

APORTE DE NUTRIENTES Y EUTROFIZACIÓN DE LA ALBUFERA DE VALENCIA

J.M. Soria, M.R. Miracle y E. Vicente.

Departamento de Microbiología y Ecología. Facultad de Ciencias Biológicas.
Universitat de València. 46100 Burjassot (València). Spain.

Palabras clave: Coastal lagoons, eutrophication, principal components, seston, water chemistry.

ABSTRACT

NUTRIENT INPUTS AND EUTROPHICATION OF THE ALBUFERA OF VALENCIA LAGOON (SPAIN)

The Albufera of Valencia is a shallow water body (mean depth of 1 m) with a surface of more than 22 km². Historically it has suffered important human impacts which can be summarized as: (1) transformations of marshlands into rice fields mainly during the XIX century; and (2) industrial development and population increase since 1960.

Samples have been taken during an annual cycle (year 1985) from the mouth of channels arriving from the Northern part heavily contaminated by sewage and from the Southern part conveying mainly agricultural waters. Samples were taken also from several points inside the Albufera. Domestic and industrial effluents are loaded with phosphorus and ammonia, while agricultural waters are rich in nitrates. On the other hand the waters inside the Albufera have relatively low concentrations of nutrients (N and P). However, the stress, produced in the lagoon by the nutrient load, is shown by the extremely high chlorophyll contents. Other parameters associated with primary production, such as pH and alkalinity, vary accordingly; they are respectively high and low inside the lagoon. A principal components analysis has been made with samples characterized by the physicochemical and biological variables. The first component can be associated with eutrophy: photosynthetic pigments, seston and oxygen have the highest loadings at the positive end while nutrients, alkalinity and light penetration have the highest loadings at the negative end. This component separates the Albufera samples from the channel samples. The second component is determined by orthophosphate, ammonia, alkalinity and salinity at the positive end versus nitrate, nitrite, oxygen, redox and light penetration at the negative end. It separates the Northern from the Southern channels.

In conclusion, the Albufera functions both as a quimiostat and a sewage treatment pool. Great amounts of nutrients and organic matter enter into the lagoon which are converted into biomass, and then the outflowing water is almost free of limiting nutrients.

INTRODUCCIÓN

La Albufera de Valencia es una laguna litoral situada en la costa mediterránea, 10 Km al Sur de la ciudad de Valencia. Su forma es casi circular de unos 6 Km de diámetro máximo. Su profundidad

media es de aproximadamente 1 m. Ocupa la parte central de una amplia zona húmeda que se extiende entre los ríos Turia y Júcar, con una extensión aproximada de 223 Km², en su mayor parte dedicada al cultivo del arroz. La comunicación de la Albufera con el mar se lleva a cabo por

tres canales o "golas" donde el flujo de agua es regulado por compuertas que mantienen el nivel del lago en los valores más adecuados para el cultivo del arroz (Roselló, 1979). Al Oeste de la zona húmeda se sitúa un cordón de poblaciones que suman más de 300.000 habitantes y unas 4.000 industrias (censo de junio de 1986), cuyas aguas residuales se vierten sin depurar a cauces naturales pertenecientes a la cuenca hidrográfica de la Albufera. Los aportes hídricos llegan por numerosas acequias procedentes de los ríos Turia y Júcar y barrancos portadores de aguas de lluvia y residuales. Si bien la parte Norte de la zona húmeda era anteriormente abastecida por el caudal del Turia, en la actualidad y debido al trasvase de aguas del río Júcar al Turia, y a la canalización de las aguas de salida de la depuradora de aguas residuales de la Ciudad de Valencia, los aportes en esta zona corresponden a aguas de muy diversa calidad. Las zonas Oeste y Sur, por otra parte, se surten principalmente de las aguas del Júcar, contaminadas posteriormente por vertidos urbanos. Las aguas de los "ullals" de esta zona también están canalizadas hacia la Albufera.

La superficie actual de la laguna de La Albufera, calculada a partir de imágenes del Satélite Landsat-5 es de 2320 ± 10 Ha. si consideramos la superficie cubierta por el agua y la de las masas de vegetación incluidas en su interior (Fig. 1).

La Albufera es un sistema hipertrófico debido a los excesivos nutrientes aportados por las aguas agrícolas, urbanas e industriales y sometido además a manipulación hídrica por medio de unas compuertas que permiten regular la altura y flujo de las aguas según las necesidades del cultivo del arroz (Serra *et al.*, 1984. Miracle *et al.*, 1984).

La laguna y el humedal circundante, por su extensión e importancia, fueron declarados Parque Natural en junio de 1986. Sin embargo son pocos los estudios que analizan el funcionamiento global del ecosistema. El presente trabajo se basa en el análisis de los diferentes parámetros fisicoquímicos y su relación con la biomasa existente, en muestras tomadas en puntos perimetrales de la laguna y las procedentes de algunas de las acequias del sistema en su tramo terminal al lago, con vistas a tipificar los distintos impactos del entorno sobre la Albufera.

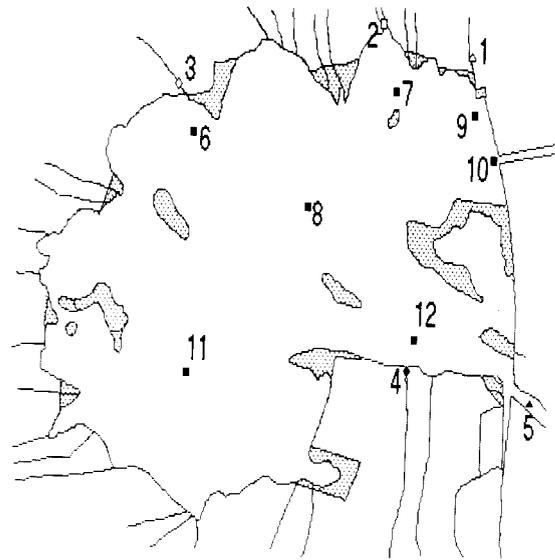


Figura 1.- Mapa de la Albufera de Valencia, señalando los puntos de muestreo en los cauces afluentes a la Laguna (1, Carrera de El Saler; 2, Barranco de Massanassa; 3, Port de Silla; 4, L'Overa; 5, La Sequiota) y los situados en la propia Albufera (6, Frente Port de Silla; 7, Flotó de Llebeig; 8, Central; 9, Frente Carrera Saler; 10, Gola del Pujol; 11, Llebeig de L'Antina; 12, Frente L'Overa).

Outline of the Albufera of Valencia indicating the sampling points in the channels and inside the lagoon.

MÉTODOS

Se realizaron muestreos bimensuales durante el ciclo anual comprendido entre febrero de 1985 y enero de 1986. Se tomaban muestras sucesivamente en doce puntos (Fig. 1): seis puntos en el perímetro de la laguna, uno en el centro, y cinco situados en los cauces seleccionados por su caudal, que se detallan a continuación: "La Sequiota", canal de entrada o salida de agua de la Albufera según la estación del año; acequia de Overa, representativa de las acequias de la zona Sur con aportes de tipo agrícola; acequia del "Port de Silla" y Barranco de Massanassa, con alto porcentaje de aguas residuales; "Carrera de El Saler" con aportes de tipo agrícola y urbano, estas tres últimas en la zona Norte.

Se tomaron muestras de agua a 0.5 m de profundidad con una botella hidrográfica de Ruttner

de 2.61 de capacidad para la determinación de los principales parámetros químicos según la metodología descrita por Golterman *et al.* (1978) y Margalef *et al.* (1976).

Se tomaron medidas directas de la penetración luminosa con un radiómetro Crump. Sci. Ins. (U.K.) y de la profundidad de visión del disco de Secchi.

El cálculo de la concentración de pigmentos se realizó según el método tricromático de Strickland y Parsons (1972). El recuento del material particulado suspendido en el agua se realizó con ayuda de un contador de partículas (Coulter Counter ZM).

Las relaciones entre las variables fisicoquímicas y biológicas consideradas se han explorado mediante un análisis de componentes principales, por medio de los programas BMDP 4M.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores detallados de los parámetros fisicoquímicos determinados en este estudio se registran en la tabla 1. En la figura 2 se representa la variación estacional de estos parámetros agrupando las localidades según su similitud en tres grupos: interior de la Albufera, acequias y barrancos del sector Norte y acequias del Sur. Estos tres grupos presentan diferencias importantes entre ellos, sin embargo, en algunas ocasiones determinadas acequias presentaban flujos reversos, por lo que eran portadoras de aguas de la Albufera en la zona de muestreo (cerca de su desembocadura). Ello era debido a la utilización del agua del lago en el riego de los campos de arroz adyacentes. En estos momentos las acequias y barrancos presentaban características más próximas a las del agua de la Albufera que a las de su propio grupo. Esto origina una mayor dispersión de los datos en estas localidades.

Luz y temperatura

El valor máximo de la profundidad de visión del disco de Secchi ha sido de 0.77 m, que correspondió a La Sequiota (punto 5) en diciembre y el mínimo de 0.11 m en el punto de la Albufera,

frente a la acequia de Overa en Abril. La media general fue de 0.27 m, con una desviación típica de 0.13 m. En general, los valores mayores pertenecen a puntos de muestreo en acequias, mientras los menores pertenecen a la Albufera y al barranco de Massanassa (punto 2). Estos valores se relacionan estrechamente con las medidas de penetración luminosa efectuadas con el radiómetro.

Generalmente, la luz se extingue antes de llegar al fondo en los puntos más profundos del lago, y la profundidad a la que llega el 1 % de la luz incidente está cercana al fondo. En las acequias, esta profundidad se sitúa a veces en un punto teórico superior al fondo real. El valor máximo encontrado para este parámetro ha sido de 1.67 m en La Sequiota en diciembre, y el mínimo de 0.31 m en el barranco de Massanassa en enero. La media general es de 0.78 m, muy similar a la profundidad media de la Albufera, con una desviación típica de 0.28 m.

La temperatura sigue una distribución estacional, siendo el máximo de 28 °C detectado a finales de junio y un mínimo de 8.4 °C en enero. La temperatura media general fue de 17.6 °C y la desviación típica de 6.3 (Fig. 2).

Mineralización de las aguas

Se trata de aguas oligohalinas, con salinidades comprendidas entre 1 y 2 g/l, que corresponden a conductividades entre 1372 y 3413 S/cm. En los puntos de salinidad más alta (próximos al mar), el orden de abundancia de los iones es como el del agua marina: $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Alc}$, aunque no en las mismas proporciones. La relación cloruro/sulfato en el agua marina (aprox. 9) es muy superior a la que se da en la Albufera, en donde en general es ligeramente mayor que 1, excepto en abril. Las acequias del N muestran también valores ligeramente superiores a 1. En cambio, en las acequias del Sur y su zona de influencia, así como la Albufera en abril, el orden de abundancia de estos aniones fue: $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{Alc}$.

La concentración de cloruros está muy correlacionada ($r=0.92$) con la conductividad de las aguas. Los valores de cloruro son variables y dependen de la influencia marina en los puntos

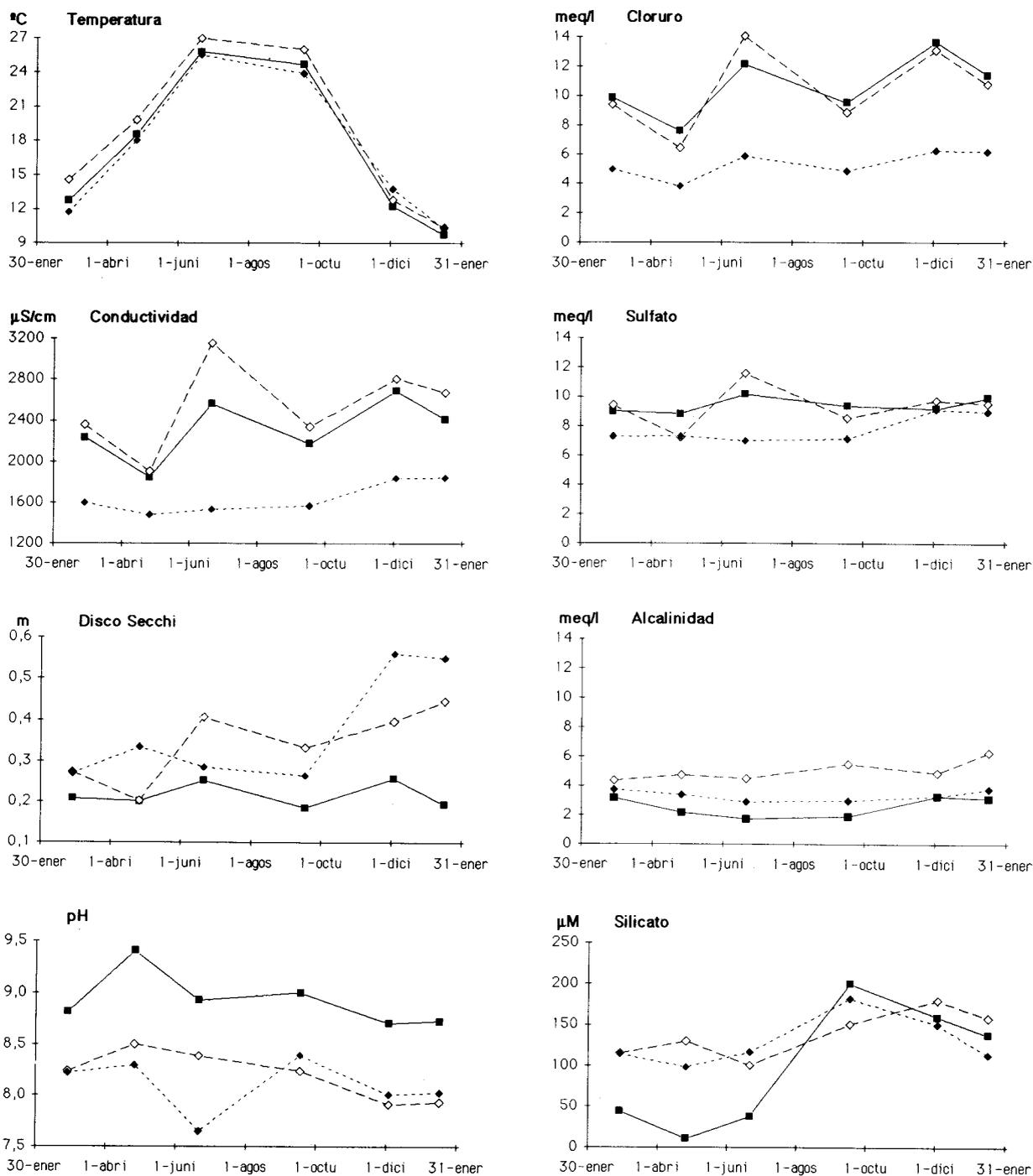
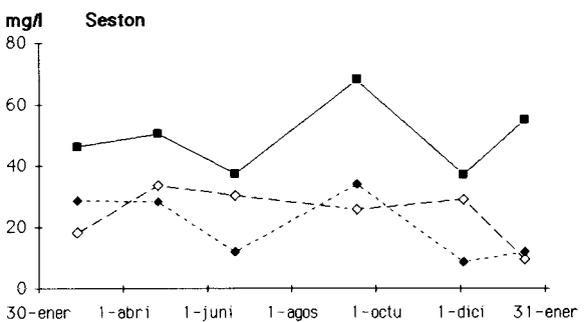
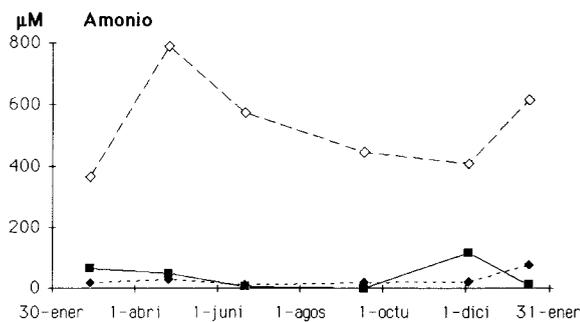
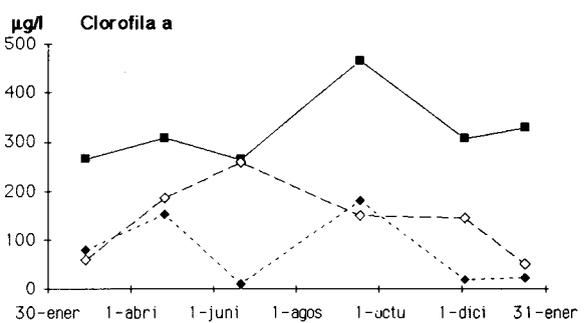
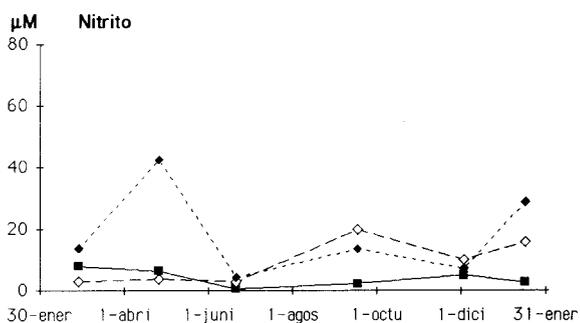
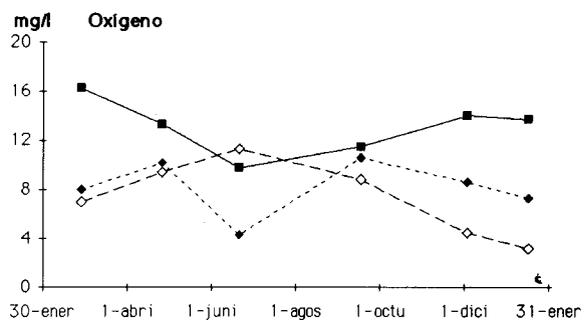
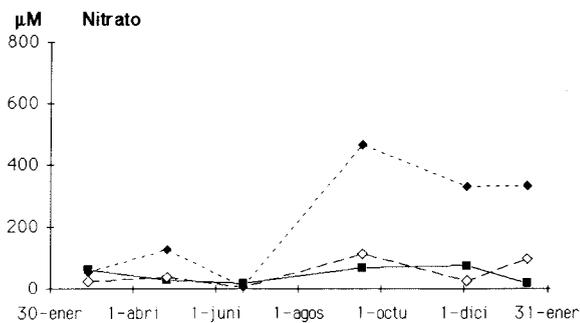
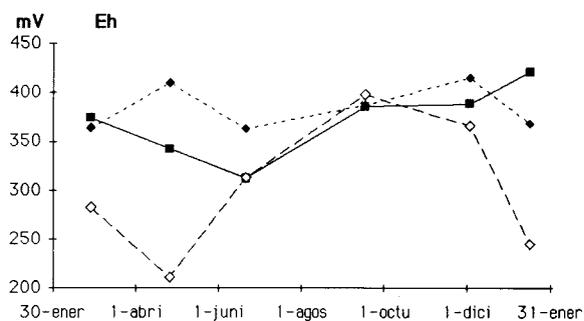
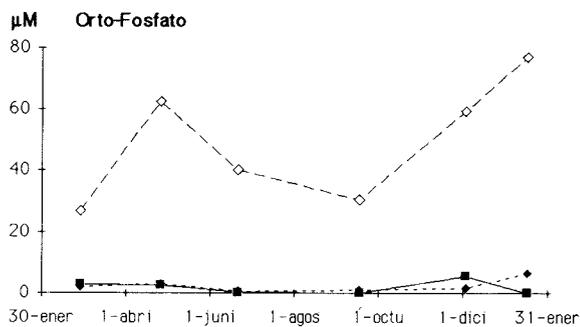


Figura 2.- Variación estacional de los principales parámetros limnológicos. Medias de los puntos de muestreo de la Albufera (7 puntos) —; Acequias zona Norte (3 puntos) ---; y Acequias zona Sur (2 puntos)



(cont.) Seasonal variation of main limnological parameters (temperature, conductivity, Secchi disk, pH, chloride, sulphate, alkalinity, silicate, dissolved orthophosphate, nitrate, nitrite, ammonia, Eh, oxygen, chlorophyll *a* and seston mass. Means for the Albufera points (7 sampling points) —; Northern channels (3 sampling points) ---; and for Southern channels (2 sampling points) ···

costeros del lago y de la contaminación urbano-industrial de las acequias del Norte, mientras que el nivel de sulfatos se mantiene más constante a lo largo de los puntos de muestreo y de las estaciones del año. Los valores mínimos de sulfatos en el barranco de Massanassa (punto 2) podrían relacionarse con procesos de reducción de los sulfatos cuando sus aguas son totalmente anóxicas.

El cociente cloruro/sulfato presenta valores mínimos en la acequia de Overa (con valores de 0.4 - 0.5). El aporte de agua fluvial se caracteriza por relaciones cloruro/sulfato bajas, que se dan en acequias poco contaminadas, en donde los sulfatos y carbonatos son más abundantes que los cloruros.

Los valores de alcalinidad están comprendidos entre un máximo de 9.4 meq/l en el barranco de Massanassa en enero y un mínimo de 0.9 meq/l en la Albufera en junio. En la figura 2 se observa el promedio para la Albufera y las acequias. Los valores de la alcalinidad son mayores y más dispersos en las aguas influyentes siendo en el lago siempre inferiores al valor medio de estas aguas. Esto es debido a que el elevado crecimiento del fitoplancton en la Albufera comporta un alto consumo de CO_2 y HCO_3^- produciendo un aumento del pH y un desplazamiento del sistema carbónico-carbonato hacia la formación de éste último. En aguas como las de esta laguna, de salinidad moderada y temperatura alta, en las que el producto de solubilidad de la calcita es bajo, se produce una intensa precipitación de carbonato y la alcalinidad disminuye.

Nitrógeno y Fósforo

La concentración media de N en el lago fue superior a $30 \mu\text{M}$ en invierno, mientras en verano desciende y en septiembre es inferior a $1 \mu\text{M}$. López (1983) atribuye esta variación a las proliferaciones algales primaverales, que emplean el nitrato disponible. Los valores más altos de nitratos se dieron en las acequias del Sur como consecuencia de la lixiviación de los fertilizantes agrícolas, especialmente en la acequia de Overa (valor máximo de $807 \mu\text{M}$).

El nitrito presentó valores poco elevados, destacando los valores máximos encontrados en la acequia de Overa ($68.9 \mu\text{M}$) como consecuencia de las transformaciones de los compuestos de nitrógeno en aguas agrícolas contaminadas por vertidos.

El amonio se encontraba en las acequias con elevada carga de residuos urbanos, como Massanassa y Carrera del Saler, y también en la desembocadura y zona de influencia de estas acequias. El valor máximo de amonio que se encontró fue de $2200 \mu\text{M}$ en el barranco de Massanassa en abril coincidiendo con un potencial de oxidorreducción negativo, por lo que todo el nitrógeno se encontraba en forma reducida.

El fósforo presentó sus valores máximos en los mismos puntos que el amonio, es decir, en las acequias y barrancos contaminados de la zona Norte, con un máximo de $185 \mu\text{M}$ en enero en el barranco de Massanassa. En la Albufera, el fósforo inorgánico libre es mínimo, pues todos los aportes son incorporados por la extraordinaria biomasa algal.

El requerimiento de nutrientes por los organismos viene indicado por la relación de los mismos en la materia viva. Para el caso del nitrógeno y el fósforo, esta relación es de N:P = 14:1 (Margalef, 1983). Sin embargo, en nuestras muestras se desvía mucho de este valor, especialmente en la zona Sur y en la Albufera, donde supera el valor de 1000 en bastantes muestras. Esto se debe a las elevadas concentraciones de N presentes y a la ausencia casi total de o-P soluble, lo que dispara esta relación.

Silicato

El valor promedio del silicato en el interior de la Albufera, $107 \mu\text{M}$, ha resultado ser muy similar al de años anteriores (Tabla 2). López (1983) encontró que en las lagunas costeras las concentraciones de silicio eran más elevadas a finales de verano y en otoño, y más bajas en invierno y primavera, atribuyendo los cambios a diferencias en el aporte de aguas continentales ricas en este elemento (flujo de agua durante el cultivo del arroz

y lluvias otoñales en nuestro caso), frente a las entradas de agua marina capaz de precipitar el silicato. Las proliferaciones primaverales de diatomeas, podrían tener también influencia sobre la concentración de silicatos aunque no excesivamente en la Albufera donde su densidad es relativamente baja. Esta sucesión de fenómenos se observa bien en la Albufera (Fig. 2), donde los valores de septiembre, diciembre y enero son mucho más elevados que los de febrero, abril y junio. También se observa que durante las épocas de valores bajos en el lago, las acequias mantienen un nivel aproximadamente constante de silicato confirmando un aporte permanente de origen continental.

Tabla 2. Medias anuales de algunos parámetros en distintos años medidos en puntos centrales de la Albufera, excepto los valores de 1981, que corresponden a un punto situado entre la orilla y la "Mata del Fang". Datos de 1973 tomados de Dafauce (1975); 1978 de López (1983); y 1981 de Serra *et al.* (1984).

Annual means of some parameters in different years in Albufera central zone (except 1981 values which correspond to a point between the shore and "Mata del Fang").

Variable	1973	1978	1981	1985
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1650.00	1552.50	1400.51	2167.50
pH	8.76	9.23	9.17	9.03
Oxígeno (mg/l)	10.8	9.15	10.97	11.93
Alcalinidad (meq/l)	-	1.81	1.46	2.30
Sulfato (meq/l)	7.3	7.30	7.82	9.15
Cloruro (meq/l)	7.03	9.03	5.66	9.92
Nitritos (μM)	5	0.67	2.35	3.73
Nitratos (μM)	40	4.14	19.99	31.78
Silicato (μM)	-	111.73	105.50	106.72
Fosfato (μM)	0.17	4.18*	0.47	0.14
Cloruro/Sulfato	0.96	1.24	0.72	1.08
Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g}/\text{l}$)	24.7	-	485	324

* Este valor corresponde al fósforo ácido lábil total por lo cual la cantidad es superior a la de las otras épocas, cuyos valores son los del ortofosfato disuelto.

* This value is total reactive phosphorus other values are dissolved orthophosphate.

La biomasa

En la Albufera, la biomasa durante el verano excede de los 400 $\mu\text{g}/\text{l}$ de clorofila. Estos valores son muy altos y son indicación de un sistema

hipertrófico. Barica (1980) considera sistemas hipertróficos aquellos con cantidades de clorofila *a* superiores a 400 $\mu\text{g}/\text{l}$ o biomasa superior a 100 $\mu\text{g}/\text{l}$. Se debe destacar que los máximos de clorofila en este estudio se cifran en 625 $\mu\text{g}/\text{l}$ para septiembre en el punto 11. Estos máximos son algo inferiores a los encontrados en otros trabajos recientes (Miracle *et al.*, 1984, 1987) que dieron 800 $\mu\text{g}/\text{l}$ en mayo de 1981 y cerca de 700 $\mu\text{g}/\text{l}$ durante julio de 1983. Los valores medios de clorofila para el lago se sitúan en torno a 400 $\mu\text{g}/\text{l}$ para el año 1985, indicando una disminución del contenido en pigmentos con respecto a años anteriores, favorecido por un aumento del lavado del lago (apertura de las compuertas) para evitar las altísimas concentraciones de algas.

La determinación del seston se limitó a un tamaño mínimo de 9.8 μm^3 , por lo que el pico-plancton y las partículas inferiores al volumen de una esfera de 2.65 μm ϕ no se consideraban. A pesar de esta limitación, el peso del seston llega hasta 92 $\mu\text{g}/\text{l}$ y la media para la Albufera se sitúa en 50.3 $\mu\text{g}/\text{l}$ con una desviación típica de 15.23. Los máximos de seston en peso coinciden aproximadamente con los de clorofila *a*, pero la relación clorofila *a* / seston en peso es mayor durante el verano y otoño, disminuyendo en invierno y primavera (Tabla 3). Sin embargo, la relación entre la clorofila y el número de partículas alcanza sus máximos en diciembre y enero. Esto se explica al considerar que en invierno los componentes del plancton están en menor cantidad, pero son de mayor tamaño y por lo tanto con mayor contenido en pigmentos por individuo que los de primavera. Es frecuente encontrar en la bibliografía (Margalef, 1983) tamaños mayores en las épocas frías y menores en las épocas de rápido crecimiento. En el caso de la Albufera se observa una variación de la longitud de los filamentos acorde con lo explicado. El aumento del número de partículas sin correspondencia con un aumento de la clorofila como sucede en los meses de febrero y abril se explica además por el arrastre de materiales sin clorofila hacia la Albufera por las aguas pluviales y el desagüe de las campos de arroz.

El pH presenta valores comprendidos entre el máximo de 9.77 y 7.54 de mínimo. Los valores en

Tabla 3. Medias de la clorofila *a*, seston en mg/l y en número de partículas/μl y sus correspondientes relaciones para los puntos de la Albufera en cada día de muestreo.

Means of Albufera chlorophyll *a*, seston concentration (mg/l and particles/μl) and their relations in each sampling date.

	<u>27 febr</u>	<u>26 abril</u>	<u>21 junio</u>	<u>17 sept</u>	<u>3 dic</u>	<u>16 ener.</u>
Clorof <i>a</i> μg/l	266.49	290.37	265.44	466.57	253.76	330.24
seston mg/l	46.34	50.81	37.49	69.60	36.36	55.16
seston part/μl	822.54	734.67	651.64	525.54	211.69	275.20
Clorof <i>a</i> /seston (mg/l)	5.75	5.71	7.08	6.70	6.98	5.99
Clorof <i>a</i> / seston (part/μl)	0.32	0.40	0.41	0.89	1.20	1.20

el interior del lago son extraordinariamente elevados, sobre todo en verano, cuando la actividad fotosintética es mayor; los valores mínimos se presentan en las acequias siempre que tengan corriente de agua hacia la Albufera, porque con flujo reverso llevan agua de ésta. Las aguas del lago no pueden amortiguar el ascenso de pH dada la escasa reserva alcalina que tienen y éste se sitúa con facilidad entre 9 y 10 unidades. Entonces se favorece la precipitación del fósforo, que disminuye más aún la reserva alcalina, y la formación de compuestos tóxicos como el hidróxido amónico.

El potencial de oxidorreducción (Eh) presenta unos valores muy constantes en cada muestreo para todos los puntos, alrededor de 300-400 mV, salvo en el barranco de Massanassa, que siempre presenta el valor mínimo, y en los casos de mayor corriente de agua, su valor era negativo, lo que coincidía con situaciones de anoxia total. Los valores encontrados oscilaron entre el máximo de 468 mV para la acequia de Overa en abril y el mínimo de -109 mV en el barranco de Massanassa en abril.

Los puntos del interior de la Albufera debido al gran desarrollo fitoplanctónico mencionado presentan condiciones de sobresaturación de oxígeno de hasta 19.8 mg/l (213 %). La concentración es variable en las demás acequias y barrancos, pero siempre con valores bajos debido a que existe un consumo del oxígeno producido por la oxidación de la materia orgánica, llegando en el barranco de Massanassa a situaciones de anoxia total especialmente en invierno, momento en que

la corriente de salida de agua es más intensa y se llega a detectar en nuestro punto de muestreo. Durante el verano, mientras dura el cultivo del arroz, el consumo de agua en la zona arrocería produce un flujo reverso, por lo que el agua del punto de muestreo procedía de la Albufera.

La profundidad de visión del disco de Secchi se puede emplear para estimar la transparencia del agua e indirectamente la cantidad de clorofila. Shapiro *et al.* (1975) propuso la expresión: $D \bullet [\text{Clor}]^{0.68} = 7.7$. Y Rull *et al.* (1984) en un estudio sobre los embalses españoles propone: $D \bullet [\text{Clor}]^{0.17} = 3.5$.

Aplicando la misma metodología a la Albufera y las acequias, la relación obtenida es de $D \bullet [\text{Clor}]^{0.19} = 0.68$ con un coeficiente de correlación de -0.57.

Sin embargo, se obtiene una relación mucho mejor cuando se aplica la misma regresión sobre los valores del peso del seston frente al disco de Secchi. La expresión obtenida fue: $D \bullet [\text{Seston mg/l}]^{0.45} = 1.21$ con un coeficiente de correlación superior (-0.79).

Rull *et al.* (1984) observa que en la época de mezcla en los embalses el efecto de las partículas sobre la transparencia del agua es tanto o más importante que el de la clorofila. En la Albufera, de aguas someras generalmente turbias, se da una situación similar dada la elevada cantidad de partículas en suspensión, algunas de ellas sin clorofila.

Análisis estadístico de los resultados

El análisis de las correlaciones (Fig. 3) revela la existencia de cuatro grupos principales de parámetros relacionados: El grupo 1 está formado por las variables que representan la mineralización de las aguas. El grupo 2 reúne las variables relacionadas con la biomasa y la producción primaria. Los grupos 3 y 4 reúnen los nutrientes característicos de los aportes de las acequias del Sur (grupo 3) y del Norte (grupo 4), respectivamente.

La correlación entre dos parámetros puede ser reflejo de la existencia de una interacción entre ellos, o bien que exista un factor que afecte por igual a los dos. En el primer caso se encuentran la alcalinidad y el pH, entre los que aparece una correlación negativa de -0.55. Esto se debe a que la actividad fotosintética desplaza el equilibrio car-

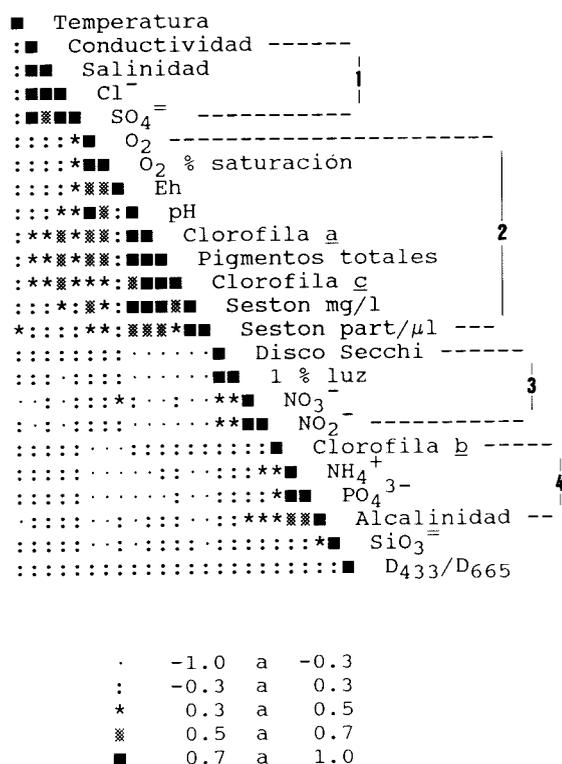


Figura 3.- Hemimatriz de correlaciones en forma ordenada, según un análisis de agrupación, indicando los grupos principales de variables asociadas (1 a 4).

Correlation matrix between the studied variables, indicating the groups of closely associated variables (1 to 4). They are ordered according to a cluster analysis.

bónico-carbonato, favoreciendo la precipitación del carbonato cálcico, es decir, disminuyendo la alcalinidad o bien aumentando el pH. Por el contrario, las correlaciones entre los diferentes elementos como fosfato y amonio, de 0.83, no reflejan un equilibrio químico entre ellos, sino la existencia de un proceso que los afecta a ambos por igual, o sea, ponen de manifiesto la existencia de condiciones (pH y Eh bajos) que favorecen la solubilización del fosfato y el mantenimiento de la forma reducida de los compuestos de nitrógeno.

Para estudiar de forma conjunta las interacciones de todos los parámetros se ha utilizado un análisis de componentes principales, cuyos resultados se presentan en las figuras 4a y 4b. Este análisis permite establecer las relaciones entre las distintas variables y obtener unas nuevas variables compuestas, las componentes principales, que explican la mayor parte de la varianza común de los datos.

En la tabla 4 se observa que las tres primeras componentes principales explican ya un 66 % de la varianza total de los datos. Las figuras 4a y 4b sitúan las variables originales respecto a las tres primeras componentes según sus coeficientes de correlación tomados de la matriz de estructura.

Tabla 4. Varianza explicada (valores propios) y proporción acumulada de varianza total explicada por las componentes con valores propios superiores a 1, resultantes del análisis de componentes principales.

Common variance (eigenvalues) and cumulative percentage of variance accounted for the principal components with eigenvalues greater than one.

Componente	Varianza Explicada	Proporción de varianza acumulada
1	8.482	0.353
2	4.028	0.521
3	3.414	0.663
4	1.910	0.743
5	1.368	0.800
6	1.256	0.852

La primera de estas componentes, que explica un 35 % de la variación, se puede asociar al nivel de eutrofia. Las variables de mayor peso en la parte positiva (Figs. 4a, 4b) son los pigmentos totales, clorofila a, seston, oxígeno, sulfato y conductividad. Por otro lado los nutrientes fosfato,

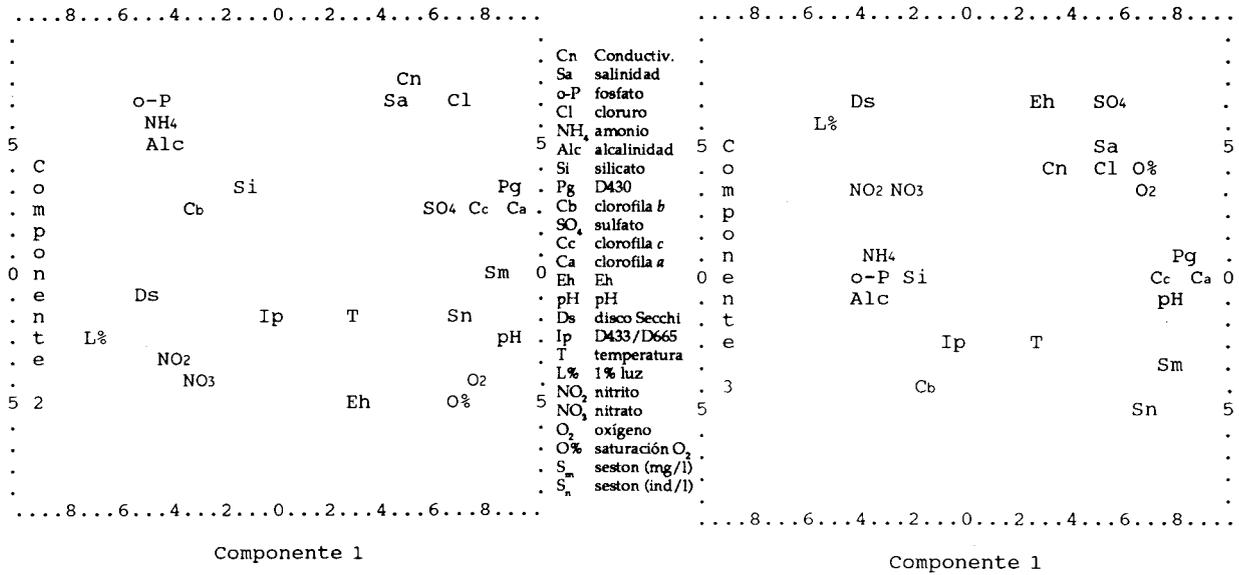


Figura 4a: Posición relativa de los distintos parámetros en el espacio de las dos primeras componentes principales. Las coordenadas son los respectivos coeficientes de correlación.

Relative position of each parameter in the space dimensioned by the first two principal components. The coordinates are the respective correlation coefficients.

Figura 4b: Posición relativa de los distintos parámetros en el espacio de la primera y tercera componentes principales. Las coordenadas son los respectivos coeficientes de correlación.

Relative position of each parameter in the space dimensioned by the first and third principal components. The coordinates are the respective correlation coefficients.

amonio, nitrato, nitrito, la alcalinidad y la penetración luminosa muestran correlaciones negativas altas con esta componente. Así pues, la primera componente ordena las muestras según la biomasa y actividad fotosintética. En su parte positiva define aguas cuya biomasa es elevada, y por lo tanto, debido a su actividad fotosintética también son elevados el oxígeno y pH. En cambio, la alcalinidad es baja al ser favorecida la precipitación del carbonato por el pH mayor que 8; los nutrientes son bajos por incorporación por parte del fitoplancton y la penetración luminosa y transparencia del agua también lo son cuando la densidad de población es elevada. La parte negativa define aguas con elevadas concentraciones de nutrientes pero escasa biomasa y correspondería a las acequias cuando presentan corriente de agua hacia el lago, frente a la situación de las aguas de la Albufera, donde además se da una conductividad más elevada, con concentraciones de cloruro, sulfato más altas que en las acequias.

La segunda componente, que explica un 17 % de la variación de los datos se puede asociar a la naturaleza de los aportes en las aguas que entran a la Albufera. Esta componente está correlacionada positivamente con las variables fosfato, amonio, alcalinidad, conductividad, cloruro y salinidad, que nos definen el tipo de aportes del Norte (principalmente Carrera de El Saler y barranco de Massanassa), donde estas variables tienen valores más elevados, mientras que las correlaciones negativas significativas lo son con las variables nitrato, nitrito, penetración luminosa, oxígeno y redox, cuyos valores más altos caracterizan las acequias de la zona sur (Overa y La Sequiota). En estas acequias, la carga de contaminantes es de tipo agrícola, en contraposición a las de la zona norte, donde la carga contaminante es de tipo urbano e industrial. Es de señalar que estos dos tipos de cauces quedan bien definidos por su diferente composición en nutrientes: fosfato y amonio por un lado y nitritos y nitratos por otro,

que confirman los diferentes tipos de contaminación: aguas residuales con potencial de oxidorreducción, pH y concentración de oxígeno disuelto bajas o nulas que favorecen la formación de compuestos reducidos de nitrógeno y la solubilidad de los fosfatos, frente a las aguas agrícolas cargadas de nitratos y más oxigenadas

La tercera componente explica un 14 % de la varianza de los datos y es de interpretación difícil. Viene determinada por la transparencia del agua, el potencial de oxidorreducción y el sulfato, en contraposición con el seston, clorofila *b*, índice de Margalef (D433/D665) y temperatura. Esta componente, aunque enmascarada por las diferentes características de las acequias, tiende a responder a la variación anual de las variables. En invierno y en épocas de mayor flujo de agua debido a la apertura de las compuertas, las aguas son más

transparentes, más oxigenadas y menos reducidas, en contraposición a la primavera y verano, en que el seston y la temperatura son mayores.

Mientras la componente 2 asocia una mayor salinidad, principalmente debida al cloruro, con un potencial redox bajo, determinados ambos por la contaminación urbana e industrial, la componente 3 asocia el potencial redox alto con la salinidad, especialmente debida a los sulfatos, lo que caracteriza a aguas con una mayor influencia fluvial y las diferencia de las aguas más estancadas con mayor cantidad de plancton especialmente en verano, cuando las temperaturas son altas, y sobre todo de las aguas con mayor contaminación urbana e industrial (especialmente el barranco de Massanassa en invierno - primavera, con aguas negras de poca penetración luminosa, Eh y oxígeno mínimos y clorofila *b* alta, conse-

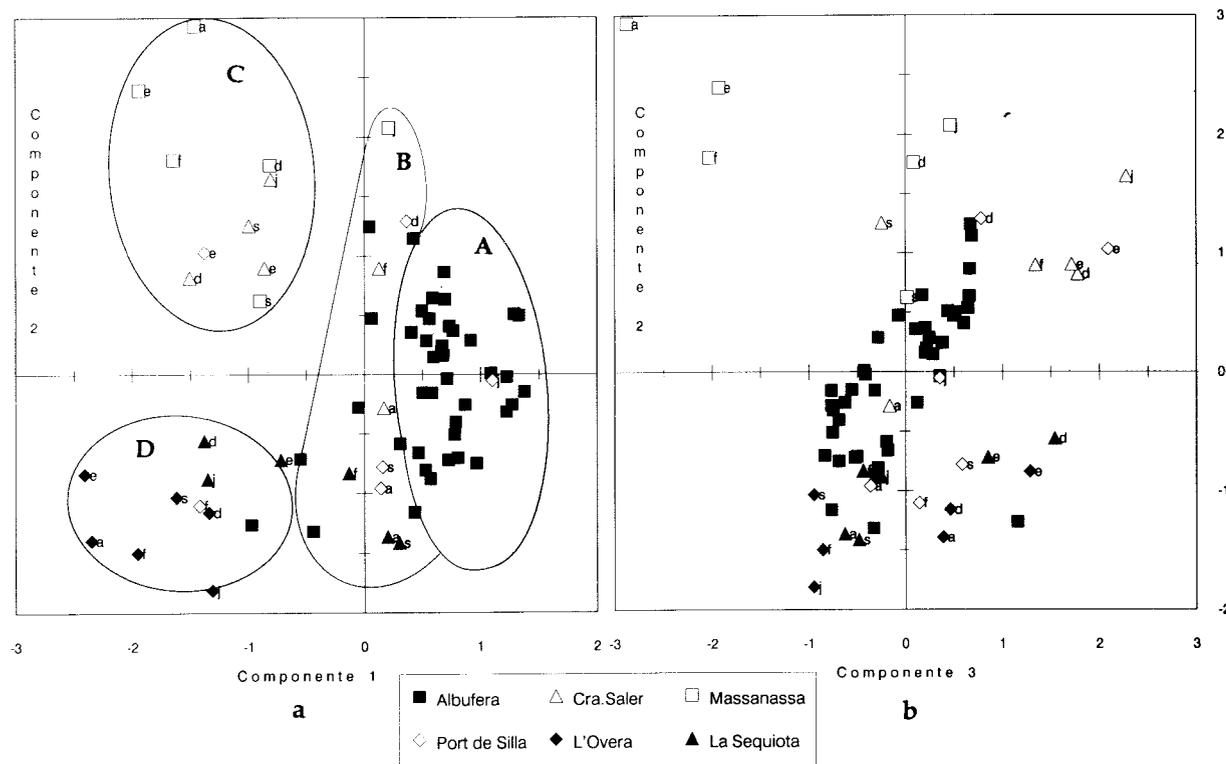


Figura 5: Ordenación de las diferentes muestras en el espacio dimensionado por las dos primeras componentes principales factorizadas (a) y la segunda y tercera componentes (b). Las letras contiguas a los símbolos de las acequias son las iniciales del mes de muestreo. Los grupos A, B, C, D asociando las muestras se explican en el texto.

Ordination of the samples in the space dimensioned by the first two principal components. The coordinates are the respective factor scores. The letters beside the channel symbols are the initial of the sampling months. Group A, Albufera samples; B, Albufera samples influenced by the respective channel and viceversa; C, Northern channels; D, Southern channels.

cuencia del desarrollo de euglenales y clorofíceas en ese punto, frente a una dominancia de cianobacterias o diatomeas en el resto).

La representación de las muestras en el espacio definido por las componentes principales nos confirma la antedicha interpretación (Figs. 5a y 5b). En la parte positiva de la primera componente se sitúan las muestras de la Albufera (puntos 6 al 12) y aquellas muestras tomadas en las acequias durante los periodos de flujo reverso, cuando las características de sus aguas eran similares a las de la Albufera. Por su parte negativa quedan las muestras de las acequias, que en su mayoría son de características totalmente distintas a las de las aguas del lago.

La segunda componente nos separa los diferentes tipos de acequias. En la parte positiva se sitúan las muestras de las acequias de la zona norte, cuando sus aguas presentan una carga importante de elementos contaminantes con características propias de los residuos de origen urbano e industrial: concretamente aquí están todas las muestras del barranco de Massanassa (punto 2), las de carrera de El Saler (punto 1; excepto la correspondiente al mes de abril), y las de "Port de Silla" (punto 3) correspondientes a diciembre y enero. En la parte negativa de esta componente se sitúan las muestras correspondientes a la zona sur, cuyas aguas llevan contaminantes de origen agrícola: concretamente están las muestras de la acequia de Overa (punto 4), y también las muestras de La Sequiota (punto 5), junto con algunas muestras del "Port de Silla" (las de febrero, abril y septiembre). En esta última, el mayor flujo de agua procedente de la zona agrícola principalmente en febrero y la influencia alternativa de la Albufera en su desembocadura (Abril, Junio y Septiembre) explica la diferente posición de sus muestras respecto a las de las otras acequias de la zona norte, dependiendo del momento en que fueron tomadas. Así, sólo en Diciembre y Enero cuando este cauce se ve influido por la contaminación urbano-industrial, se comporta propiamente como las acequias del Norte. Respecto a esta componente, la mayoría de los puntos de la Albufera se sitúan en una posición intermedia entre las acequias del norte y las del sur. Sin

embargo, algunos puntos de la Albufera se disponen cerca de las zonas correspondientes a acequias del norte o acequias del sur, puesto que corresponden a los puntos de muestreo situados frente a la desembocadura de ellas y su proximidad hace que tengan más influencia de las acequias, de tal manera que en los periodos de mayor corriente de agua afluente al lago, estas muestras se asemejan a las de la acequia correspondiente, separándose del resto de puntos de la Albufera.

La tercera componente separa las muestras de las acequias con mayor variación en el ciclo anual. En posición intermedia, con poca oscilación cerca del origen de coordenadas quedan las muestras de la Albufera y aquellas acequias más estables durante todo el ciclo, como son La Sequiota y Overa. Debido a la combinación de variables antes indicada, este factor diferencia principalmente las acequias de la zona norte entre sí, y sitúa en zonas extremas, por un lado la Carrera de El Saler (más salina y menos contaminada por materia orgánica) y por el otro el barranco de Massanassa (con más contaminación orgánica). La separación de las muestras debida a la variación temporal depende de la dinámica específica de las distintas acequias.

Por lo tanto, atendiendo a los resultados del análisis de componentes principales se pueden separar las muestras en cuatro grupos:

Grupo A: Muestras donde la biomasa es elevada (mayor de 200 g/l de clorofila *a*), y la fotosíntesis muy alta. El resultado es la sobresaturación de oxígeno, aumento del pH, descenso de la alcalinidad, escasa transparencia del agua y cantidad de nutrientes muy baja, al estar inmovilizados en la biomasa. Correspondería a los puntos de la Albufera no influenciados por acequias (Llebeig de L'Antina -11-, central -8-, frente port de Silla -6-, frente Carrera de El Saler -9- y Gola del Pujol -10).

Grupo B: Muestras con biomasa menor de 200 g/l de clorofila *a*., situados en zonas de mezcla de aguas de acequia y Albufera. Sus características dependen del tipo de acequia que las influencia y de la época del año, siendo su composición iónica variable. Corresponden a los puntos de muestreo situados en La Sequiota -5-, Port de Silla

-3-, Carrera de El Saler -1- y los del interior de la Albufera, frente a Overa -12- y Flotó de Llebeig -7- (frente al barranco de Massanassa).

Grupo C: Muestras correspondientes a acequias cuyas aguas recogen residuos de origen urbano e industrial. Contienen gran cantidad de elementos nutrientes. Su biomasa es escasa, en torno a 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ de clorofila *a*. Las concentraciones de amonio y fosfato son elevadas y el oxígeno disuelto escaso. La alcalinidad es elevada. Corresponde a los puntos de muestreo situados en acequias de la zona norte: barranco de Massanassa -2- y Carrera de El Saler -1-).

Grupo D: Muestras correspondientes a acequias cuyas aguas presentan contaminación agrícola principalmente. Son escasos los fosfatos y muy abundantes los nitratos y nitritos. Su biomasa es muy baja, menor de 50 $\mu\text{g}/\text{l}$, de clorofila *a* y la transparencia del agua es más alta que en el resto de los puntos. Corresponde a los puntos de muestreo situados en la Acequia de Overa -4- y en ocasiones La Sequiota -5- y Port de Silla -3-.

CONCLUSIONES

1. La Albufera de Valencia y acequias circundantes constituyen un conjunto de aguas oligohalinas templadas cuya composición aniónica cloruro:sulfato:alcalinidad es en el lago de 4:2:1 y en las acequias 2:2:1 como consecuencia de una mayor influencia marina en el lago, frente a la continental y los procesos de contaminación en las acequias.

2. El estudio de las propiedades ópticas del agua revela una muy reducida transparencia en la Albufera, consecuencia del extraordinario crecimiento algal, frente a valores superiores en las acequias. La medida del coeficiente de extinción de la luz en el agua con ayuda del disco de Secchi presenta mejor ajuste en las regresiones con el peso de las partículas en suspensión que con el contenido en clorofila *a* de las muestras.

3. La concentración de los nutrientes fundamentales (nitrógeno y fósforo) es muy superior en las acequias si se compara con el agua estabilizada en el lago, de tal manera que la concentración de N y P en la Albufera es de 10 a 100 veces menor dependiendo de las acequias consideradas.

4. La densidad del fitoplancton en el lago se acerca en varios momentos del ciclo anual a millón de individuos por mililitro, que corresponden a una concentración de clorofila *a* en el agua de hasta 600 g/l y un peso total de seston de hasta 90 mg/l .

5. Un análisis estadístico multivariante de componentes principales confirma que la variación de los datos viene determinada por tres factores fundamentales. En primer lugar un 35 % de la varianza viene explicada por la eutrofización, que contrapone la biomasa del plancton (clorofila y seston) con los nutrientes. De esta manera quedan por un lado caracterizadas las acequias, con una gran carga de nutrientes, y por otro la Albufera con una gran biomasa que agota los aportes de nutrientes. En segundo lugar, un 17 % de la varianza es explicada por la diferenciación de las acequias de la zona sur, con aportes agrícolas, y las de la zona norte, con una gran carga de vertidos urbanos e industriales. La Albufera se sitúa en un punto intermedio entre estas dos zonas. Las acequias del sur son aguas oxigenadas y más transparentes con concentraciones altas de nitratos y nitritos y las acequias del norte son aguas oscuras con escaso oxígeno, mucha materia orgánica, potencial de oxidorreducción bajo y cargadas de amonio y fosfato. En tercer lugar, un 14 % de la varianza se debe a la diferenciación de las acequias de la zona norte entre sí y a la variación anual de todas las acequias, que presentan una gran variabilidad en el tiempo de acuerdo con el régimen de las aguas, predominando en algunas ocasiones los vertidos urbanos y en otras llevando una mayor proporción de aguas agrícolas o bien cambios debidos a un menor flujo de agua o incluso flujo reverso en los momentos en el que el agua de la Albufera penetra en la zona terminal de la acequia.

6. De los análisis químicos del agua se deduce la mayor contaminación de las acequias y zona norte del lago, frente a una mejor calidad de las aguas en la zona sur. El conjunto de la Albufera podríamos asemejarlo en su funcionamiento al de un quimiostato. Las aguas cargadas de nutrientes son aportadas al lago por las acequias circundantes, y así mantienen la gran biomasa de la Albufera en continuo crecimiento. Todos los aportes nutricionales son incorporados a los organismos muy rápidamente o van al sedimento, lo que explica el bajo contenido en nitrógeno y sobre todo en fósforo de las aguas del lago, al tiempo que una parte de la biomasa sale del sistema por

los efluentes hacia el mar o pasa al sedimento como consecuencia de la deposición de materia orgánica que no ha podido ser degradada.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la subvención otorgada por la CAICYT a M. R. M. (Proyecto 915/81) y a las facilidades prestadas por el Excmo. Ayuntamiento de Valencia.

BIBLIOGRAFÍA

- BARICA, J. 1980. Why hypertrophic ecosystems? En Barica, J. y L. R. Mur (eds.), *Hypertrophic ecosystems*. W. Junk Bv Publishers. La Haya. pp. ix-xi.
- DAFAUCE, C. 1975. *La Albufera de Valencia: un estudio piloto*. Monografías del ICONA. Ministerio de Agricultura. 4:1-127.
- GOLTERMAN, H.L., R.S. Clymo y M. Ohnstad. 1978. *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. IBP Handbook nº 8. 214 pp.
- LÓPEZ LASERAS, M.P. 1983. Aguas salinas epicontinentales próximas a la costa mediterránea española. Estudio del medio. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona.
- MARGALEF, R., D. PLANAS, J. ARMENGOL, A. VIDAL, N. PRAT, A. GUISET, J. TOJA y M. ESTRADA. 1976. *Limnología de los embalses españoles*. Dir. Gral. Obr. Hidrául. MOPU. Madrid. 422 pp.
- MARGALEF, R., 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona. 1009 pp.
- MIRACLE, M.R., M.P. GARCÍA y E. VICENTE. 1984. Heterogeneidad espacial de las comunidades fitoplanctónicas de la Albufera de Valencia. *Limnetica* 1:20-31.
- MIRACLE, M.R., J.M. SORIA, E. VICENTE y S. ROMO. 1987. Relaciones entre la luz, los pigmentos fotosintéticos y el fitoplancton en la Albufera de Valencia, laguna litoral hipertrófica. *Limnetica* 3: 25-34.
- ROSELLÓ, V.M. 1979. Els espais albuferencs del País Valencià. *Acta Geològica Hispànica* 14:487-493.
- RULL, V., T. VEGAS y J. NAVARRO. 1984. Extinción de la luz en los embalses españoles. Relaciones con la concentración de clorofila y las partículas en suspensión. *Oecologia aquatica* 7:25-35.
- SERRA, M., M.R. MIRACLE y E. VICENTE. 1984. Interrelaciones entre los principales parámetros limnológicos de la Albufera de Valencia. *Limnetica* 1:9-19.
- SHAPIRO, J., J.B. LUNDQUIST y R.E. CARLSON. 1975. Involving the public in Limnology. An approach to communication. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 19:866-874.
- STRICKLAND, J.R. y T.R. PARSONS. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. J. Fish. Res. Bd. Canada. 311 pp.