

## El lago de Montcortès, descripción de un ciclo anual.

JOSEP CAMPS,\* ISIDRE GONZALVO,\* JOAN GÜELL,\* PILAR LÓPEZ,\*  
ALBERT TEJERO,\*\* XAVIER TOLDRÀ,\* FERRAN VALLESPINÓS,\*\*  
MIQUEL VICENS \*

\* Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona

\*\* Instituto de Investigaciones Pesqueras, Paseo Nacional, s/n., Barcelona

### INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta los primeros resultados obtenidos después de un primer ciclo anual de estudio del lago de Montcortès y tiene el interés de poder establecer comparaciones con el lago de Banyoles, otro lago cárstico de características bastante distintas y muy bien estudiado con anterioridad (PLANAS, 1973; MIRACLE, 1976).

Ha sido ventajoso poder integrar en un solo equipo el esfuerzo de especialistas en disciplinas muy distintas (hidrografía, plancton, bacteriología). A pesar de ello, algunos apartados no han podido ser todavía elaborados en su totalidad (recuentos de fitoplancton, por ejemplo) y esperamos que el avance del trabajo realizado sirva para acometer en un futuro inmediato la resolución de una serie de problemas que han ido surgiendo y para la que este primer ciclo puede constituir el marco idóneo. La información existente anteriormente sobre la biología del lago era muy limitada (MARGALEF, 1950).

### CUBETA Y ENTORNO DEL LAGO

El lago de Montcortès (fig. 1) está situado a unos 16 km de la Pobla de Segur (Lérida, España), en la cuenca del Flamisell. Se encuentra a 1065 m de altitud ( $42^{\circ} 19' 50''$  N y  $0^{\circ} 59' 46''$  E). Su forma es casi circular, con un diámetro máximo de 525 m y un mínimo de 450 m; el perímetro total es de 1320 m. La máxima profundidad localizada es de 30 m.

Se trata de un lago con una sola cubeta de talud muy inclinado. No se observan ni ríos ni arroyos que viertan sus aguas en él, lo cual hace suponer una alimentación subterránea que compensa las pérdidas por evaporación y el escaso flujo de un pequeño arroyo emisario situado al norte del lago.

Gran parte de la cubeta se halla situada sobre calizas y el resto sobre arcillas y yesos. Sus orillas están permanentemente encharcadas («aiguamolls») con vegetación tí-

Lago MONTCORTÈS

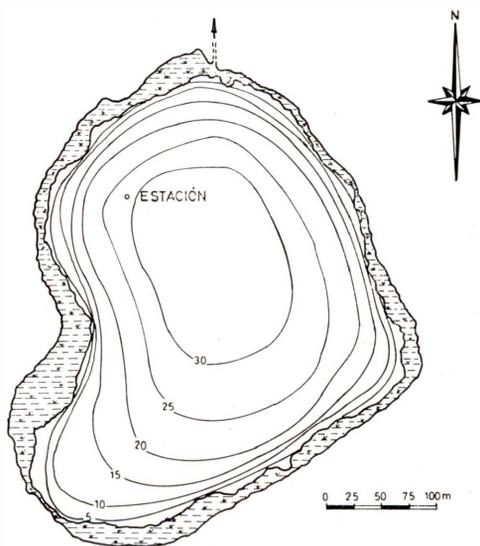


FIG. 1. — Mapa batimétrico del lago de Montcortès y situación aproximada de la estación de muestreo.

pica a base de *Juncus* y *Scirpus*. Otras especies que se localizan en la orilla son *Phragmites communis*, *Typha latifolia* y *Sparganium*. Rodean el lago prados de gramíneas (con *Buxus*) y bosques caducifolios.

## MATERIAL Y MÉTODOS

*Toma de muestras.* El lago fue visitado con una periodicidad bimensual en el período comprendido entre mayo de 1975 y mayo de 1976. En cada visita se realizaba un perfil en el punto más profundo (27 a 30 m). Las muestras se tomaron mediante una botella Van Dorn de 4 litros, realizándose simultáneamente perfiles de temperatura y de penetración de la luz. Los muestreos procuraron realizarse siempre a la misma hora (9,00 GMT). La temperatura y el pH de la muestra eran medidos inmediatamente y el agua para el análisis de los nutrientes se fijaba mediante cloroformo, excepto en el caso de las muestras para la determinación de oxígeno, sulfhídrico y amonio. Las muestras para el recuento de bacterias se recogían en botellas estériles.

Para los análisis posteriores en el laboratorio se utilizaron prácticamente los mismos métodos reseñados en PLANAS (1973), con la salvedad de que para el ión amonio se empleó el método de KOROLEFF (1969) y que los análisis de algunos nutrientes se automatizaron mediante el empleo de autoanalizadores.

*Pigmentos, nitrógeno particulado y producción primaria.* Tanto para la determinación de la concentración de pigmentos como del nitrógeno particulado se filtró el mismo volumen de muestra (2 litros) sobre un filtro de fibra de vidrio Whatman GF/C. Para la extracción de la clorofila y pigmentos acompañantes se empleó metanol puro, manteniéndose el extracto en la oscuridad y en frío al menos durante 48 horas. Para la lectura se realizó un barrido de todas las longitudes de onda comprendidas entre 400 y 750 nm mediante un espectrofotómetro PERKIN-ELMER 124. La concentración de clorofila *a* se calculó mediante la fórmula de TALLING y DRIVER (1963). Para el índice  $D_{430}/D_{665}$  (MARGALEF, 1960) se usaron las densidades ópticas en los picos de absorción a estas longitudes de onda.

La determinación del nitrógeno particulado se llevó a cabo mediante la combustión de la muestra a 700°C y medición del volumen de nitrógeno desprendido mediante un aparato COLEMAN (VALLESPINÓS y ESTRADA, 1975).

La producción primaria se valoró por el método del  $^{14}\text{C}$  (STEEMANN-NIELSEN, 1952) y para ello se llenaban tres botellas (dos claras y una oscura) de cada nivel de muestreo (2, 5 y 10 m, aunque en algunos casos se completaron con niveles adicionales) con 100 ml de agua sin prevenir el paso del zooplancton. Se añadió en cada caso 1 ml de una solución de bicarbonato radiactivo (de aproximadamente  $4 \mu\text{Cu}$ ). Las muestras se suspendían de una cuerda unida a una boya y las incubaciones se realizaban *in situ* por espacio de tres horas (10,00-13,00 GMT); terminada la incubación se filtraba (sin fijación previa) todo el contenido de la botella sobre filtros MILLIPORE de  $0,8 \mu\text{m}$  de poro. Se añadían al final unas gotas de  $\text{ClH}$  0,001 N para evitar la formación de precipitados. El recuento de la actividad incorporada se llevaba a cabo posteriormente en el laboratorio mediante un contador de centelleo líquido BECKMAN.

*Fitoplancton y zooplancton.* Para el recuento de las muestras de seston se fijaron 100 ml de muestra con lugol y posteriormente se utilizó un microscopio invertido, sedimentándose las muestras mediante cubetas de 100 ml con la base móvil. Se realizaron asimismo pescas horizontales mediante una red de  $60 \mu\text{m}$ .

En el caso del zooplancton, además de las pescas verticales y horizontales con redes de  $250 \mu\text{m}$ , se midieron cuantitativamente las poblaciones, empleando para ello 8 litros de agua y siguiendo el método descrito en MIRACLE (1976).

*Recuentos bacterianos.* Sólo se llevaron a cabo en grupos fisiológicos bien definidos (heterótrofas aerobias y facultativas, coliformes, fijadoras, reductoras de sulfato y desnitrificantes organotrofas). En los tres primeros casos se sembró 0,1 ml de sucesivas diluciones mediante extensión en placa (tres placas por dilución). En las reductoras de sulfato y desnitrificantes, la enumeración se llevó a cabo por el método del número más

TABLA 1.— Resultado de los diversos análisis físicos, químicos y biológicos realizados durante el periodo de estudio. Un guión significa que no se realizó el análisis. \* Datos de J. M. Vilaseca y J. Campàs.

Fecha	Profundidad (m)	Transparencia (m)	Temperatura (°C)	Alcalinidad (mEq/l)	pH	Sulfatos (mg/l)	Silicatos (µg-at/l)	Nitratos (µg-at/l)	Nitritos (µg-at/l)	Amonio (µg-at/l)	Fosfatos (µg-at/l)	Oxígeno (ml/l)	Clorofila <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )	D <sub>430</sub> /D <sub>665</sub>	Producción (mg C/m <sup>3</sup> h)	Nitrógeno part. (µg-at/l)	Nitrógeno/Clor.
100575 *	0	8,4	12,5	2,70	8,5	—	—	0,18	0,10	3,49	0,00	6,76	—	—	—	—	—
	2		12,5	2,70	8,5	—	—	0,00	0,00	2,52	0,00	6,19	7,38	2,53	—	—	—
	5		12,3	2,70	8,6	—	—	0,12	0,16	4,55	0,00	7,88	4,44	2,15	—	—	—
	10		7,2	2,70	8,5	—	—	0,00	0,00	3,49	0,00	8,22	6,53	2,31	—	—	—
	15		5,9	2,70	7,6	—	—	0,00	0,00	75,85	0,00	0,00	—	—	—	—	—
	20		5,5	2,90	7,4	—	—	0,00	0,00	—	0,00	0,00	5,31	2,11	—	—	—
	27		5,4	3,20	7,4	—	—	0,00	0,00	90,48	0,00	0,00	—	—	—	—	—
100875 *	0	7,5	23,9	3,53	8,3	—	—	0,00	—	—	0,00	2,27	0,67	4,41	—	—	—
	2		23,7	2,34	8,4	—	—	0,00	0,11	—	0,00	4,55	0,69	4,64	—	—	—
	5		22,2	2,49	8,4	—	—	0,00	0,11	—	0,14	4,32	1,29	4,55	—	—	—
	10		12,2	—	8,6	—	—	0,00	—	—	0,00	11,30	3,33	4,23	—	—	—
	20		5,9	—	7,7	—	—	0,00	0,08	—	0,00	0,00	1,63	4,24	—	—	—
	27		5,5	3,72	7,4	—	—	0,00	0,06	—	0,01	0,00	—	—	—	—	—
	271175		0	3,2	8,7	2,28	—	68,54	16,50	0,06	0,00	1,32	0,01	3,69	6,70	2,48	4,94
2		8,6	2,30		8,4	68,54	17,80	0,07	0,00	2,65	0,05	4,70	6,57	2,55	12,33	13,86	2,1
5		8,6	2,29		8,5	71,52	18,20	0,19	0,01	2,96	0,05	5,48	7,08	2,40	2,51	14,69	2,1
10		8,6	2,33		8,3	65,56	17,80	0,23	0,01	0,41	0,04	5,48	7,89	2,45	1,85	12,86	1,6
15		6,7	3,84		8,1	59,60	77,10	0,11	0,02	6,33	0,00	0,00	4,51	2,92	—	8,85	1,9
20		5,7	3,51		7,6	62,58	123,60	0,06	0,02	11,89	0,00	0,00	2,97	2,77	—	7,76	2,6
27		—	4,11		7,3	44,70	179,20	0,06	0,02	25,82	0,00	0,00	—	—	—	—	—

TABLA 1. — Continuación.

Fecha	Profundidad (m)	Transparencia (m)	Temperatura (°C)	Alcalinidad (mEq/l)	pH	Sulfatos (mg/l)	Silicatos (µg-at/l)	Nitratos (µg-at/l)	Nitritos (µg-at/l)	Amonio (µg-at/l)	Fosfatos (µg-at/l)	Oxígeno (ml/l)	Clorofila $\alpha$ (mg/m <sup>3</sup> )	D <sub>330</sub> /D <sub>665</sub>	Producción (mg C/m <sup>3</sup> h)	Nitrógeno part. (µg-at/l)	Nitrógeno/Clor.
170176	0	2,5	4,9	2,45	7,7	100,85	25,58	1,45	0,42	—	0,07	5,40	7,25	2,61	1,65	12,70	1,7
	2		5,2	2,39	7,5	105,21	28,06	2,29	0,49	—	0,00	5,10	6,71	2,55	9,50	14,42	2,1
	5		5,2	2,41	7,7	118,36	27,75	2,31	0,28	—	0,08	5,80	6,92	2,55	2,40	10,03	1,5
	10		4,9	2,41	7,6	105,21	27,67	3,15	1,19	—	0,05	5,80	6,61	2,59	0,64	13,71	2,1
	15		4,9	2,43	7,7	183,00	23,06	1,90	0,45	—	0,05	5,10	8,31	2,40	—	15,93	1,9
	20		4,9	3,62	7,3	83,29	118,87	0,53	1,44	—	0,20	0,00	3,68	2,57	0,27	6,85	1,8
	27		5,2	4,30	6,6	92,06	207,49	0,48	1,29	—	—	0,00	14,71	2,71	—	57,75	3,9
060376	0	2,5	—	2,51	7,5	109,60	16,96	0,03	0,09	2,89	0,04	8,38	9,17	3,66	—	12,20	1,3
	2		7,1	2,47	7,4	100,83	20,38	0,09	0,03	1,13	0,03	8,52	7,50	4,00	2,80	15,80	2,1
	5		6,9	2,49	7,3	100,83	18,01	0,00	0,03	2,92	0,00	8,52	8,30	3,01	4,66	17,20	2,1
	10		5,2	2,47	7,3	96,44	19,05	0,16	0,12	2,94	0,05	6,29	5,25	2,92	3,10	21,95	4,1
	15		4,9	2,55	7,0	105,21	33,65	0,20	0,12	12,67	0,00	2,62	3,39	3,00	—	11,37	3,3
	20		5,2	3,07	6,9	94,35	101,43	0,06	0,06	31,85	0,10	0,00	9,37	2,64	—	14,78	1,6
	27		5,2	4,03	6,9	70,14	168,74	0,00	0,19	38,35	0,08	0,00	4,36	2,85	—	—	—
220476	0	4,5	12,3	2,61	6,8	95,04	1,77	0,00	0,00	4,60	0,00	6,50	2,80	3,20	—	8,58	3,1
	2		12,4	2,65	6,9	90,72	1,95	0,17	0,00	4,60	0,00	6,10	3,50	3,06	3,87	—	—
	5		11,6	2,61	7,1	99,36	2,40	0,17	0,00	4,60	0,00	6,50	3,30	2,28	1,80	—	—
	10		6,5	2,65	7,2	99,36	28,50	0,12	0,00	6,80	0,00	6,10	19,70	2,10	0,46	30,89	1,6
	15		5,3	2,76	6,9	95,04	59,56	5,94	0,00	14,06	0,00	1,20	5,10	2,30	—	—	—
	20		5,7	3,08	6,8	86,40	85,41	0,00	0,00	18,60	0,00	0,00	3,80	2,50	—	—	—
	27		—	3,51	6,8	86,40	142,40	0,23	0,00	24,60	0,10	0,00	0,36	3,23	—	—	—

probable (NMP) en medio líquido, empleando cinco tubos por dilución. Las muestras se sembraron inmediatamente después de la toma, en condiciones estériles, dentro del furgón laboratorio empleado durante el estudio. Incubación, a 30°C.

## LUZ Y TEMPERATURA

Los valores de penetración de la luz (tabla 1) medidos mediante el disco de Secchi indican que el período noviembre-marzo es el de aguas menos transparentes, encontrándose a 4-5 m sólo el 10 % de luz que llega a superficie. En cambio, en los meses restantes la penetración es mucho mayor. Este hecho podría relacionarse con los movimientos ascendentes y descendentes de las masas de *Oscillatoria* que en los meses de verano se acumulan en niveles relativamente profundos (8-10 m). La luz limita pues, en el caso del lago de Montcortés, a las poblaciones fitoplanctónicas situadas a cierta profundidad.

Con respecto a la temperatura (fig. 2) las aguas del lago superan constantemente los 4°C en todo el perfil vertical. En el mes de agosto se observa la formación de una termoclina con un gradiente superior a 1°C/m. Por la distribución de la temperatura podría pensarse que en enero llega a uniformizarse toda la columna de agua, y, sin embargo, de las distribuciones de oxígeno y sulfhídrico

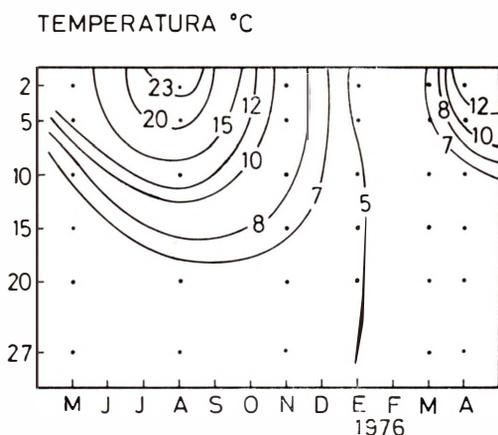


FIG. 2. — Distribución de la temperatura en función del tiempo y de la profundidad. En ésta y en sucesivas figuras los puntos negros indican las muestras estudiadas, interpolándose las isopletras.

(véase más adelante) se desprende que la mezcla nunca es total. Se trata, por lo tanto, de un lago meromítico en el que existe un estrato profundo sin oxígeno a lo largo de todo el ciclo.

## OXÍGENO

Lo más interesante con respecto a la distribución del oxígeno, como ya se ha comentado, es la persistencia de unas condiciones de anoxia total durante todo el ciclo anual, por lo menos a partir de los 18 m (fig. 3). El nivel de anoxia sube en verano (debido al establecimiento de un fuerte gradiente que impide la difusión) y desciende en invierno al uniformizarse hasta los 20 m toda la columna de agua. Se repite también la presencia de unos núcleos de agua de elevada concentración de oxígeno (superior a los 8 ml/l) y cuyo significado por el momento desconocemos, aunque indudablemente contribuyen al agotamiento del oxígeno en los niveles inferiores, pues crean unas condiciones que impiden la libre difusión del oxígeno procedente de la atmósfera al originar un gradiente en sentido inverso.

## ALCALINIDAD Y pH

Los valores de alcalinidad oscilan entre 2,5 y 3,5 mEq/l, con un máximo en el fondo de 4 mEq/l, y los de pH entre 7 y 8,5 (fig. 4). Comparados con los del lago de Ba-

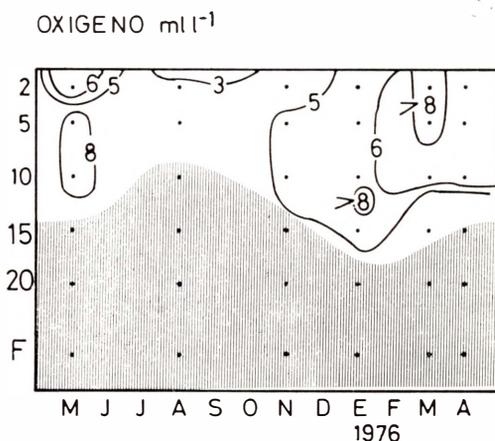


FIG. 3. — Distribución de la concentración de oxígeno disuelto en función del tiempo y de la profundidad. Obsérvese la existencia a lo largo de todo el ciclo anual de una capa anóxica en los niveles profundos (área rayada).

nyoles (PLANAS, 1973), el lago de Montcortès posee una menor reserva alcalina y ello se refleja en variaciones más amplias en el valor del pH.

**NUTRIENTES**

Si se tiene en cuenta que las poblaciones fitoplanctónicas jamás están limitadas en su crecimiento por falta de la fuente de carbono, para explicar la dinámica de un sistema cerrado, como es un lago, es necesario recurrir al análisis de una serie de compuestos químicos no conservativos, imprescindibles para el desarrollo de las células (compuestos inorgánicos de nitrógeno y fósforo, y silicatos en el caso concreto de las diatomeas).

Con respecto a los fosfatos (fig. 5), las concentraciones halladas en el lago de Montcortès no se apartan de las que caracterizan a la mayoría de lagos oligotróficos, siendo muy bajas: valores de  $0,03 \mu\text{g-at/l}$  a  $0,1 \mu\text{g-at/l}$ , aunque estos últimos valores no sean muy fiables puesto que puede interferir el análisis con la presencia de grandes cantidades de sulfhídrico en niveles profundos. La pobreza en la concentración de nutrientes es característica de todas las aguas alcalinas calizas.

Con respecto al comportamiento de los nitratos (fig. 6), las concentraciones suelen situarse por debajo de los  $0,5 \mu\text{g-at/l}$  durante la mayor parte del ciclo, aunque en la época de mezcla se presentan pequeños núcleos con elevada concentración. En una serie de visitas al lago se han estudiado con detalle perfiles, metro a metro, entre los niveles 10 m y 15 m, y se observan curiosamente una súbita desaparición de nitratos a 10 m y una reaparición a los 15 m. Pensamos que ello pueda estar relacionado con la alimentación de agua que llega al lago, pero en la actualidad carecemos de información suficiente para esclarecer este punto. La distribución de los nitritos sigue prácticamente la pauta de la de nitratos. Las concentraciones son también muy bajas y es interesante destacar los pequeños máximos de nitritos que se observan en niveles profundos y que po-

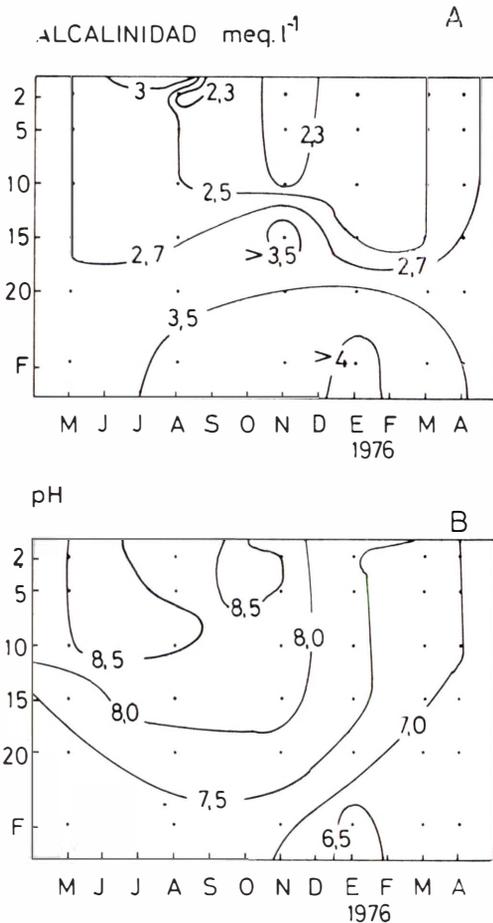


FIG. 4. — A. Distribución de la reserva alcalina en función del tiempo y de la profundidad. B. Distribución del pH en función del tiempo y de la profundidad.

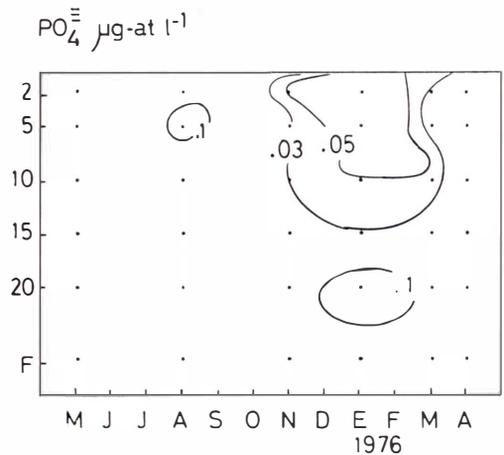


FIG. 5. — Distribución de la concentración de fosfatos en función del tiempo y de la profundidad.

drían estar relacionados con la actividad de las bacterias desnitrificantes.

A pesar de que son pocos los valores de concentración de amonio de que se dispone (véase tabla 1), se observa que éste aumenta en profundidad. Puesto que el ión amonio (al igual que el nitrito) es producto de la actividad de los organismos, su presencia podría estar relacionada con la mineralización de la materia orgánica a niveles profundos. Su acumulación podría ser favorecida por el hecho de que la mezcla invernal nunca llega a implicar a la totalidad de la columna de agua.

La economía del lago de Montcortès plantea un problema sumamente interesante: la existencia de concentraciones muy bajas de los elementos nutritivos considerados tradi-

cionalmente como limitantes de las poblaciones (nitratos sobre todo y también fosfatos), que contrastan con los elevados valores de biomasa (medida como clorofila *a* o como nitrógeno particulado). Sólo podría explicarse por una introducción de nitrógeno en el sistema (fijación de nitrógeno atmosférico, que no parece probable, pues las valoraciones realizadas han sido negativas) o bien por un *turnover* extraordinariamente lento de las poblaciones, lo que facilitaría la presencia de *Oscillatoria rubescens*. También cabe la posibilidad de un *turnover* muy rápido de la fracción de los elementos que está en el medio. En el futuro se piensa abordar esta problemática, pero es interesante pensar en el posible papel del amonio, que está presente en concentraciones muy elevadas y es asimilable con más facilidad que el nitrato.

Con respecto a la concentración de silicato (tabla 1), su distribución en toda la columna se incrementa desde la superficie hasta los 5 m, donde decrece para volver a aumentar rápidamente con la profundidad. Los valores hallados son ligeramente superiores a los del lago de Banyoles.

SULFATOS Y SULFÍDRICO

Las concentraciones de ión sulfato (véase su distribución en la figura 7) son inferiores a los valores citados para el lago de Banyo-

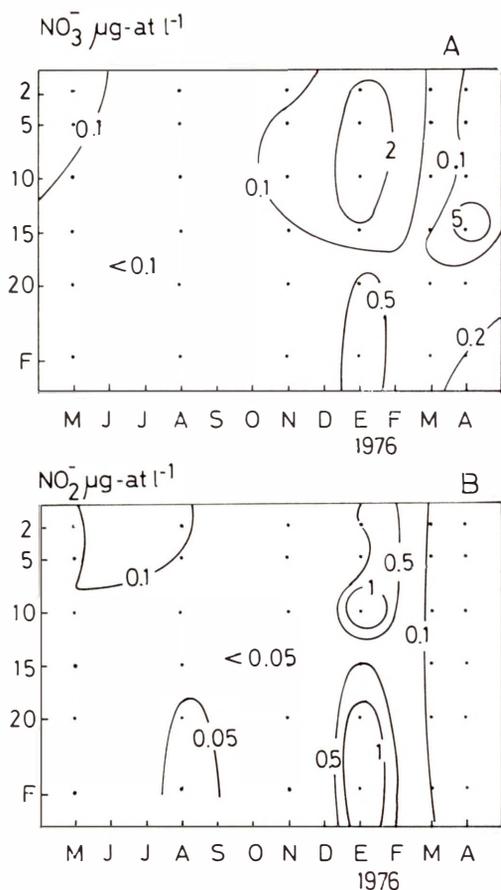


FIG. 6. — A. Distribución del nitrógeno en forma de nitrato, en función del tiempo y de la profundidad. B. Distribución del nitrógeno en forma de nitrito en función del tiempo y de la profundidad.

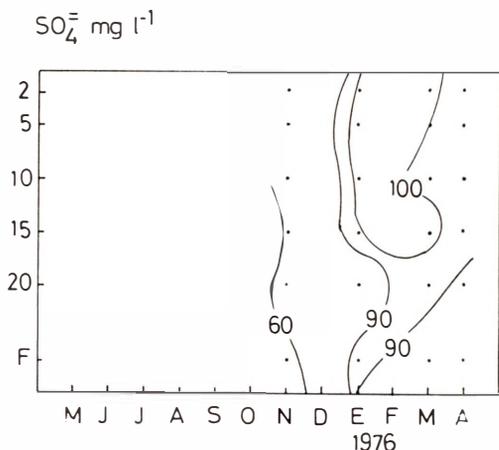


FIG. 7. — Distribución del sulfato en función del tiempo y de la profundidad. Es muy interesante la disminución de la concentración de sulfato en los niveles profundos.

les (PLANAS, 1973), que está alimentado por aguas subterráneas que circulan por estratos de yesos eocénicos. En el lago de Montcortès la entrada de agua sólo se produciría parcialmente por estratos yesosos o quizá se realiza a través de estratos calizos, y entonces la concentración de sulfatos sería debida a la disolución de los compuestos yesosos de la cubeta.

En profundidad se observa una disminución en la concentración de sulfatos, y ello es coherente con la idea de que la entrada de agua se produzca a un nivel intermedio y no por el fondo; la anoxia total en las capas más profundas crearía unas condiciones óptimas para la activación de las bacterias sulfatorreductoras.

Efectivamente, la concentración de sulfhídrico aumenta ostensiblemente en los niveles profundos (véanse en la tabla 2 los valores de sulfhídrico analizados hasta el momento). Sin embargo, tal como se comentará más adelante, no ha sido posible relacionar estas elevadas concentraciones de sulfhídrico con la presencia masiva de bacterias sulfatorreductoras. La no uniformización de los valores durante la época de mezcla refuerza la idea de que la mezcla no afecta a toda la columna de agua.

TABLA 2. — Concentración de sulfhídrico, en  $\mu\text{g-at/l}$ .

Nivel	Marzo 1976	Abril 1976
0	0,55	0,0
2	0,45	0,0
5	0,45	0,0
10	0,85	0,0
15	0,85	33,75
20	212,87	257,96
F	598,43	413,10

#### BIOMASA Y PRODUCCIÓN DEL FITOPLANCTON

**Pigmentos.** Los valores de concentración de clorofila *a* hallados son muy elevados (por encima de los  $3 \text{ mg m}^{-3}$ ), excepto en algunos niveles de la estación correspondien-

#### CLOROFILA $\text{mg. m}^{-3}$

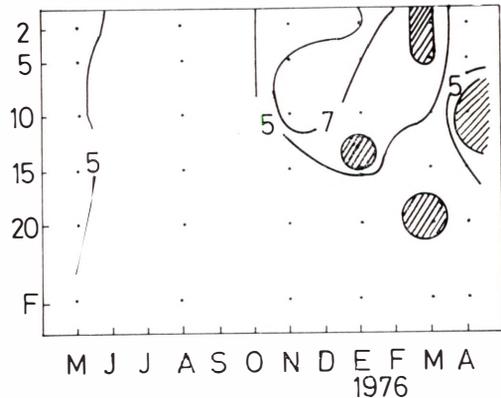


FIG. 8. — Distribución de la concentración de clorofila *a* en función del tiempo y de la profundidad. (El área rayada corresponde a concentraciones superiores a  $8 \text{ mg m}^{-3}$ .)

te al mes de enero (fig. 8). La máxima concentración en la zona fótica ocurre durante el mes de marzo (unos  $8 \text{ mg m}^{-3}$ ) si no se tiene en cuenta un máximo aislado a 10 m encontrado en el mes de abril (de casi  $20 \text{ mg m}^{-3}$ ). En el mes de agosto se observa un empobrecimiento en biomasa fitoplanctónica en los primeros niveles: ello puede estar relacionado con los desplazamientos de las masas de *Oscillatoria*, que ya han sido comentados. Es difícil discernir si estas elevadas concentraciones de clorofila *a*, detectadas en niveles en los que la luz prácticamente no penetra, se deben atribuir a for-

#### D430/D665

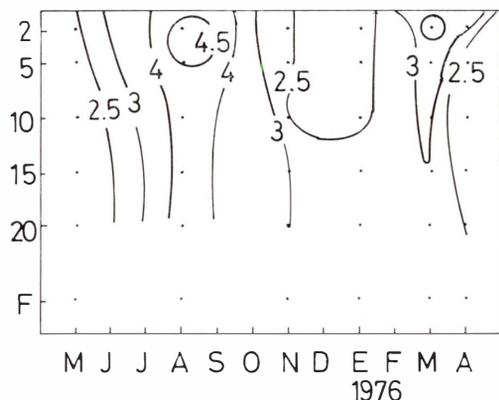


FIG. 9. — Distribución de los valores del índice  $D_{430}/D_{665}$  en función del tiempo y de la profundidad.

mas activas o no del pigmento. En realidad, y de acuerdo con las condiciones reductoras de los niveles profundos, creemos que se producen acumulaciones por sedimentación; por ejemplo, en el mes de enero se localizaron  $17,4 \text{ mg m}^{-3}$  de clorofila *a* a 27 m.

Los valores del índice  $D_{430}/D_{665}$  se mantienen constantemente bajos (de 2,5 a 3), excepto en el mes de agosto, en que, coincidiendo con un empobrecimiento en las concentraciones de clorofila *a* en los niveles superiores, el índice aumenta hasta un valor máximo de 4,6 (fig. 9). Estos valores bajos en el índice  $D_{430}/D_{665}$  se corresponden con poblaciones en fase activa de crecimiento y en buen estado fisiológico, no limitadas por la concentración de algún nutriente. Una vez más, este dato choca con los bajos niveles de nutrientes detectados en el lago de Montcortès.

**Nitrógeno particulado.** En realidad, parte de la información suministrada por la determinación del nitrógeno particulado es redundante con los análisis de contenido en clorofila *a*, pero sirve para confirmar algunos resultados sorprendentes. Así, el máximo de clorofila *a* en el nivel de 10 m en la visita de abril se corresponde asimismo con el máximo de nitrógeno ( $30,1 \mu\text{g-at/l}$ , véase tabla 1). La relación nitrógeno particulado/clorofila *a* proporciona generalmente valores inferiores a 2, lo que indica una preponderancia de material fitoplanctónico (VALLESPINÓS y ESTRADA, 1975), que se confirma por la extraordinaria pobreza de las poblaciones de zooplancton establecidas en el lago de Montcortès (véase más adelante). Los valores elevados del índice (superiores a 3) se relacionan con la presencia masiva de zooplancton en determinados niveles o bien con la presencia de materiales de degradación en los que, como se sabe, aumenta la proporción de nitrógeno. Los escasos datos de que se dispone por el momento no proporcionan base suficiente para tratar de explicar la variación experimentada por los valores de nitrógeno particulado a lo largo del ciclo anual.

**Producción primaria.** Los valores de producción primaria, medidos por el método del  $^{14}\text{C}$  tal como se ha indicado, son aproxima-

damente del mismo orden de magnitud que los hallados en el lago de Banyoles. En cambio, la eficiencia, medidas en  $\text{mg C/mg clor } a \text{ h}$ , que en el lago de Banyoles es francamente superior a 1 (valor máximo 11,6), en Montcortès se sitúa siempre por debajo de 1, lo que hablaría en favor de un *turnover* lento en las poblaciones fitoplanctónicas, compuestas sobre todo por *Oscillatoria rubescens*.

Puesto que la transparencia es muy escasa, se han proyectado una serie de experiencias similares a las realizadas en aguas del NW de África (ESTRADA, 1974) para determinar si las poblaciones se hallan limitadas por la falta de luz. El experimento consiste en obtener agua de tres niveles distintos (2, 5 y 10 m) e incubar partes alícuotas de cada una de las muestras en los tres mismos niveles (el suyo propio y los dos restantes). En la figura 10 se consignan los resultados obtenidos en una de las salidas. Tal como era de esperar, se aprecia un aumento con-

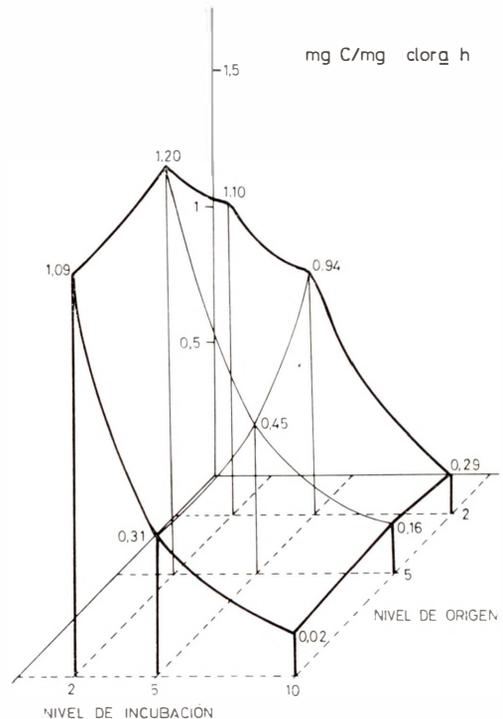


FIG. 10. — Eficiencia (medidas en  $\text{mg C/mg clor } a \text{ h}$ ) para muestras de tres niveles (2, 5 y 10 m) incubadas todas ellas a estos mismos niveles. Se observa que las poblaciones de fitoplancton de niveles profundos están limitadas por la luz.

siderable de la eficiencia al incubar las muestras a un nivel superior al suyo original (muestras incubadas más cerca de la superficie que su nivel de procedencia). Sin embargo, se nos escapa la razón por la que su rendimiento es superior al de las algas que están habituadas a trabajar a estas condiciones de luz. Al disponer de más datos será posible abordar convenientemente este problema.

## FITOPLANCTON

A pesar de la biomasa elevada, el fitoplancton del lago de Montcortès se caracteriza por una gran pobreza de especies y por la presencia masiva de filamentos de *Oscillatoria rubescens*. Aparte de *Cyclotella comta*, que también es muy abundante, las diatomeas están muy poco representadas (*Achnantes minutissima*, *Cymbella* sp. y *Synedra* sp.). Otras especies presentes además de las citadas son: *Ceratium hirundinella*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Oocystis solitaria*, *Trachelomonas pulcherrima*, *Peridinium* sp., *Gomphosphaeria* sp. y *Rhodomonas* sp.

## ZOOPLANCTON

Lo mismo que el fitoplancton, el zooplancton del lago de Montcortès es de una gran pobreza de especies, siendo las poblaciones

litorales mucho más ricas que las de aguas libres. Las especies más abundantes son *Bosmina longirostris*, *Daphnia longispina* y *Keratella quadrata*. Otras especies acompañantes identificadas son: *Alona guttata*, *Alona* sp., *Chydorus sphaericus*, *Ceriodaphnia* sp., *Macrocyclus fuscus*, *Megacyclus viridis*, *Kellicottia longispina*, *Polyarthra vulgaris* y *Mytilina mucronata*.

A pesar de que la información no es mucha, se puede indicar que en el mes de abril existe gran concentración de *Keratella quadrata* (177,6 individuos por litro) al nivel de 10 m, junto con ciclópodos (8 individuos por litro) en forma de nauplio. La mayoría de las *Keratella* estaban provistas de un huevo, por lo que puede considerarse que la reproducción era intensa en esta época del año. En el muestreo de noviembre eran mucho más abundantes los individuos de *Daphnia longispina* que los de *Bosmina longirostris*, pero posteriormente se invierten las relaciones de abundancia relativa entre los dos cladóceros. En ambos casos se trata de individuos hembra, siempre provistos de huevos en la cámara incubadora.

En el mes de abril se realizaron pescas cuantitativas nocturnas y diurnas (tabla 3), observándose que los individuos de los géneros *Keratella* y *Bosmina* presentan una tendencia a ascender por la noche a niveles superiores.

TABLE 3.—Pescas de zooplancton nocturnas y diurnas, a tres niveles, en el muestreo de abril de 1976. Obsérvense las migraciones experimentadas por algunas especies.

Especie	Nivel (metros)	Pesca diurna (ind./litro)	Pesca nocturna (ind./litro)
Ciclópodos	2	1,87	0,75
<i>Keratella quadrata</i>		0,12	15,25
<i>Daphnia longispina</i>		0,25	—
<i>Bosmina longirostris</i>		11,37	49,25
Ciclópodos	5	1,62	2,50
<i>Keratella quadrata</i>		0,12	4,25
<i>Daphnia longispina</i>		0,50	0,12
<i>Bosmina longirostris</i>		41,75	47,25
Ciclópodos	10	8,12	6,00
<i>Keratella quadrata</i>		177,62	115,37
<i>Bosmina longirostris</i>		13,37	3,37

TABLA 4. — Concentraciones bacterianas de los distintos grupos fisiológicos estudiados. Para más detalles, véase texto.

TABLA 4 a. — Bacterias heterótrofas aerobias y facultativas, capaces de crecer en un medio muy rico (agar ordinario) y a 30°C (número de colonias por mililitro).

	Niveles (metros)					F
	0	2	5	10	15	
Noviembre 1975	80	100	100	240	70	40
Enero 1976	320	3820	220	150	150	50
Abril 1976	50	100	100	50	80	260

TABLA 4 b. — Bacterias reductoras de sulfatos, en NMP de células por mililitro. Únicamente se han ensayado los niveles más profundos y en dos medios de cultivo distintos.

	Medio C de Postgate		Medio de Baars	
	15 metros	Fondo	15 metros	Fondo
Noviembre 1975	5,6	10,7	no se ensayó	
Enero 1976	1,1	1,9	2	12,8

TABLA 4 c. — Bacterias desnitrificantes organotrofas, en NMP de células por mililitro. Fuente de carbono, etanol.

	Niveles (metros)			
	2	5	10	15
Enero 1976	21	0	2,8	1,9
Febrero 1976	9,3	27	—	14
Marzo 1976	0	0	—	0

## BACTERIAS

Se han llevado a cabo recuentos en medio rico como indicadores de flora heterótrofa aerobia y en medios específicos para determinar la presencia de grupos fisiológicos muy caracterizados (véase tabla 4). Con respecto a las primeras se observa que en general los niveles más ricos son los de mayor concentración de oxígeno y en los que cabe suponer una mayor actividad fotosintética. Las reductoras de sulfato abundan en los niveles profundos, en los que la concentración de sulfhídrico es mayor. Sin embargo, el número de bacterias reductoras no es tan elevado como cabría esperar y ello se debe quizá a que las condiciones del medio de cultivo no sean las óptimas. Finalmente, el modelo de distribución de las bacterias desnitrificantes no se ajusta a los niveles de falta de oxígeno. No obstante, mediante una se-

rie de experiencias de laboratorio se ha demostrado que las bacterias aisladas con este medio son realmente desnitrificantes, por lo que cabría pensar que, o bien se trata de organismos con metabolismos facultativos, o bien están ligados a la presencia de microambientes. Es asimismo interesante el hecho de que en el muestreo del mes de abril no apareciera ninguna desnitrificante en toda la columna de agua.

## CONCLUSIONES

1. El lago de Montcortès es un lago meromíctico de cubeta única y cástica. Durante todo el ciclo anual persiste una zona completamente anóxica como mínimo a partir de los 20 metros.

2. La concentración de nutrientes (nitratos y fosfatos) es muy baja durante todo el ciclo anual; sin embargo, en los niveles pro-

fundos existen concentraciones muy elevadas de amonio. En cambio, la biomasa fitoplanctónica es muy elevada (sobre todo debido a la presencia masiva de *Oscillatoria rubescens*, siendo muy pobre en otras especies).

3. La penetración de la luz es muy baja e influye en la producción primaria de los niveles a partir de los cinco metros; la eficiencia de las poblaciones de algas sometidas a un stress lumínico aumenta al ser incubadas a niveles con más luz.

4. Las poblaciones de zooplancton son también muy pobres; la relación nitrógeno particulado/clorofila es muy baja, indicando por lo tanto la preponderancia del fitoplancton.

5. Las condiciones de anoxia, elevadas concentraciones de amonio y de sulfhídrico en los niveles profundos confirman la intervención de poblaciones bacterianas de actividad fisiológica reductora.

### SUMMARY

THE LAKE OF MONTCORTÈS, DESCRIPTION OF AN ANNUAL CYCLE. — This small lake is in NE Spain (Lérida) at 1065 m a.s.l. The origin of the single basin is karstic, and the maximum depth is 30 m. Parameters measured were: temperature, transparency, total alkalinity, pH, nutrients (nitrates, nitrites, ammonia, phosphates and silicates), sulphates, hydrogen sulphide, oxygen, phytoplankton pigments, particulate nitrogen, primary productivity, phytoplankton and zooplankton, and abundance of bacteria. Plots of the distribution of these parameters are given. The

temperature is always above 4°C; the dissolved oxygen is depleted in the bottom. The vertical mixing (winter) does not reach the lake bottom. The nitrate and phosphate concentrations are low, but chlorophyll *a* and particulate nitrogen concentrations reach values higher than 5 mg m<sup>-3</sup> and 10 µg-at/l in the euphotic zone (except in summer). The pigments diversity (D<sub>430</sub>/D<sub>665</sub>) was low. The maximum lake's productivity was 12 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>. The dominant species in the plankton is *Oscillatoria rubescens*.

### BIBLIOGRAFÍA

- ESTRADA, M. — 1974. Photosynthetic pigments and productivity in the upwelling region of NW Africa. *Téthys*, 6: 247-260.
- KOROLEFF, F. — 1969. Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. *Cons. Int. Explor. Mer.*, Cm 1969/G: 9.
- MARGALEF, R. — 1950. Datos para la hidrobiología del estanque de Montcortès (provincia de Lérida). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 48: 209-218.
- 1960. Valeur indicatrice de la composition des pigments du phytoplancton sur la productivité, composition taxonomique et propriétés dynamiques des populations. *Rapp. Proc. Verb. CIESMM*, 15: 277-281.
- MIRACLE, M. R. — 1976. Distribución en el espacio y en el tiempo de las especies del zooplancton del lago de Banyoles. *ICONA*, Monografía n.º 5.
- PLANAS, M. D. — 1973. Composición, ciclo y productividad del fitoplancton del lago de Banyoles. *Oecologia aquatica*, 1: 3-106.
- STEEMANN-NIELSEN, E. — 1952. The use of radioactive carbon (<sup>14</sup>C) for measuring organic production in the sea. *Journ. Cons. Int. Explor. Mer.*, 18: 117-140.
- TALLING, J. F., & DRIVER, T. R. — 1963. Some problems in the estimation of chlorophyll *a* in phytoplankton. *Proceedings Conference of Primary Productivity measurement, marine and fresh-water*. Hawaii, 1961. U. S. Atomic Energy Comm.
- VALLESPINÓS, F., & ESTRADA, M. — 1975. Nitrógeno particulado en la región del NW de África. Distribución y relación con otros parámetros. *Res. Exp. Cient. B/O Cornide*, 4: 131-143.