

ESTUDIO COMPARADO DE PARÁMETROS DE EUTROFIZACIÓN EN RECINTOS EXPERIMENTALES DE LA LAGUNA DEL VILAR (BANYOLES)

R.C. Brunet, J. García-Gil & C.A. Abellà

Universitat Autònoma de Barcelona. Institut d'Ecologia Aquàtica. Pl. Hospital, 6. 17071 Girona

RESUM

En aquest treball es presenten els resultats de l'examen de diversos paràmetres limnològics relacionats amb l'eutròfia —en l'estanyol del Vilar i en un recinte experimental de gran volum— durant dos períodes, equivalents en el temps, de dos anys consecutius. Els resultats posen de manifest la importància de la fertilització a través d'escorrentia superficial com un dels factors que més contribueix a l'estat d'eutròfia en què es troba l'estanyol del Vilar.

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados del examen de diferentes parámetros limnológicos relacionados con la eutrofia —en la laguna del Vilar y en un recinto experimental de gran volumen— durante dos períodos equivalentes de tiempo separados por un año. Los resultados señalan la importancia de la fertilización a través de escorrentia superficial como el factor que más contribuye al estado eutrófico en que se encuentra la laguna del Vilar.

ABSTRACT

In this work, data of different limnological parameters are examined during two equivalent time periods, which are separated by one year in both Vilar Lake and experimental large enclosure. The results point out the importance of superficial input of nutrients as the main factor for explaining the present eutrophication of Lake Vilar.

Key words: Chlorophyll *a*, biofilm, eutrophication processes, limnocorrals, nutrients, phytobentos, phytoplankton.

INTRODUCCIÓN

La laguna del Vilar es la mayor y más frecuentada de las lagunas que acompañan el lago de Banyoles. Alcanza los 170 m de largo con una anchura máxima de 81 m, encierra un volumen de 53,832 m³ y ocupa 12,435 m² de superficie. Morfoló-

gicamente se compone de dos cubetas o hundimientos, con áreas ocupadas por sedimento que se mantiene en suspensión por acción del flujo ascendente de agua que alimenta la laguna (Casamitjana, 1989). En estas zonas, la profundidad de la columna de agua oscila normalmente entre 8 y 10 m, mientras que la potencia del sedimento en suspensión es de al menos 50 m en la cubeta sur de la laguna (Fig. 1 y 2).

Su morfología, la baja tasa de renovación del agua, y el hecho de que ésta sea sulfatada, posibilita el establecimiento de una meromixis crenogénica. Esto facilita la

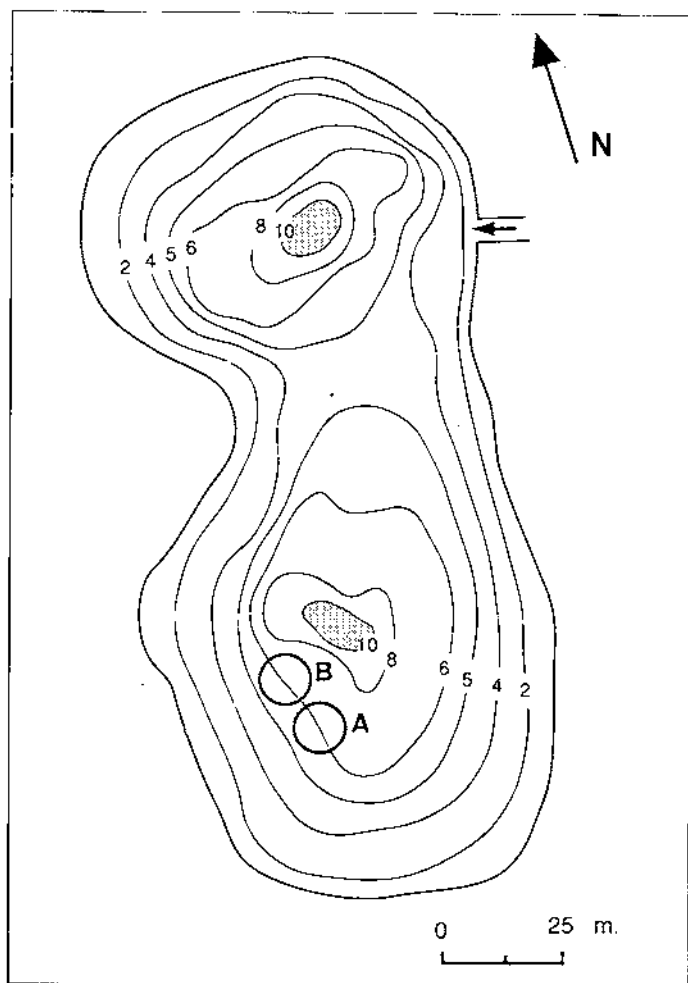


Figura 1. Mapa batimétrico de la laguna del Viñar (Abellà, 1980). El área sombreada corresponde a la zona ocupada por sedimento en suspensión. Se indica la posición de ambos limnocorrales.

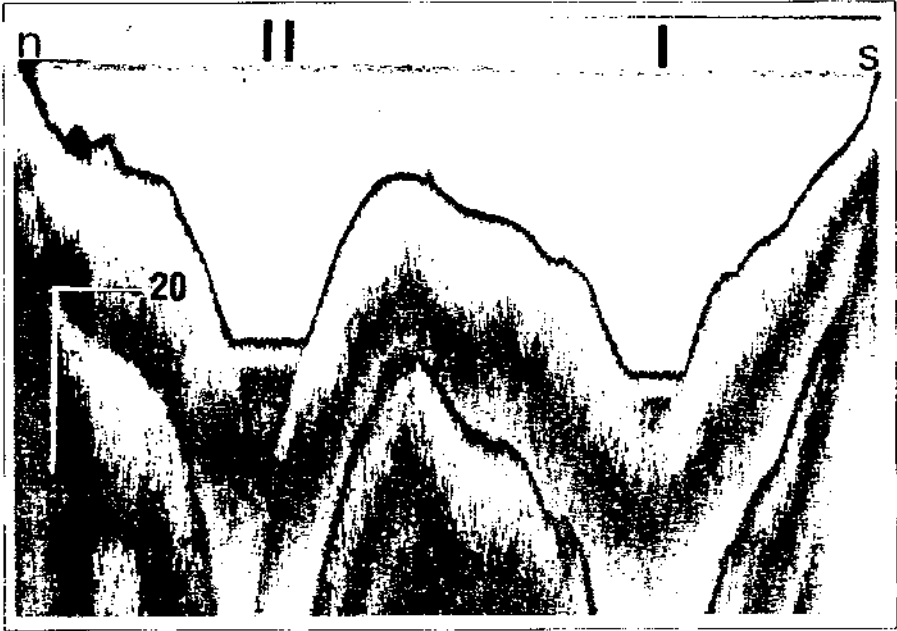


Figura 2. Perfil de ecosondación en dirección norte-sur de la laguna del Vilar. El perfil rectilíneo en el fondo de cada una de las cubetas, indica la interfase agua-sedimento en suspensión.

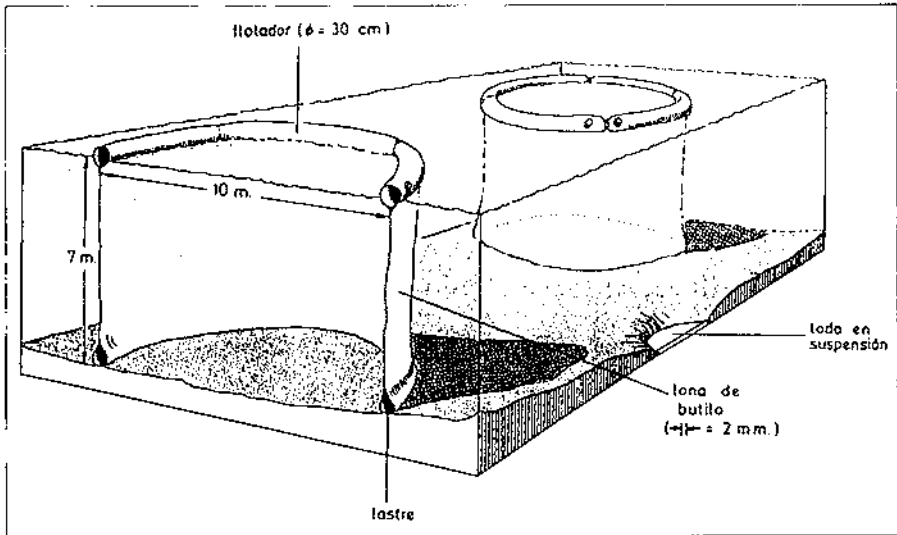


Figura 3. Esquema de la estructura y colocación de los recintos experimentales (limnocorales).

presencia de condiciones anóxicas en el monimolimnion, que difunden hacia la superficie entrado el verano, ocupando todo el hipolimnion hasta los 4 m de profundidad.

En 1987 se instalaron en la cubeta sur de la laguna del Vilar dos limnocorrales o tubos de Lund, que permiten disponer de sendos volúmenes experimentales con objeto de ensayar distintos sistemas de recuperación de la laguna.

Durante los trabajos preliminares a la intervención en los limnocorrales se comprobó que ambos experimentaban un gran aumento en la transparencia del agua.

Ante la posibilidad de que este aumento en la transparencia respondiese a un cambio de población del fitoplancton y a la colonización perifítica (Wanner, 1986) en las paredes internas de los limnocorrales —sin disminución de la biomasa— se diseñó un experimento para estudiar si la biomasa en los limnocorrales era menor que en el resto de la laguna.

MATERIAL Y MÉTODOS

Características físico-químicas y biológicas

Los puntos de muestreo escogidos fueron la zona de máxima profundidad en la cubeta-I (sur) de la laguna del Vilar y el interior del limnocorral A.

Los recintos experimentales fueron colocados a una profundidad de 6,5-7,5 m en la cubeta sur de la laguna del Vilar (Fig. 1). Tienen forma tubular con 10 m de diámetro por 8 m de altura; encierran por tanto un volumen aproximado de 590 m³ de agua. El material empleado para su confección fue lámina de butilo de 2 mm de espesor, que evita la difusión de gases entre la columna confinada y el resto de la laguna. Para garantizar su flotación, éstos se construyeron provistos de cuatro cámaras neumáticas independientes en su parte superior. Asimismo el borde inferior de los tubos contiene un círculo de cadena que los lastra y garantiza su fijación y penetración en el sedimento (Fig. 3).

Las variables medidas fueron: conductividad (YSI modelo 33), temperatura (Crison T-637), extinción de la luz (célula fotoeléctrica Megatron tipo B) y oxígeno disuelto (YSI modelo 57). En función del perfil de estas variables se procedía al muestreo estratificado de la columna de agua con una bomba eléctrica aspirante/impelente Wilcox CF conectada a un doble cono (Jørgensen et al., 1979).

Una vez fijadas las muestras para el análisis de sulfhídrico con SAOB (Sulfide Antioxidizing Buffer), éste se cuantificaba mediante un electrodo de Ag⁺/Ag₂S Orion Research modelo 94-16 (Baumann, 1974). Las concentraciones de amonio y de nitratos en agua se determinaron mediante los electrodos selectivos de Orion Research 95-12 y 93-07 respectivamente. La concentración de nitritos se determinó por el método colorimétrico de Strickland & Parsons (1968).

Los pigmentos fotosintéticos se cuantificaron mediante análisis espectrofotométrico (Spectronic 2000 Bausch & Lomb) obtenido a partir de la filtración de fitoplancton según Montesinos (1982).

Para la determinación del peso seco en muestras de agua se procedió al filtrado

sobre filtros de fibra de vidrio (Whatman GF/F), de un volumen determinado de agua. Se procedía al secado de filtro en una estufa a 105 °C durante 24 horas y se determinaba el peso en una balanza Sartorius GMBH tipo 1601.

Cuantificación de clorofila en el limnocorral

Para determinar la clorofila presente en los limnocorrales se procedió de formas distintas:

1. Determinación de la clorofila-a fitoplanctónica: Se procedió cuantificando el extracto acetónico de un volumen filtrado sobre filtros de membrana de 0,45 µm de poro.

2. Determinación de la clorofila asociada a la colonización algal de la superficie interna del limnocorral: en primer lugar se dispusieron verticalmente en el limnocorral A, 4 baterías compuestas por 6 láminas de PVC de 20 x 20 cm cada una, separadas por 1 metro de distancia entre ellas. Las baterías se colocaron diametralmente equidistantes entre sí en el interior del limnocorral. Además se dispuso una batería fuera del limnocorral, que actuaba como control.

La láminas estuvieron instaladas durante el mes de enero de 1988, tras lo que se procedió a la cuantificación ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) del extracto acetónico (5 mL) conseguido por maceración del raspado de 100 cm² de cada una de las superficies experimentales. Posteriormente se calculó la cantidad de clorofila en miligramos correspondiente a cada uno de los cuatro sectores que integran el limnocorral.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución comparada entre la laguna y el limnocorral durante dos periodos sucesivos

En la Tabla 1 se exponen los valores medios integrados de diferentes indicadores limnológicos.

En el período que va desde el 11-12-1987 al 15-5-1988 las concentraciones integradas para el monimolimnion de productos reducidos (sulfhídrico y amonio), son considerablemente menores que en el período anterior (24-12-1986 al 18-6-1987). Este hecho se puede relacionar con la intensidad —gradiente y valor absoluto de conductividad— de la meromixis, considerablemente menor en el último período (0,72-1,45 mS.cm⁻¹) que en el anterior (1,5-1,7 mS.cm⁻¹).

En términos generales se observa que la transparencia en ambos, la laguna del Vilar y el limnocorral A, es mucho mayor en el período 1986-87 que en el 1987-88. Este hecho concuerda con la tendencia de la concentración integrada de clorofila *a* y nitrato, que presentan también en el período 1986-87, concentraciones cercanas a la mitad de las correspondientes en 1987-88.

Por tanto, hay una contradicción aparente entre la coexistencia de valores elevados de parámetros indicadores de elevado nivel trófico (clorofila *a*, NO₃⁻, coe-

ficiente de extinción de la luz, η) y concentraciones menores —cercanas a la mitad— de productos reducidos en el monimolimnion.

Como hipótesis se podría mantener que el establecimiento de condiciones meromíticas propicia la producción de compuestos reducidos en mayor intensidad, mientras que las condiciones tróficas del mixolimnion parecen responder a otros procesos, como la fertilización superficial.

Por otra parte, la concentración integrada de nitrito, y a diferencia de la mayoría de las variables, presenta unos valores en el período 1986-87 cercanos al doble de la cantidad registrada en 1987-88. Se podría suponer que la actividad desnitrificadora fuera superior en el período 1986-87 que en el 1987-88.

Dinámica comparada entre la laguna del Vilar y el limnocorral A durante el período 1987-88

En la Tabla 2 se indican la integración de distintos parámetros indicadores del estado trófico y del aporte externo, tanto en la laguna del Vilar como en el limnocorral A. En general, se aprecia que los productos reducidos del monimolimnion (sulfhídrico y amonio), así como el contenido en nitrato y nitrito, presentan concentraciones menores en el tubo A que en el resto de la laguna. Son especialmente

Tabla 1. Valores medios integrados de distintos parámetros limnológicos en la laguna del Vilar y el limnocorral-A durante los períodos diciembre-junio de 1987 y diciembre-mayo de 1988.

24-12-86 18-06-87	S ²⁻ (mmol.m ⁻³)	NH ₄ ⁺ (mmol.m ⁻³)	NO ₃ ⁻ (1) (mmol.m ⁻²)	NO ₂ ⁻ (1) (mmol.m ⁻²)	Clor. a (3) (mg.m ⁻²)	Cf.Ext.Luz (m ⁻¹)
Vilar-I	439,00	515,29	33,16(2)	15,41	34,92	0,468
Limnocorral-A	201,19	267,18	20,23(2)	15,32	31,86	0,587
11-12-87 15-05-88						
Vilar-I	78,11	186,56	47,22	7,83	54,58	0,949
Limnocorral-A	73,01	148,10	36,37	6,14	65,80	0,815

(1) Integración de 0-4 m. (2) Período 26-02-87 al 18-06-87. (3) Integración hasta el 10% de la luz incidente.

Tabla 2. Valores medios integrados de distintos parámetros limnológicos en la laguna del Vilar y el limnocorral-A durante el período 11-12-87 al 29-03-88.

	S ₂ (mmol.m ⁻³)	NH ₄ ⁺ (mmol.m ⁻³)	NO ₃ ⁻ (mmol.m ⁻²)	NO ₂ ⁻ (mmol.m ⁻²)	Clor. a (mg.m ⁻²)	P.seco (g.m ⁻³)	P.sec./Clor.a (g.m ⁻³)	Cf.Ext.luz (m ⁻¹)
Vilar-I	57,38	187,15	47,43	8,48	54,10	16,55	6,26	1,055
Limnoc.-A	51,48	141,09	35,87	6,69	70,52	10,01	10,66	0,837

significativas de esta situación la penetración de la luz (transparencia) y el peso seco en las muestras de agua.

La Fig. 4 manifiesta las diferencias entre los valores integrados de peso seco del agua de la laguna ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) y del limnocorral. Se aprecia que el contenido integrado de sólidos en suspensión (seston) en el Vilar es de una 1,4 a 2,4 veces superior que en el tubo-A. Este hecho, junto con la escasa variación del rango ($9,75\text{-}7,65 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$) en las muestras de tubo A, demuestra que, excepto en el muestreo de abril, el limnocorral A se mantiene constante respecto al peso seco.

Los valores del mes de abril pueden explicarse por el aumento de biomasa algal ($87,26 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ de clorofila *a* en el tubo A y $47,66$ en el Vilar). Se supone que la mayor variabilidad en peso seco ($13,08\text{-}23,15 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$) en el Vilar indica la ocurrencia puntual de aportes orgánicos y minerales en la laguna. Como dato ilustrativo, el muestreo de diciembre (10-12-1987) fue precedido por intensas precipitaciones (3/5-12-1987) del orden de $40 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}$, con la consecuente inundación y aporte por escorrentía.

Sin embargo, cabe destacar que tanto la concentración de clorofilas como la del cociente *Clor. a*/peso seco, presentan valores mayores en el limnocorral que en la laguna libre. Ante este hecho, cabe esperar la existencia en el interior del

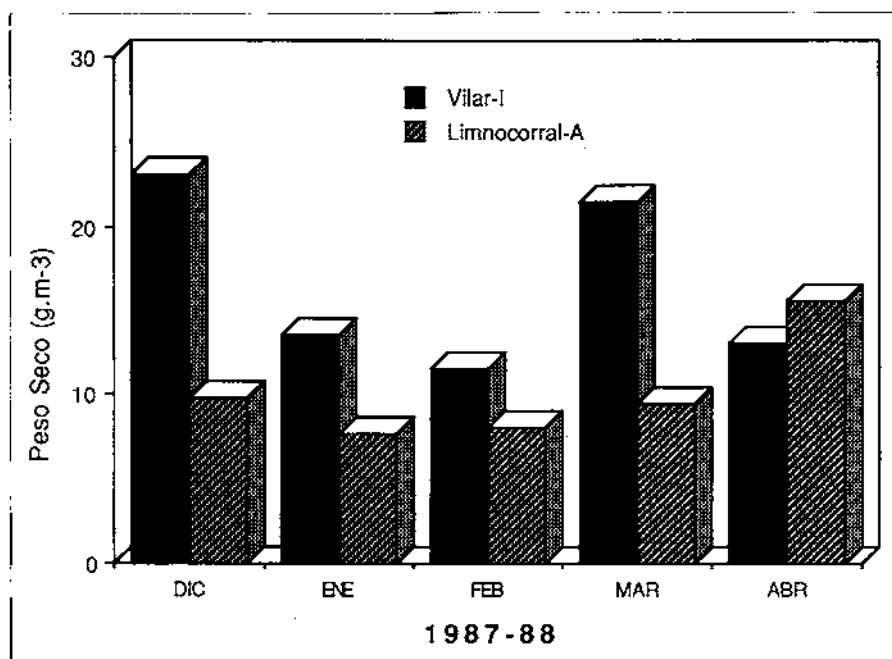


Figura 4. Evolución temporal del peso seco ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) integrado en la columna de agua de la laguna del Vilar y el limnocorral A.

tubo A de una población fitoplanctónica distinta, adaptada a concentraciones menores de nutrientes, más madura, pero con un contenido específico en clorofila-a mayor. Esta población responde a una dinámica diferente de la exterior al limnocorral A.

Clorofilas fitoplanctónicas y fitobentónicas

Los resultados de la cuantificación de clorofilas fitobentónicas son similares a lo largo de los cuatro puntos muestreados. Además, todos ellos difieren considerablemente de los resultados obtenidos en las láminas colocadas en el agua libre de la laguna del Vilar. Los dos sistemas estudiados (limnocorral A y laguna del Vilar-I) muestran diferencias en cuanto al desarrollo de las comunidades fitobentónicas y fitoplanctónicas. En la Fig. 5 se observa cómo en el limnocorral A existe una predominancia de fitobentos sobre el fitoplancton, el cual se distribuye uniformemente por toda la columna con valores que no superan los $4 \mu\text{g.L}^{-1}$. En la laguna, por el contrario, es el fitoplancton quien tiene mayor peso específico en la composición de las comunidades algales. El fitobentos aparece sólo en las láminas situadas cerca de la superficie (0-1 m) con valores inferiores a 10 mg, en cambio el fitoplancton quintuplica los valores en el limnocorral A, destacándose un pico a 3 m de $35 \mu\text{g.L}^{-1}$.

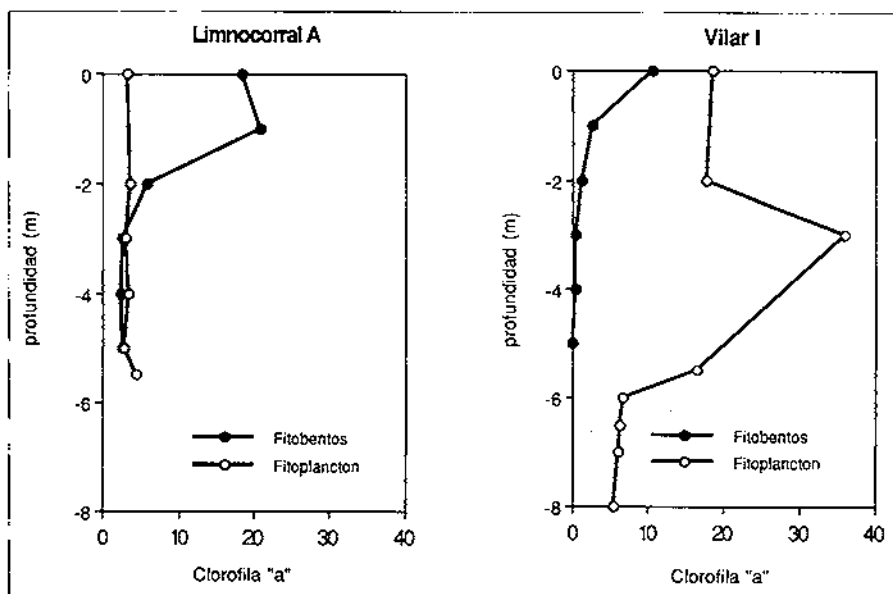


Figura 5. Distribución vertical de la clorofila-a correspondiente a la comunidad fitobentónica (mg) y a la fitoplanctónica ($\mu\text{g.L}^{-1}$) en el limnocorral A y en la laguna de Vilar (enero de 1988).

De estos resultados se deduce que el fitobentos podría tener ventaja en sistemas cerrados con nivel bajo de nutrientes y de turbulencia. Desde este punto de vista puede pensarse que, para el desarrollo de las comunidades fitoplanctónicas, es importante tanto la presencia de nutrientes como la existencia de cierta turbulencia, que les permite mantenerse en suspensión y tener una mayor accesibilidad a los nutrientes. Por otro lado, el fitobentos parece mejor adaptado a condiciones de baja turbulencia. En algunos casos los organismos que componen ambas comunidades pueden ser los mismos, con capacidad de crecer tanto en forma bentónica como planctónica. Finalmente, debe tenerse en cuenta que, independientemente de la importancia relativa de ambas comunidades, el Vilar-I presenta en términos absolutos una mayor concentración de clorofila *a*, aspecto que se discute más adelante.

Los análisis de los espectros de absorción de los pigmentos fitobentónicos, muestran dos tipos distintos de carotenoides. Los correspondientes a algas situadas cerca de la superficie presentan un máximo de absorción a 430 nm, mientras que a más profundidad (a partir de 3 m) dicho máximo se localiza entre 408 y 410 nm. Esto puede obedecer a un cambio con la profundidad en la composición específica de la población fitobentónica o bien a una modificación en sus pigmentos.

En la Tabla 3 se presentan los resultados integrados relativos a la clorofila precedente de las superficies colonizadas de los limnocorrales, relacionados con la clorofila *a* fitoplanctónica en el limnocorral A y en la laguna. Se manifiesta una mayor concentración de clorofila *a* fitoplanctónica en la laguna del Vilar, que en el limnocorral A. Este hecho es explicable por el aislamiento del limnocorral A frente a nutrientes y materia orgánica.

Por lo que respecta al contenido total en clorofila *a* extraída de las superficies experimentales de PVC, se puede observar una gran colonización en la pared interior del tubo A respecto a la cantidad moderada que supondría una superficie equivalente en el agua libre de la columna de la laguna. Posiblemente, la menor turbulencia del agua, así como el propio efecto de biofilm (Marshall, 1976) de los limnocorrales, pueden explicar este hecho.

Tabla 3. Valores de clorofila perifítica y fitoplanctónica integrada en la laguna del Vilar y el limnocorral-A.

	Vilar-I	Limnocorral-A
Clor. <i>a</i> Perifítica (mg)	60,00	211,30
Clor. <i>a</i> Fitoplanctónica (g)	2,84	0,55
Tasa de Colonización (mg.día ⁻¹)	2,07	7,29
Clor. <i>a</i> Total (g)	2,90	0,76
Porcentaje:		
Clor. <i>a</i> Perifítica	2,07	27,73
Clor. <i>a</i> Fitoplanctónica	97,93	72,27

Cabe señalar que la estabilidad derivada de las condiciones de aislamiento del limnocorral dificulta la circulación vertical de nutrientes desde el sedimento. El reflejo de esta diferencia entre el limnocorral y el exterior sobre la biomasa algal en ambas columnas no se ha cuantificado en el presente estudio.

La cantidad total de clorofila *a* (suma de la fitobentónica más la fitoplanctónica) es mucho mayor en el agua de la laguna que en el limnocorral. Este hecho indicaría que la producción primaria en el tubo A disminuye sensiblemente, y esta disminución de clorofila *a* fitoplanctónica no es compensada por el crecimiento algal en la superficie interior del limnocorral.

Ello permite afirmar que las condiciones del agua encerrada por los limnocorales son mejores que las del resto de la laguna, y que en consecuencia es la fertilización superficial (Seip, 1981; Hamm et al., 1981), la causa que más contribuye al estado eutrófico actual en que se encuentra la laguna del Vilar.

Agradecimientos

Desearnos agradecer a David Brugada y a Emili Montesinos su colaboración en el trabajo de campo y en la discusión de los resultados, y por otra parte, la ayuda institucional de CIRIT, del Laboratori Municipal de Limnologia de Banyoles y de la Fundació Caixa de Barcelona.

Bibliografía

- ABELLÀ, C.A. (1980). Dinámica poblacional comparada de bacterias fotosintéticas planctónicas. Tesis doctoral. Univ. Autòn. Barcelona.
- BAUMANN, E.W. (1974). Determination of parts per million sulfide in water with the sulfide-selective electrode. *Anal. Chem.*, 46: 1345.
- CASAMITJANA, X. (1989). Dinàmica física de les cubetes surgents de l'estany de Banyoles. Tesis doctoral. Univ. Autòn. Barcelona.
- JØRGENSEN, B.B.; KUENEN, J.C. & COHEN, Y. (1979). Microbial transformations of sulfur compounds in a stratified lake (Solar Lake, Sinai). *Limnol. Oceanogr.*, 24: 799-822.
- HAMM, A. & KUCKLENTZ, V. (1981). Effects of hydraulic load changes on the eutrophication of an alpine lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 21: 466-472.
- MARSHALL, K.C. (1976). Interfaces in microbial ecology. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 156 pp.
- MONTESINOS, E. (1982). Ecofisiología de la fotosíntesis bacteriana. Tesis doctoral. Univ. Autòn. Barcelona.
- SEIP, K.L. (1981). A simulation study of the impact of nutrient load, nutrient injection depths and water inflow regulation on a mesotrophic lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 21: 394-398.
- STRICKLAND, J.D.H. & PARSONS, T.R. (1968). A practical handbook of seawater analysis. *Fisheries Research Board of Canada. Bulletin* 167.
- WANNER, O. (1986). Analysis of biofilm dynamics. *Proc. IV ISME* 30-37.