de aguas mineralizadas (Cúher y Gorg Blau, Mallorca). *Limnética*, 1: 291-296.
- ROJO, C. & M.R. MIRACLE. 1987. Poblaciones fitoplanctónicas de la Laguna de la Cruz (Cuenca), una laguna cárstica meromictica. *Act. VI. Simp. Nac. Bot. Cript.*, Granada (Spain): 119-135.
- ROJO, C. & M.R. MIRACLE, 1989. Phytoplankton Fluctuations during an Annual Cycle in the Coastal Lagoon of Cullera (Spain). *Int. Revue. ges. Hydrobiol.*, 74: 179-194.
- SNEATH, P., 1957. «The application of computers to taxonomy». *Journal of General Microbiology*, 17: 201-226.
- STREBLE, H. & D. KRAUTER, 1987. *Atlas de los Microorganismos de Agua Dulce*. Omega. Barcelona. 371 pp.
- VICENTE, E. & M.R. MIRACLE, 1988. Physicochemical and microbial stratification in a meromictic karstic lake of Spain. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 23: 522-529.