

VARIACION ANUAL DE LAS CARACTERISTICAS QUIMICAS EN LA LAGUNA DE LA MASSONA

P. López, J. Armengol, F.A. Comin

Dpto. Ecología. Facultad de Biología. Universidad Central de Barcelona

Palabras clave: Coastal lagoon, chemocline, water chemistry

ABSTRACT

ANNUAL VARIATION OF CHEMICAL FEATURES IN LA MASSONA LAGOON

La Massona is a small coastal lagoon, that remains stratified almost all the year. Deep-water is saline (mean chlorinity 525,5 meq/l), anoxic, with high alkalinity (6 meq/l), sulfide concentration of 20 mg/l, total reactive phosphorus of 50 microg-at/l and silicate concentrations of 250 microg-at/l. These compounds reach their maximum values in late summer.

Superficial water is less saline (maximum chlorinity, 100 meq/l). Nutrient cycles are characterized by summer depletion of major nutrients, mainly nitrate-nitrogen.

In november, a mixing process was observed but the mixing was not complete and some stratification remained. However, bottom oxygenation was possible. At the same time, alkalinity, sulfide, total reactive phosphorus and silicate depletion could be observed in deep-water too

INTRODUCCION

Los fenómenos de estratificación que se producen en los lagos que reciben aportes de agua de distintas procedencias, llevan asociados procesos de gran interés para la ecología; baste citar entre ellos el calentamiento diferencial de la capa profunda que genera los denominados lagos heliotermales (Sonnenfeld & Hudec, 1980), los procesos de fotosíntesis bacteriana (Biebl & Pfennig, 1979) o los fenómenos asociados a existencia de un fuerte gradiente de potencial redox, como el retorno de fósforo y metales desde el sedimento, la reducción de sulfatos, etc. (Mortimer, 1941; Stumm & Morgan, 1980)

La presencia de una acusada picnoclina condiciona gran parte de las características físicas y químicas del agua (Imboden & Lerman, 1978) y permite el establecimiento de un gradiente redox que es, a la vez, causa y consecuencia de la productividad biológica del sistema.

Limnética 1: 1-8 (1984)

© Asociación Española de Limnología, Madrid. Spain

La laguna de La Massona (Girona, N.E. España) ofrece un ejemplo excelente de sistema costero estratificado durante la mayor parte del año. Se trata de una pequeña laguna litoral perpendicular a la línea de costa, situada entre las desembocaduras de los ríos Muga y Fluviá. Sus características morfológicas y el balance térmico han sido objeto de un trabajo anterior (Armengol *et. al.*, 1983).

La Massona debe ser considerada como un caso particular de laguna costera ya que, aunque en la mayor parte de su extensión no supera los dos metros de profundidad, en la parte final cercana al mar presenta una cubeta cónica de 100 m. de diámetro y 10 m. de profundidad. Esta cubeta profunda y próxima al mar permite la entrada de agua marina, superficial o por filtración, sobre la que circula agua dulce de procedencia fluvial. Ello determina que la laguna presente una acusada picnoclina durante la mayor parte del año.

El objeto del presente trabajo es el estudio del ciclo anual de la composición química en esta laguna, como

ejemplo del funcionamiento de un sistema estratificado en nuestro país.

MATERIAL Y METODOS

Durante el periodo de octubre de 1980 a noviembre de 1981 se recogieron muestras de agua cada tres semanas. Las muestras se tomaron en el punto de mayor profundidad de la laguna y para observar las diferencias en el perfil vertical se recogieron a cinco niveles: 0, 2, 3, 5 y 7 mts.

Los análisis químicos efectuados han sido: alcalinidad, pH, concentración de cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, sodio, potasio, nitrato, fósforo, silicato, sulfhídrico y oxígeno. Todos los análisis han sido realizados por la metodología descrita en Planas (1973) y Margalef *et al.* (1976). En todos los casos se analizaron muestras de agua sin filtrar.

Tabla I.- Composición iónica media (en meq/l) de agua profunda de la Massona y del agua marina de 35‰* de Culkín (1965). Mean ionic composition (in meq/l) of deep water in La Massona and 35‰ sea water. * From Culkín (1965).

	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na
La Massona	525,5	81,7	20,3	96,0	428,0
Agua marina *	550,0	55,0	20,0	112,0	456,0

RESULTADOS Y DISCUSION

Salinidad y compuestos mayoritarios.

La Massona se caracteriza por la presencia, durante todo el periodo estudiado, de una acusada picnoclina (50 cm. de espesor aproximadamente), situada a una profundidad variable: durante el periodo estival (Mayo-Noviembre de 1981; Octubre 1980) aparece a 4,5 m.; en otoño-invierno asciende por encima de 3 m. llegando a estar a 50 cm. de la superficie en Noviembre

de 1980. (Armengol *et al.*, 1983).

La concentración de los compuestos mayoritarios (cloruro, sulfato, sodio, magnesio, calcio, y potasio) en las dos capas pone de manifiesto su diferente origen, ya que es claramente distinta tanto a nivel cuantitativo como a nivel cualitativo. Así, la masa de agua profunda presenta una clorinidad elevada (figura 1), superior a 400 meq/l (aproximadamente igual a 14 g/i de Cl⁻) y relativamente estable a lo largo del año (Cl⁻ media 525 meq/l; coeficiente de variación para 17 muestras 3,74). Cualitativamente, su composición es similar a la del agua de mar, salvo por un exceso relativo en la concentración de sulfato (Tabla I).

El agua superficial, de origen fluvial, presenta características más variables tanto en la salinidad como en la composición relativa. En Septiembre de 1980, la clorinidad superficial era de 60 meq/l, mientras que en el mismo mes del año siguiente era de 14 meq/l (Figura 1). La distinta distribución de las precipitaciones en los dos años puede explicar estas diferencias: en verano del 80 la precipitación fue de 168 mm. frente a 295,5 mm. en el mismo periodo del año 81 (Datos obtenidos del Servicio Meteorológico de Figueres).

Por lo que respecta a la composición relativa, el agua superficial presenta un enriquecimiento en sulfato y calcio con respecto al agua del fondo. Así, el coeficiente Cl/SO₄ (expresado en meq/l) presenta un valor próximo a 2, frente a 6,4 en el agua profunda (Tabla II). El cociente Cl/Ca, a su vez, pasa de un valor de 26 en el fondo a un valor de 3-6 en superficie. La composición superficial concuerda con la que cabría esperar de la mezcla de agua marina, con agua dulce de composición similar a la del río Fluvià.

En cuanto a la variación estacional, puede tomarse como modelo la variación de cloruro (Figura 1), puesto que sodio, potasio, magnesio y, en menor grado, calcio y sulfato siguen una variación casi idéntica a la de la clorinidad.

Tabla II.- Valores del cociente Cl/SO₄ (en meq/l) en las distintas épocas y profundidades. Values of the Cl/SO₄ (in meq/l) at different times and depths

Prof. (m)	1980							1981									
	O	O	N	N	D	E	M	A	A	M	M	J	JL	A	S	O	N
0	4,1	4,1	6,5	2,7	1,8	5,1	6,6	8,2	1,1	4,9	1,6	3,9	2,6	2,6	3,0	1,8	1,6
2	4,0	1,9	10,0	11,4	2,6	5,1	10,5	5,8	6,6	6,5	10,1	5,7	2,8	2,3	2,7	3,3	2,4
3,5	1,8	3,7	10,6	5,1	2,9	5,7	7,5	5,8	9,2	10,2	6,2	6,9	11,8	5,7	3,0	1,5	2,7
5	4,4	4,6	6,1	5,2	4,9	1,9	7,0	6,1	5,5	5,6	7,5	7,8	7,9	5,6	6,1	3,8	7,5
7	5,8	6,9	5,0	6,1	5,2	6,9	4,4	6,5	6,5	5,1	7,6	8,2	8,7	10,0	8,2	8,2	7,2

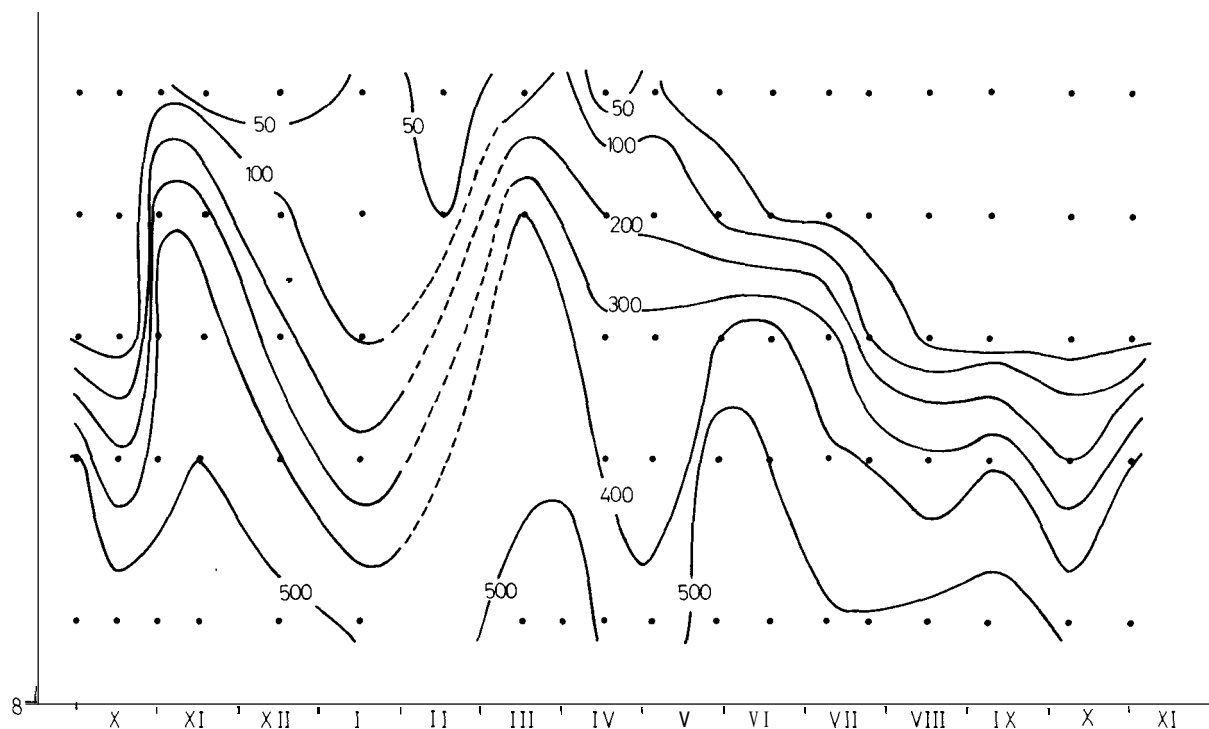


Figura 1.- Distribución de cloruro (en meq/l) en función del tiempo y de la profundidad
Distribution of chloride (in meq/l) according to time and depth

Cabe destacar la homogeneidad parcial del perfil vertical que se produce en el mes de Noviembre, durante el que llegan a registrarse concentraciones superiores a 300 meq/l de cloruro a sólo 2 mts. de profundidad. Esta salinización supone una entrada de cloruro a la laguna, ya que al calcular el valor integrado de este parámetro para toda la columna de agua se observa un aumento de casi el 100% entre principios y mediados de Noviembre (Tabla III). Por otra parte, el valor del cociente Cl/SO_4 , que sirve de indicador de una mayor o menor presencia de agua marina, presenta en este momento su valor más elevado y próximo al marino (Tabla II). Los temporales de viento de Levante que se produjeron en esta época parecen ser el mecanismo responsable de esta entrada de cloruro a la laguna.

La uniformidad conseguida se destruye rápidamente y así, a mediados de Enero se restablecen las condiciones de estratificación. El fenómeno de homogeneización se repite parcialmente en el mes de Marzo, aunque es de menor intensidad que el ocurrido en Noviembre.

Tabla III.- Valores integrados para la columna de agua (de 1 dm² de sección) de la concentración de cloruro (datos en meq.).

Integrated values for the water column (1 dm² section) of chloride concentration (in meq.).

Fecha	Cl ⁻	Fecha	Cl ⁻
Oct 80	17058	May. 81	19664
Oct 80	13770	May. 81	23304
Nov 80	27900	Jun. 81	21899
Nov 80	27120	Jul. 81	17796
Dic 80	18079	Jul. 81	14211
En 81	12476	Ag. 81	11589
Mar 81	28056	Sep. 81	12975
Abr 81	26463	Oct. 81	8961
Abr 81	20333	Nov. 81	12560

Oxígeno y Sulfhídrico

La presencia de una pycnoclina determina la distribución vertical de oxígeno observada en La Massona. El aislamiento de la capa profunda con respecto a la atmósfera y la elevada producción de la

laguna condiciona que el fondo sea anóxico la mayor parte del año. Tan sólo durante el breve periodo de mezcla se pudo detectar oxígeno a 7 mts. de profundidad (Figura 2).

La masa de agua superficial se encuentra toda ella bien oxigenada durante los meses de otoño-invierno. Sin embargo a partir de Mayo, la elevada producción en los niveles más superficiales (Comin, com. per.) supone un agotamiento del oxígeno incluso por encima del nivel de la picnoclina, de forma que la zona oxigenada queda reducida a una delgada capa entre 0 y 2,5 m. de profundidad (Figura 2).

En la zona profunda tan sólo aparece oxígeno tras la mezcla parcial de Noviembre. A mediados de Enero la zona anóxica queda reducida a una capa por debajo de los 5 m., pero a partir de este momento, el límite de la distribución de oxígeno asciende por encima de los 3,5 m. y permanece así hasta finales del periodo estudiado.

La ausencia de oxígeno permite la acumulación del sulfhídrico, procedente tanto de la descomposición de la materia orgánica como de la actividad sulfato-reductora. A mediados de verano, cuando esta actividad es máxima, llegan a alcanzarse 30 mg/l. de sulfhídrico (Figura 2). Al mismo tiempo, la reversibilidad parcial de las reacciones implicadas en la sulfato-reducción (Drever, 1982) es la causa principal del incremento de la concentración de sulfato observado en el agua profunda de La Massona.

Alcalinidad

La alcalinidad es el parámetro que permanece más estable a lo largo del año. En primavera y verano se aprecian diferencias significativas en el perfil vertical, registrándose las máximas concentraciones en el fondo (Figura 3).

La elevada alcalinidad de la laguna es fundamentalmente de origen continental, ya que el río Fluvia presenta valores muy altos de este compuesto, alrededor de 4 meq/l. (D.G.O.H., 1982), y superior a los del agua marina.

En el agua profunda, los máximos de alcalinidad observados pueden atribuirse a los mecanismos de redisolución de carbonatos asociados a la existencia de un bajo pH (Garrels & Christ, 1965), así como a la intensa actividad sulfato-reductora (Stumm & Morgan, 1980).

Nitrógeno

El ciclo del nitrógeno observado en La Massona se asemeja mucho al de un lago eutrófico, con la particularidad de que nunca aparecen las formas oxidadas, nitrato y nitrito, en el hipolimnion. Ello está en relación con la ausencia de oxígeno, ya que las formas oxidadas pasan a amonio (biótica o abióticamente) a partir de una concentración de O₂ inferior o igual a 0,4 mg/l. (Mortimer, 1941).

En la zona oxigenada, la concentración de nitrato presenta un mínimo, con valores inferiores a 1 microg-at/l., a finales de verano en los dos años estudiados. La concentración aumenta en todo el perfil con la mezcla que se produce en Noviembre. Posteriormente, pueden observarse dos nuevos máximos, uno que afecta a los tres niveles superficiales y que se produce en Diciembre, y otro a finales de Mayo que afecta sólo al nivel superficial (Figura 4).

Por lo que respecta a la concentración de nitrito, sigue una variación muy similar a la del nitrato, si bien cabe destacar que las concentraciones máximas de este compuesto, aunque aparecen simultáneamente a las de nitrato, se producen a un nivel inferior. Probablemente estos máximos están en relación con una captación incompleta de nitrato por el fitoplancton, dada la escasa penetración de la luz. Se trataría de un fenómeno análogo al que ocurre a veces en el mar (Blasco, 1971) y que ha sido detectado en otros tipos de lagos (Planas, 1973).

La entrada de nitrógeno al sistema parece tener un doble origen en vista de los resultados obtenidos. Por una parte, una oxidación del amonio acumulado en el fondo, cuando por el proceso de mezcla la capa profunda se pone en contacto con el oxígeno. La remineralización del nitrógeno béntico es en algunos casos la principal fuente de nitrógeno para los sistemas costeros (Nixon, 1979; Nixon *et al.*, 1980). No obstante, en La Massona la estratificación existente la mayor parte del año impide un retorno efectivo de este elemento desde la capa profunda, excepto durante el breve período de mezcla.

Por otra parte, la entrada de nitrógeno externo al sistema parece ser importante en esta laguna. En efecto, La Massona se halla próxima a campos de cultivo, en los que la pérdida de nitrato por lixiviación puede ser muy elevada (Brezonik, 1972). El aporte de nitrato sería entonces de procedencia continental y afectaría sobre todo a la capa superficial. Se explica así, el máximo observado en el mes de Mayo, en época de

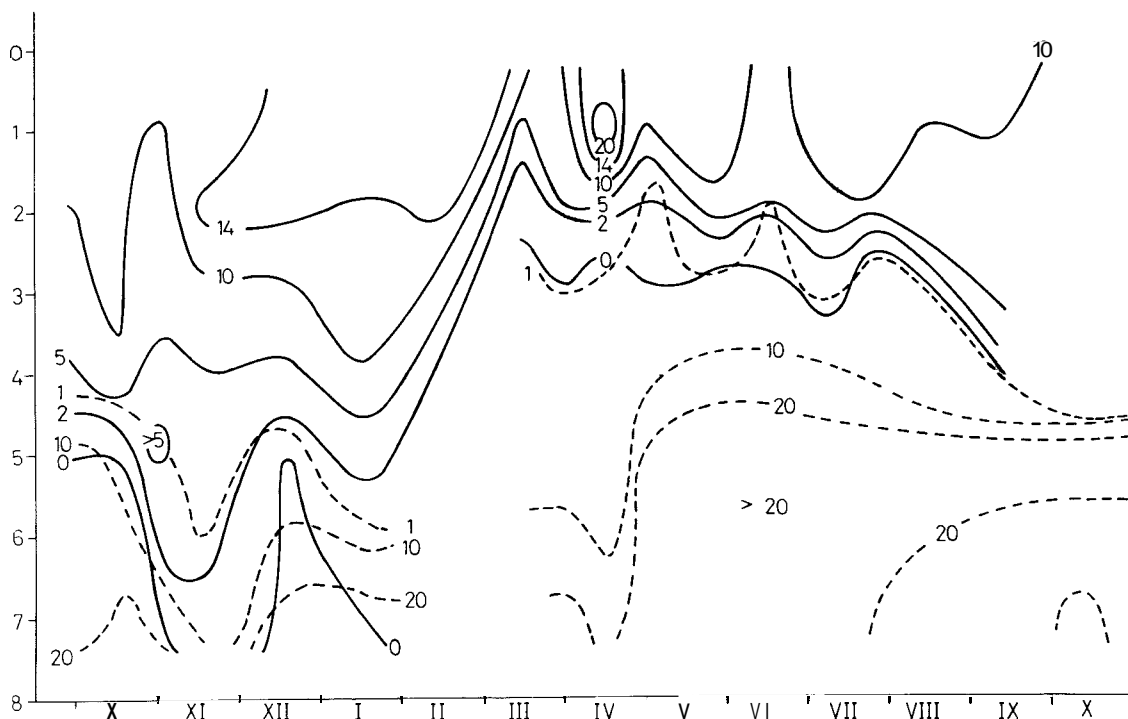


Figura 2.- Distribución del oxígeno disuelto, línea continua y del sulfhídrico, línea discontinua, en función del tiempo y de la profundidad. Ambos en mg/l.
 Distribution of dissolved oxygen, full line, and sulfide, dashed line, according to time and depth. Both in mg/l.

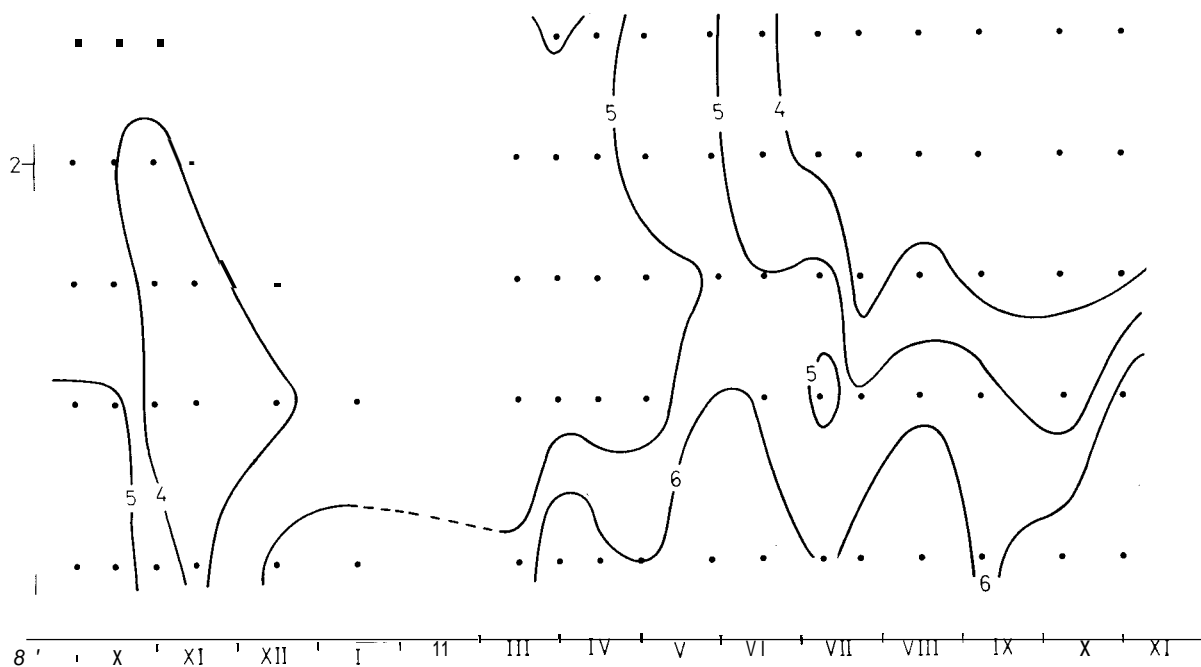


Figura 3.- Distribución de la alcalinidad (en meq/l) en función del tiempo y de la profundidad
 Distribution of total alkalinity (in meq/l) according to time and depth.

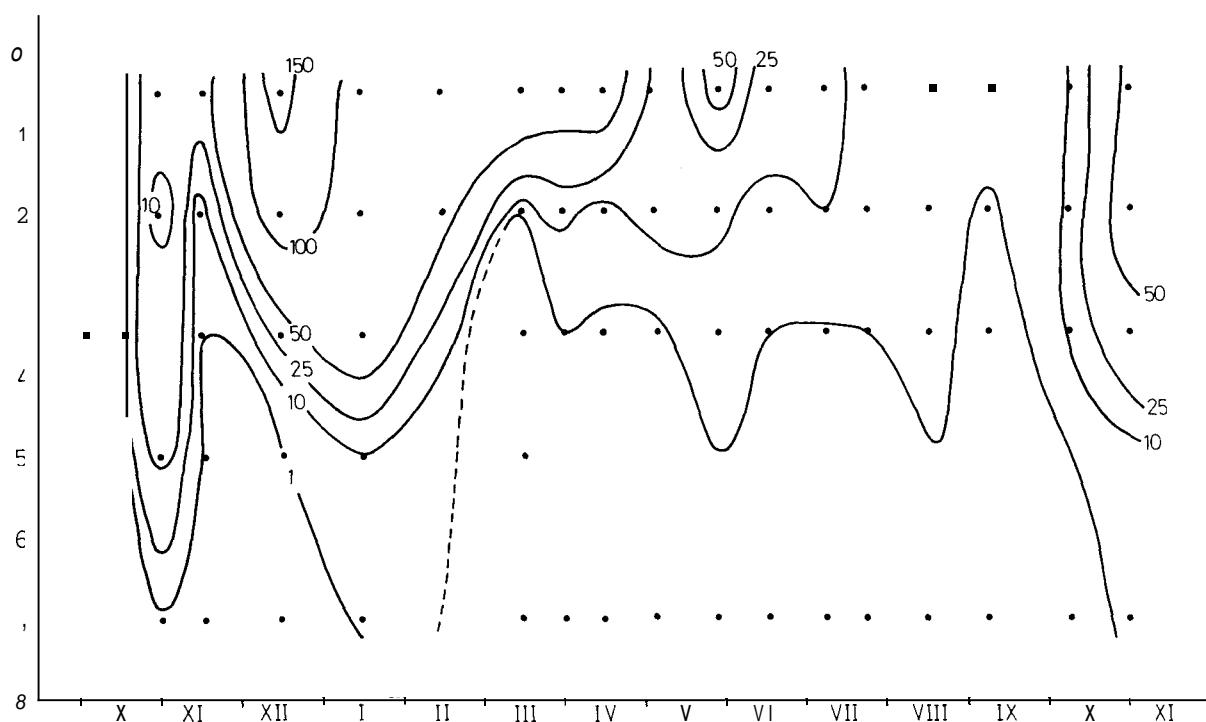


Figura 4 - Distribución del nitrógeno en forma de nitrato (en microg-at/l) en función del tiempo y de la profundidad
Distribution of nitrate-nitrogen according to time and depth

clara estratificación, pero que coincide con la máxima pluviosidad.

Fósforo

La concentración de fósforo (en forma de fósforo reactivo total) en la capa superficial oscila entre 0,7 microg-at/l y 3 microg-at/l. Las concentraciones máximas aparecen en el mes de Noviembre, tras el periodo de mezcla, mientras que las mínimas se producen durante el verano (Figura 5).

En el hipolimnion, las concentraciones observadas fueron muy superiores. El valor mínimo, 10 microg-at/l, se produce durante el periodo de oxigenación, incrementándose después de forma continua hasta alcanzar un máximo de 73 microg-at/l a finales de verano.

La mezcla parcial que se produce en Noviembre permite una fertilización del agua superficial, aunque simultáneamente hay una pérdida de fósforo por exportación a otros sistemas (López, 1983). A partir de este momento, el consumo de fósforo por las poblaciones de fitoplancton y la precipitación de fós-

foro inorgánico, probablemente asociado a la precipitación de carbonato cálcico (Golterman, 1967) hacen disminuir la concentración de este elemento en el epilimnion. Al mismo tiempo, la sedimentación de los organismos y la redisolución de compuestos de fósforo del sedimento favorecida por la existencia de condiciones anóxicas suponen una acumulación de fósforo en el hipolimnion.

Silicio

En La Massona, las concentraciones de silicio, al menos en el epilimnion, suelen superar los 100 microg-at/l, por lo que no puede considerarse un elemento limitante para los organismos. Los cambios en su concentración son debidos más a cambios de salinidad del agua que al consumo de los organismos.

En los periodos de mayor salinidad, la concentración de silicio registra los valores mínimos, manteniéndose ligeramente superior en superficie, donde la salinidad es inferior (Figura 6). En el periodo de agua más dulce, durante el verano, se presentan los valores máximos al principio, descendiendo después proba-

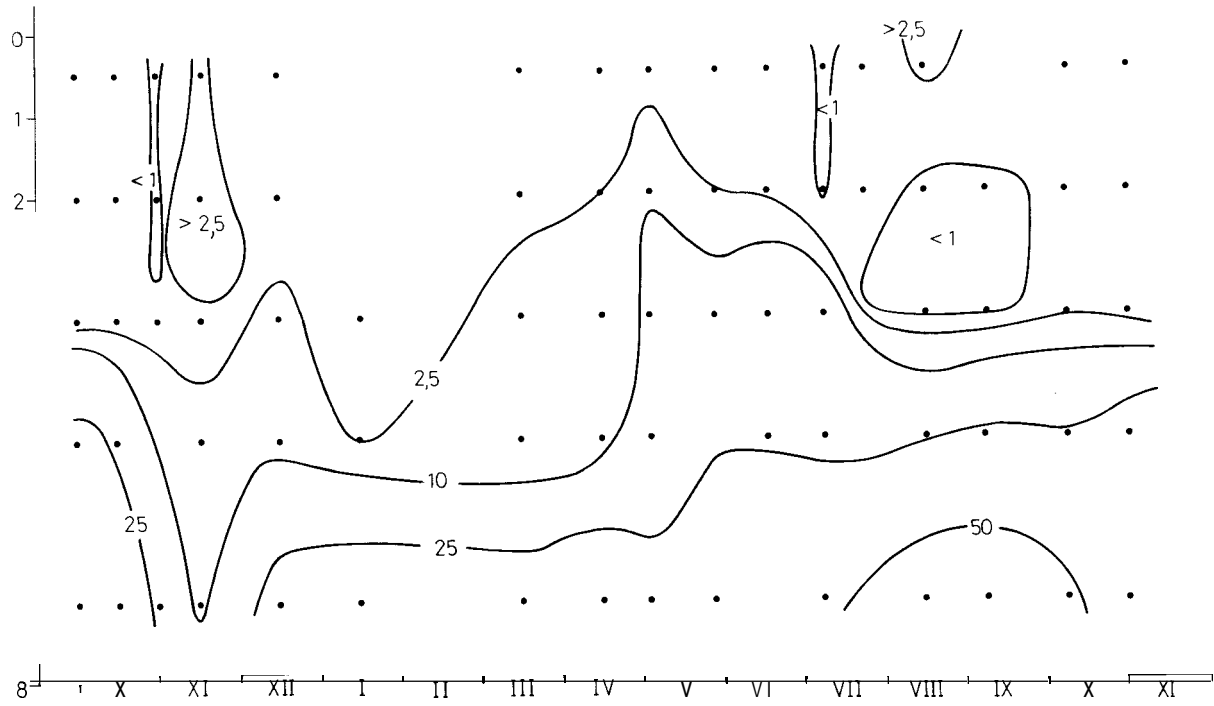
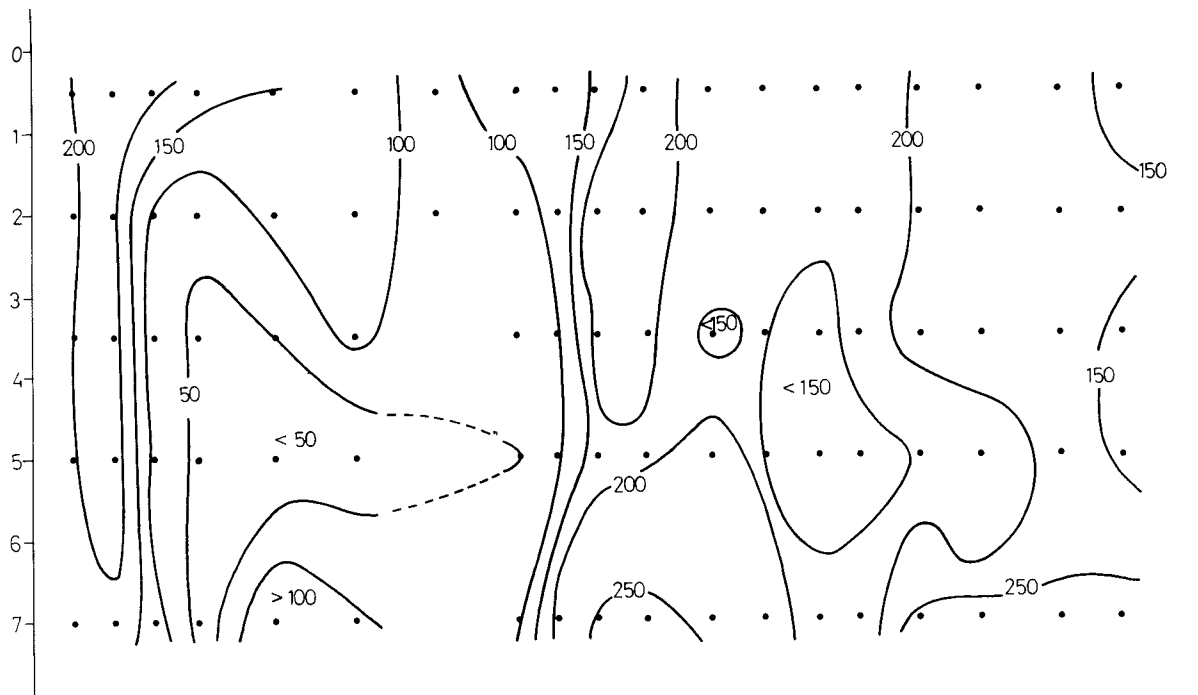


Figura 5.- Distribución del fósforo reactivo total (en micro-at/l) en función de la profundidad y del tiempo.
Distribution of total reactive phosphorus (in micro-at/l) according to depth and time.



blemente como consecuencia de la proliferación de algas en primavera, si bien siguen apareciendo valores altos (150 microg-at/l).

En profundidad, se manifiestan dos fenómenos de signo contrario: por una parte en la época de oxigenación la concentración de silicio es mínima (inferior a 100 microg-at/l). Durante el verano, en condiciones anóxicas se observan los valores máximos de silicio (superiores a 250 microg-at/l), aunque persiste una elevada salinidad.

La correlación negativa entre silicio y salinidad en estuarios y lagunas costeras ha sido puesta de manifiesto por diversos autores (Kobayashi, 1967; Loder & Gluber, 1980). Asimismo, se sabe también que en condiciones reductoras se favorece una disolución de la sílice (Burton *et al.*, 1970). Al parecer el hecho de que exista una elevada salinidad no afecta a dicho proceso de redisolución.

CONCLUSIONES

La presencia de una pycnoclina estable durante casi todo el año determina la mayor parte de las características químicas del agua de La Massona.

Se puede distinguir un hipolimnion anóxico y de composición similar a la marina y un epilimnion oxigenado cuya composición corresponde a una mezcla de agua marina y agua dulce rica en sulfato, alcalinidad y calcio.

Los nutrientes, nitrógeno y fósforo, son principalmente de origen continental y su ciclo en el epilimnion es semejante al de la mayoría de lagunas costeras, observándose una disminución de nutrientes en especial nitrógeno, durante el verano.

Como consecuencia de la intensa producción primaria en superficie, la capa profunda de mayor o menor espesor según la época, es anóxica y reductora, produciéndose en ella los procesos típicamente asociados a la existencia de un gradiente de oxidación-reducción: desnitrificación, reducción de nitrato, reducción de sulfato, redisolución de carbonatos y retorno de fósforo desde el sedimento al agua.

Las características generales de la laguna se alteran durante el breve periodo de mezcla parcial, que permite una oxigenación del hipolimnion y una fertilización de las aguas superficiales.

BIBLIOGRAFIA

- Armengol, J.; Comín, F.A. & López, P. 1983. Balance térmico anual de la laguna La Massona (Gerona, N.E. España). Actas del 1º Congreso Español de Limnología. 1: 7-16.
- Biebl, H & Pfennig, N. 1979. Anaerobic CO₂ uptake by phototrophic bacteria. A. review Arch. Hydrobiol. Beih. Ergbn Limnol., 12: 48-58.
- Blasco, D. 1971. Acumulación de nitratos en determinados niveles marinos por acción del fitoplancton. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona.
- Brezonik, P.L. 1972. Nitrogen: sources and transformations in natural waters. In: Nutrient in natural waters (Allen, H.E. & Kramer, J.R. eds.): 1-50: John-Wiley & Sons. Nueva York.
- Burton, J.D.; Leatherland, T.M. & Liss, P.S. 1970. The reactivity of dissolved silicon in some natural waters. Limnol. Oceanog., 15: 437-476.
- Culkin, F. 1965. The major constituents of sea water. In: Chemical Oceanography I (Riley, J.P. & Skirrow, G. eds): 121-161. Academic Press. Londres Nueva York.
- D.G.O.H. 1982. Análisis de la calidad de aguas. Año 1980-81. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Dirección General de Obras Hidráulicas. Madrid.
- Drever, J.I. 1982. The geochemistry of natural waters. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs.
- Garrels, R.M. & Christ, C.L. 1965. Solutions, minerals and equilibria. Harper & Row. Nueva York.
- Golterman, H.L. 1967. Influence of the mud on the chemistry of water in relation to productivity, In: Chemical environment in the aquatic habitat (Golterman, H.L. & Clymo, R.S. eds): 297-317. N.V. Noord-Hollandsche Uitgevers Maatschappij. Amsterdam.
- Imboden, D.M. & Lerman, A. 1978. Chemical models of lakes. In: Lakes: Chemistry, Geology, Physics (Lerman, A. ed): 341-356 Springer-Verlag. Nueva York.
- Kobayashi, J. 1967. Silica in freshwaters and estuaries. In: Chemical environment in the aquatic habitat (Golterman, H.L. & Clymo, R.S. eds): 41-55 N.V. Noord-Hollandsche Uitgevers Maatschappij. Amsterdam.
- Loder, T.C. & Gluber, P.M. 1980. Nutrient variability and fluxes in a estuarine system. In: Estuarine Perspectives (Kennedy, V.S. ed): 111-122. Academic Press. Nueva York.
- López, P. 1983. Aguas salinas epicontinentales próximas a la costa mediterránea española. Estudio del medio. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona.
- Margalef, R.; Planas, D.; Armengol, J.; Vidal, A.; Prat, N.; Guiset, A.; Toja, J. & Estrada, M. 1976. Limnología de los embalses españoles. Dirección General de Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas. Madrid.
- Mortimer, C.H. 1941. The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. J. Ecol., 29: 280-329.
- Nixon, S.W. 1979. Remineralization and nutrient cycling in coastal marine ecosystems. In: Nutrient enrichment in estuaries (Neilson, B. & Cronin, L.E. eds): 111-137. Humana Press. Clifton.
- Nixon, S.W.; Kelly, J.R.; Furnas, B.N. & Oviatt, C.A. 1980. Phosphorus regeneration and the metabolism of coastal marine communities. In: Marine Benthic Dynamics (Tenore, K.R. & Coull, B.C. eds): 219-242. U. South Carolina Press. Columbia.
- Planas, D. 1973. Composición, ciclo y productividad del fitoplancton del lago de Bañolas. Oecología aquatica, 1: 3-106.
- Sonnenfeld, P. & Hudec, P.P. 1980. Heliothermal lakes. In: Hypersaline brines and evaporitic environments (Nissenbaum, A. ed): 93-100. Elsevier. Amsterdam.
- Stumm, W. & Morgan, J.J. 1980. Aquatic chemistry. John Wiley & Sons. Nueva York. 2ª edición.