

# INTERRELACIONES ENTRE LOS PRINCIPALES PARAMETROS LIMNOLOGICOS DE LA ALBUFERA DE VALENCIA

M. Serra (1), M. R. Miracle (1) y E. Vicente (2)

Departamento de Ecología (1) y Departamento de Microbiología (2). Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Valencia.

Palabras Clave: Hypertrophic lagoons, limnological relationships, principal components, Albufera of Valencia (Spain)

## ABSTRACT

RELATIONSHIPS AMONG THE MAIN LIMNOLOGICAL PARAMETERS OF THE ALBUFERA OF VALENCIA (SPAIN), AN HYPERTROFIC COASTAL LAGOON.

The main limnological parameters of the Albufera of Valencia have analysed during an anual cycle in the vertical profile and different hours of the day. A principal components analysis was carried out with all these data in which 31 variables were considered. The first three principal components accounting for 50% of the variance, are ecologically interpretable. They correspond respectively to: (1) eutrophic level, (2) salinity whose variation is associated to the use of the Albufera as a regulator of rice farming and (3) temperature. The first component separates a compact group of variables constituted by chlorophyll *a*, carotens and particulated phosphorus concentrations, pH and copepod numbers, from another formed by alkalinity, calcium and nutrients. The second component is highly correlated with also a compact group of variables: sulphate, chloride, silicate, sodium, magnesium and potassium. The third one is correlated with temperature and rotifer densities separates summer conditions from the rest. Samples in the principal components space resulted ordered according the seasons of the year, so the analysis indicates that the main source of variation is the annual cycle.

Another principal components analysis was undertaken with the aim of making apparent the relationships among the parameters in the daily cycle; in it each parameter was treated as a different variable for each sampling date. The first principal component of this analysis is associated with the photosynthetic activity and it is rather related to depth. The second component separates midday conditions from the rest of the hours. With this analysis it is made again apparent a close association of pH, percentage saturation oxygen, redox potential and pigments index as contrasted with another larger group of parameters formed by calcium and nutrients.

## INTRODUCCION

Durante los años 1980-1981 se ha llevado a cabo un estudio de los ciclos anual y diario en la Albufera de Valencia, midiéndose los parámetros limnológicos más importantes. Estos parámetros incluyen tanto variables físico-químicas como aquellas variables biológicas que, de algún modo, pueden resumir el estado de la comunidad planctónica en el lago. Algunas consideraciones subrayan el particular interés de éstos datos para explorar la estructura de la variación e interrelaciones de los principales factores o elementos

del sistema acuático, basándose en las especiales características de la Albufera de Valencia, que por lo demás, están descritas en otros dos artículos de este mismo volumen (Miracle *et al.*, 1984 y Oltra y Miracle, 1984). En primer lugar, la Albufera es un sistema hipertrófico, sometido a un *stress* que conlleva amplias fluctuaciones de los diversos parámetros, sufriendo además un ritmo de eutrofización lo suficientemente intenso para que se pueda plasmar en cambios no sólo cíclicos sino también tendenciales en un periodo de tiempo de poco más de un año. Por otra parte, existe una manipulación de la renovación del

agua ligada al cultivo del arroz, que se lleva a cabo con una regularidad anual. Esta manipulación tiene como consecuencia, no sólo variaciones en el nivel de las aguas, sino la exageración de las condiciones hidrológicas de la laguna, ya que se pasa de un estado de prácticamente nula renovación de las aguas a un flujo muy intenso con el consiguiente descenso de la salinidad y densidad poblacional.

El objeto de este trabajo es intentar, con ayuda de las técnicas de la estadística multivariada, poner de manifiesto y ordenar las relaciones entre los diversos parámetros limnológicos estudiados para, de este modo, establecer un modelo de las variaciones conjuntas y de las distintas tendencias de los principales elementos constituyentes de un sistema acuático hipertrófico.

## MATERIAL Y METODOS

Se siguió la evolución de los principales parámetros limnológicos en una estación de muestreo situada en el punto más profundo (3.25 m) de la Albufera de Valencia, situada entre "La Mata del Fang" y la orilla Este del lago. Las muestras se tomaron a 0, 1, 2 y 3 m de profundidad, en tres momentos distribuidos a lo largo del día. Los muestreos se efectuaron desde finales de Abril de 1980 a Julio de 1981, con periodicidad mensual en primavera y verano y cada 2 ó 3 meses durante el resto del año. Las determinaciones físico-químicas se han llevado a cabo según las técnicas propuestas por Golterman *et al.*, 1978. Entre los parámetros biológicos considerados, la medida de la concentración de pigmentos fotosintéticos se llevó a cabo según Strickland y Parsons, 1978; la producción primaria y asimilación oscura del plancton (método de la fijación del  $C^{14}$ ), siguiendo las indicaciones de Vollenweider, 1974; los recuentos de zooplancton según Miracle, 1974; y las estimas de los grupos bacterianos (recuento total en placa sobre medio CPS y número más probables de microorganismos desnitrificantes recontados en DPS) según se indica en Guerrero *et al.*, 1975.

Los valores de todas las variables, con excepción del pH y del índice pigmentario de Margalef (D430/D665), fueron transformados previamente al cálculo de la matriz de correlación con objeto de aproximar su distribución a la distribución normal. Las variables que expresan porcentajes se transformaron tomando la raíz cuadrada positiva de sus valo-

res, mientras que el resto se transformó logarítmicamente (para obviar el problema de valores 0 se sumó la unidad a los valores originales de estas variables salvo en el caso del potencial redox al cual se le sumó 69). Se hicieron dos análisis de componentes principales de la matriz de correlación lineal; el primero de ellos sobre el total de muestras y todos los parámetros medidos como variables (103 casos y 31 variables) y el segundo con las muestras agrupadas según profundidad y hora, y considerando los parámetros para cada día de muestreo como variables diferentes e independientes (9 casos y 76 variables). En este segundo análisis sólo se consideraron aquellos parámetros que variaban según la profundidad y el ciclo diario (señalados con un asterisco en la Tabla I). Los análisis se realizaron en el Centro de Cálculo de la Universidad Politécnica de Valencia utilizando los paquetes estadísticos SPSS y BMDP.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la tabla I se muestran los parámetros estudiados y sus valores medios, valores que permiten una primera aproximación a las características de la Albufera de Valencia. Se trata de aguas oligohalinas, cuyas proporciones iónicas en equivalentes disueltos corresponden a unas características mucho más cercanas a las de las aguas dulces que a las del mar. Así pues, la concentración de cloruros es siempre inferior a la de sulfatos en 1 a 3 meq y el  $Ca^{++}$  está en proporciones que pueden igualar en algunas ocasiones al  $Na^{+}$ . Las concentraciones de  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  son normalmente muy similares, si bien el  $Ca^{++}$  muestra en la mayoría de los casos valores ligeramente superiores. Las aguas de la Albufera corresponden a las relaciones siguientes:  $SO_4^{--} > Cl^{-} > Al^{3+} > Na^{+} > Ca^{++} > Mg^{++} > K^{+}$ .

Por otra parte, los valores encontrados para los demás parámetros son consecuencia de la elevada producción primaria de la laguna. Así pues, presenta: (1) una reserva alcalina muy baja, (2) un pH extraordinariamente alto con un marcado ciclo diario y anual; y (3) niveles de oxígeno fluctuantes, pero normalmente de sobresaturación, si bien el potencial redox se mantiene siempre bajo como consecuencia de la gran cantidad de compuestos orgánicos presentes en el agua. Además, todos los parámetros biológicos ponen de manifiesto el estado de extrema hipertrofia de la laguna.

La variación anual de algunos parámetros viene

Tabla 1- Medias, desviaciones típicas y número de observaciones de las variables estudiadas. Junto al nombre de la variable se indica la abreviatura utilizada en las figuras. Las variables señaladas con \* son las incluidas en el análisis de componentes principales II. Means, standard deviations and number of observations of the parameters studied. Abbreviations used in the figures are indicated before its complete name. Parameters marked with \* are those in which principal components analysis II is based.

VARIABLE	MEDIA	DESVIACION TÍPICA	Nº CASOS
Temperatura, Temp. (Cº)	20.75	6.00	103
Conductividad, Cond. ( $\mu\text{Si}/\text{cm}$ )	1400.51	232.68	91
* pH	9.17	0.77	103
*Alcalinidad, Alc. (meq/l)	1.46	0.52	101
*Potencial Redox, Eh (mV)	282.18	258.45	70
Sulfatos, $\text{SO}_4^{2-}$ (meq/l)	7.82	0.83	90
*Nitratos, $\text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{mol}/\text{l}$ )	19.99	23.81	103
Nitritos, $\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{mol}/\text{l}$ )	2.35	2.55	90
*Ión Amonio, $\text{NH}_4^+$ ( $\mu\text{mol}/\text{l}$ )	10.81	15.15	78
Silicatos, $\text{SiO}_3^{2-}$ ( $\mu\text{mol}/\text{l}$ )	105.50	68.02	78
Cloruros, Cl (meq/l)	5.66	1.05	78
Sulfuros, $\text{S}^{2-}$ ( $\mu\text{g S}^-/\text{l}$ )	0.02	0.07	103
Ión Sodio, $\text{Na}^+$ (meq/l)	5.41	1.21	100
Ión Potasio $\text{K}^+$ (meq/l)	0.16	0.04	87
*Ión Calcio, $\text{Ca}^{2+}$ (meq/l)	4.50	0.54	87
Ión Magnesio, $\text{Mg}^{2+}$ (meq/l)	4.46	0.42	87
Oxígeno, $\text{O}_2$ (mg/l)	10.97	4.46	103
*% Saturación $\text{O}_2$ , % $\text{S.O}_2$ (%)	117.35	41.82	103
*Fosfato Soluble, $\text{PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{mol}/\text{l}$ )	0.47	0.29	103
Fosfato Particulado, PP ( $\mu\text{mol}/\text{l}$ )	14.89	4.81	103
Clorofila <i>a</i> , Cl <i>a</i> ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )	485.63	198.19	103
Carotenos, Car ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )	197.75	67.42	103
*Índice Pigmentos: D430/D665 (I.P)	2.15	1.03	103
Producción Primaria, P I ( $\text{mg C}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ )	79.75	236.33	90
Asimilación Oscura, AS O ( $\text{mg C}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ )	14.02	16.34	90
Doc Producción Primaria, Doc P I ( $\text{mg C}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ )	17.97	34.62	78
Doc Asimilación Oscura, Doc AS O ( $\text{mg C}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ )	6.10	16.72	78
Nº Microorganismos Totales, MT (colonias/ml)	178091.28	130312.52	103
Nº Microorganismos Desnitrificantes, MDN (NMP/100ml)	1172.94	3644.91	87
Nº de Rotíferos, RF (Ind./l)	1274.34	2534.29	97
N* de Copépodos y Cladóceros, CC (Ind./l)	318.90	187.29	97

ilustrada en la figura 1. La gráfica correspondiente a la temperatura pone de manifiesto unas aguas cálidas con una estación fría muy suave, con temperaturas no inferiores a los 10°C. Los otros tres parámetros representados, están ligados a la variación de la actividad fotosintética con un elevado máximo en primavera y un mínimo en otoño-invierno. Así, la clorofila *a* presenta una evolución paralela a la del pH e inversa a la de la alcalinidad. Sin embargo, la clorofila *a* muestra una variación algo más compleja que el pH, ya que a la floración primaveral le sigue un mínimo relativo, con una posterior recuperación en el mes de agosto. La oscilación descrita puede interpretarse como originada por un agotamiento de los nutrientes, consumidos en el crecimiento primaveral. En cambio,

la variación del pH promedio está enmascarada por las importantes diferencias que se presentan en verano para las distintas profundidades y horas del día, como queda reflejado en los mayores valores de la desviación típica representada en la figura 1. Esto es debido a que la menor turbulencia y elevada temperatura del agua provoca un importante gradiente espacial y temporal del equilibrio carbónico-carbonatos, que depende principalmente de las diferencias entre las actividades respiratorias y fotosintéticas. Este efecto no aparece en la representación de la alcalinidad puesto que los valores utilizados para este parámetro son los totales integrados para toda la columna de agua por lo que la variación espacial no se considera. Además, puesto que en la Albufera la

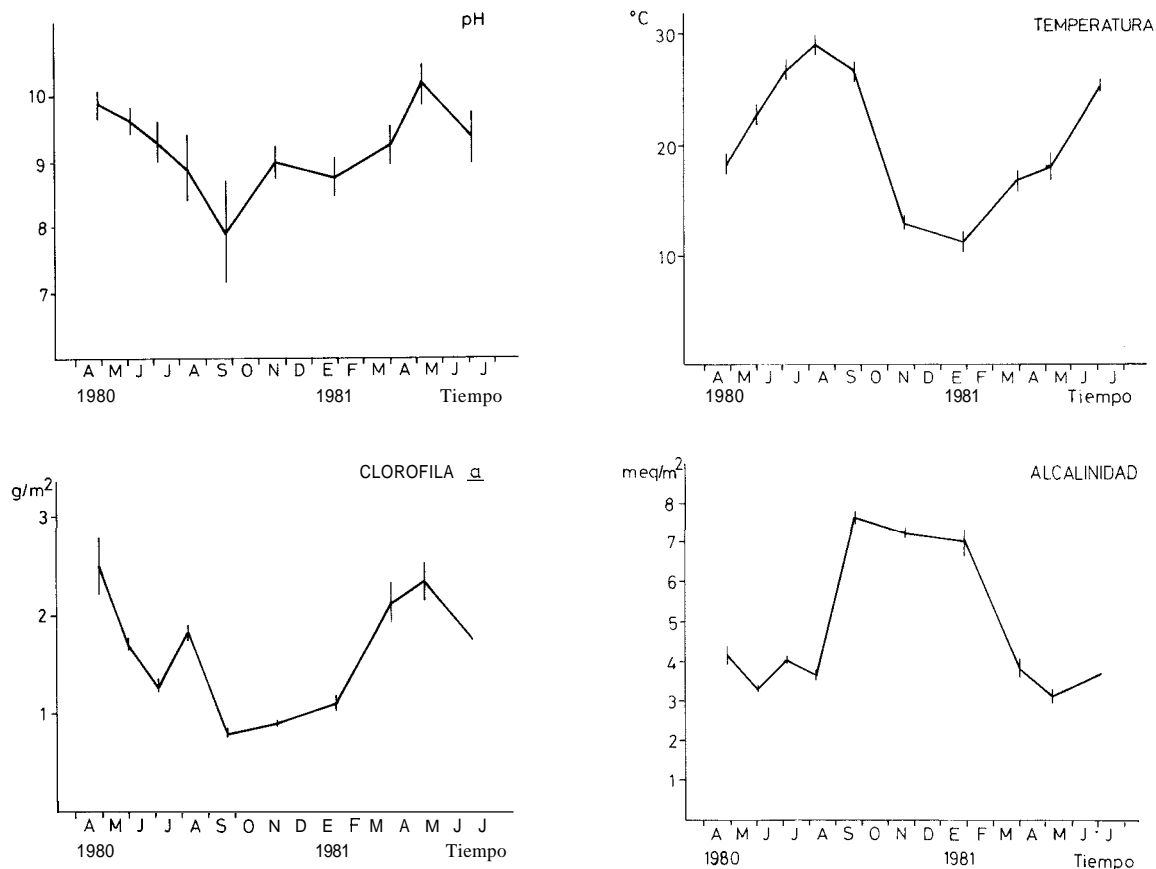


Figura 1 - Variación estacional del pH, temperatura, clorofila *a* y alcalinidad. La línea de trazo grueso une los valores medios mensuales de cada muestra puntual correspondiente a las diversas horas del día y profundidades en el caso del pH y de la temperatura, y de las integraciones por columna de agua en el caso de la clorofila *a* y de la alcalinidad. Los segmentos verticales (trazo fino) centrados en las medias corresponden a, más y menos, las desviaciones típicas de los valores de cada mes.

Seasonal variation of pH temperature, chlorophyll *a* and alkalinity. The thick line unites the monthly means over all punctual samples (corresponding to various depths and hours of the day) for temperature and pH and over the integrations per column of water for chlorophyll *a* and alkalinity. Thin vertical line represent plus and minus one standard deviations for each month.

reserva alcalina es baja, las variaciones del pH son mucho más agudas que las de aquel parámetro.

La ordenación de las correlaciones entre los diferentes pares de variables (Fig. 2) revela la existencia de cuatro conjuntos de parámetros estrechamente asociados constituidos por: (1) los iones mayoritarios que determinan la salinidad de las aguas; (2) los parámetros biológicos (pigmentos fotosintéticos, crustáceos, fósforo particulado) y los físico-químicos asociados directamente a la actividad fotosintética como el pH y la concentración de oxígeno; (3) los nutrientes, alcalinidad y calcio, que varían inversamente a los del grupo anterior, mostrando fuertes correlaciones negativas con aquellos y (4) un grupo de variables que revelan la existencia de condiciones reductoras en el medio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, potencial redox, sulfhídrico, excreción

de material orgánico soluble)

#### ANÁLISIS DE COMPONENTES SOBRE LA TOTALIDAD DE LOS DATOS (ACP I)

Con el objeto de explorar más profundamente estos datos se llevó a cabo un análisis con las 103 muestras, tomadas a distintas profundidades y horas del día durante un ciclo anual, consideradas independientemente y caracterizadas por las 31 variables de la tabla 1. Los resultados de este análisis son ecológicamente interpretables, acumulando las tres primeras componentes principales una explicación del 50% de la varianza (Tabla 2).

En la figura 3 se muestran las correlaciones entre los parámetros limnológicos y las tres primeras

CODIGOS DE REPRESENTACION

[ -1.0, -0.3 )	.
[ -0.3, -0.1 )	:
[ -0.1, 0.1 )	;
[ 0.1, 0.3 )	/
[ 0.3, 0.5 )	+
[ 0.5, 0.7 )	o
[ 0.7, 0.9 )	x
[ 0.9, 1.0 ]	■

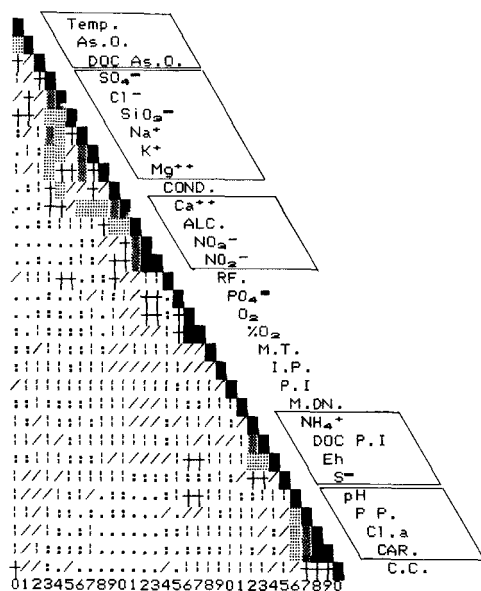


Figura 2.- Matriz de correlación entre las diversas variables ordenadas según un análisis de agrupación. Se recuadran los grupos de variables más asociadas entre sí - Correlation matrix between the studied variables. They are ordered according to a cluster analysis. Groups of closely associated variables are indicated

componentes. En el primer eje se separan las variables relacionadas con el crecimiento *algal* (clorofila a y carotenos) y la biomasa total (fósforo particulado, número de artrópodos) de aquellos que representan nutrientes (fósforo soluble, nitratos y nitritos) puesto que a los explosivos crecimientos algales va asociado un consumo de nutrientes. Así pues, el primer eje se interpreta como una ordenación de los distintos estados de eutrofia, o de actividad fotosintética, por los que pasa el lago. El pH, por su localización, está asociado al primer grupo de variables, mientras que la alcalinidad y la concentración de iones Ca<sup>2+</sup> se agrupan junto con los nutrientes. Ello indica que la tendencia a pH elevados de estas aguas se debe a la alta

Tabla II.- Varianza explicada (valores propios) y porcentaje acumulado de la varianza total para las tres primeras componentes resultantes de los análisis de componentes principales I y II.

Common variance (eigenvalues) and cumulative percentage of variance accounted for respectively the first three components of principal components analyses I and II.

	VARIANZA EXPLICADA	% ACUMULADO DE VARIANZA
<b>ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES I</b>		
Componente I	6.781	21.9
Componente II	5.498	39.6
Componente III	3.218	50.0
<b>ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES II</b>		
Componente I	24.943	32.8
Componente II	13.245	50.3

actividad fotosintética, lo que provoca la precipitación de carbonatos y la disminución de la reserva alcalina. La asociación entre Ca<sup>2+</sup> y alcalinidad, que se pone de manifiesto tanto mediante el ACP I como en el valor de su correlación ( $r=0.66$ ; fig.2), señala que la precipitación de carbonatos ocurre en gran parte en forma de CO<sub>3</sub>Ca. La posición que ocupa el fósforo soluble en la primera componente se puede explicar por dos causas en relación al crecimiento algal: la precipitación como hidroxiapatitos del fósforo a pH altos y su incorporación al citoplasma celular. Esta última explicación se hace extensiva a los nitratos.

El segundo eje está correlacionado positivamente con los iones que determinan la salinidad de las aguas (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, K<sup>+</sup> y Ca<sup>2+</sup>) y por tanto asociado al estado de mineralización de las mismas. La concentración de O<sub>2</sub> y el potencial redox, presentan correlaciones negativas con este segundo eje. La figura 4 ayuda a interpretar estos resultados ya que muestra la dependencia entre la mineralización de las aguas y el estado de apertura o cierre de las compuertas. Teniendo en cuenta que el flujo de agua que se impide con las compuertas cerradas es siempre en dirección al mar, las compuertas cerradas provocan un aumento de la salinización ya que evitan el lavado del agua que, por otra parte, debido a la evaporación y disolución del sedimento va sufriendo una mineralización. Todo ello está favorecido por las características de la laguna: aguas someras y calidas, con algunos aportes subterráneos por filtración.

La estrecha relación entre este conjunto de iones agrupados por el ACP I, ya es aparente en el

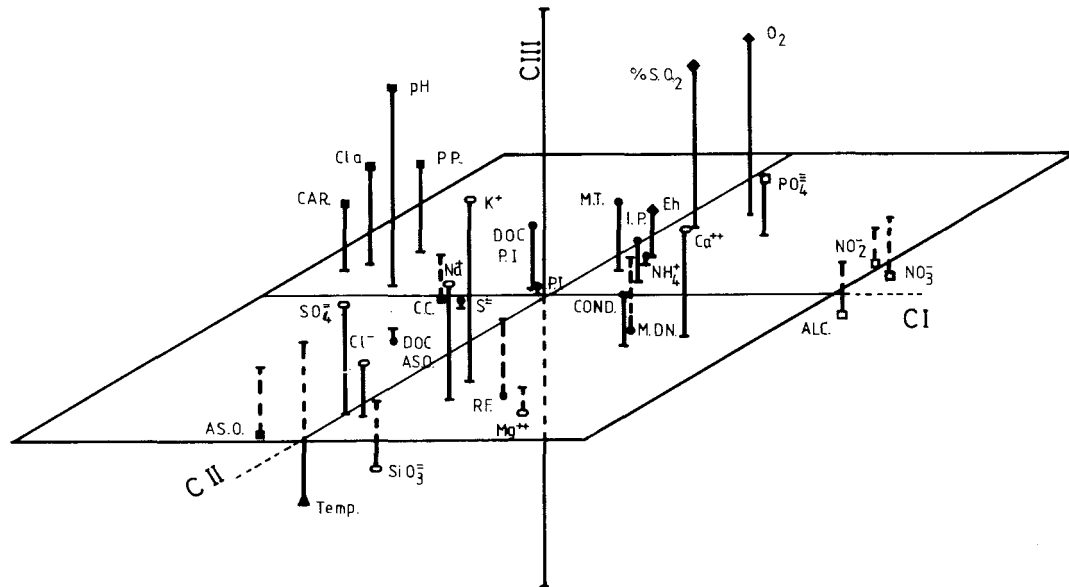


Figura 3.- Posición relativa de los distintos parámetros en el espacio de las tres primeras componentes principales resultantes del análisis con todos los datos (ACP1). Las coordenadas son los respectivos coeficientes de correlación. Variables asociadas a: ■ la actividad fotosintética, ○ la salinidad, ◆ el oxígeno y el potencial redox, □ los nutrientes, m correlaciones bajas. Relative position of each parameter in the space dimensioned by the first three principal components from the analysis with all data and samples considered independently. The coordinates are the respective loadings or correlation coefficients. Variables associated to: ■ photosynthetic activity ○ salinity. ◆ oxygen and redox potential, □ nutrients, m low correlations

análisis de las correlaciones dos a dos entre parámetros (Fig. 2). Ligado a los habituales parámetros de proporcionalidad constante aparece el  $\text{SiO}_3^{2-}$ , demostrándose así la relativa poca importancia que en la Albufera poseían en el periodo de estudio las poblaciones de diatomeas, como cabe esperar en unas aguas muy eutróficas. Además, es general en estas lagunas litorales valores altos de silicio en verano (López, 1983), cuya explicación podría ser el descenso importante de oxígeno en el fondo, que facilita la redisolución del silicato del sedimento, y la elevada temperatura que incrementa la solubilidad del mismo, junto con la infiltración de posibles aportes subterráneos que son ricos en silicio.

La oposición, dentro de la segunda componente, entre las especies químicas asociadas a la mineralización y las variables relacionadas con el oxígeno, aparece comunmente en los análisis de componentes principales sobre parámetros limnológicos medidos en varias épocas del año (López, 1983; Estrada, 1975). Si bien se podría aducir que es debida a algunas relaciones de tipo químico, en realidad va ligada al ciclo anual de periodos de mezcla y reposo de las aguas. Así, en la Albufera esta oposición vendría dada, en primer lugar, por la coincidencia en los meses de verano (Julio

y Agosto) de una elevada mineralización -determinada por el régimen de compuertas y por las altas temperaturas- con una acumulación de materia orgánica -determinada por el crecimiento fitoplanctónico- y, en consecuencia, con un incremento del consumo de oxígeno y del carácter reductor del agua. En segundo lugar, el flujo que disminuye la fracción mineral del agua por lavado cuando se abren las compuertas, afectará de una forma similar la densidad de población de los organismos y la cantidad de materia orgánica del agua. Esto, unido a una mayor turbulencia que deshace los gradientes y a la disminución de la temperatura, ocasiona el correspondiente aumento de la concentración de oxígeno y del potencial redox en toda la columna de agua.

El tercer eje separa las condiciones particulares de los meses de verano para contraponerlas sobre todo a las de primavera. Este eje está en correlación negativa con la temperatura y, en menor medida, con el número de rotíferos y el silicato; se correlaciona a su vez positivamente con el pH y la concentración y el porcentaje de saturación del oxígeno.

Las tres componentes que se han tenido en cuenta asocian las muestras atendiendo, sobre todo, a la época del año en la cual fueron tomadas. Las muestras se

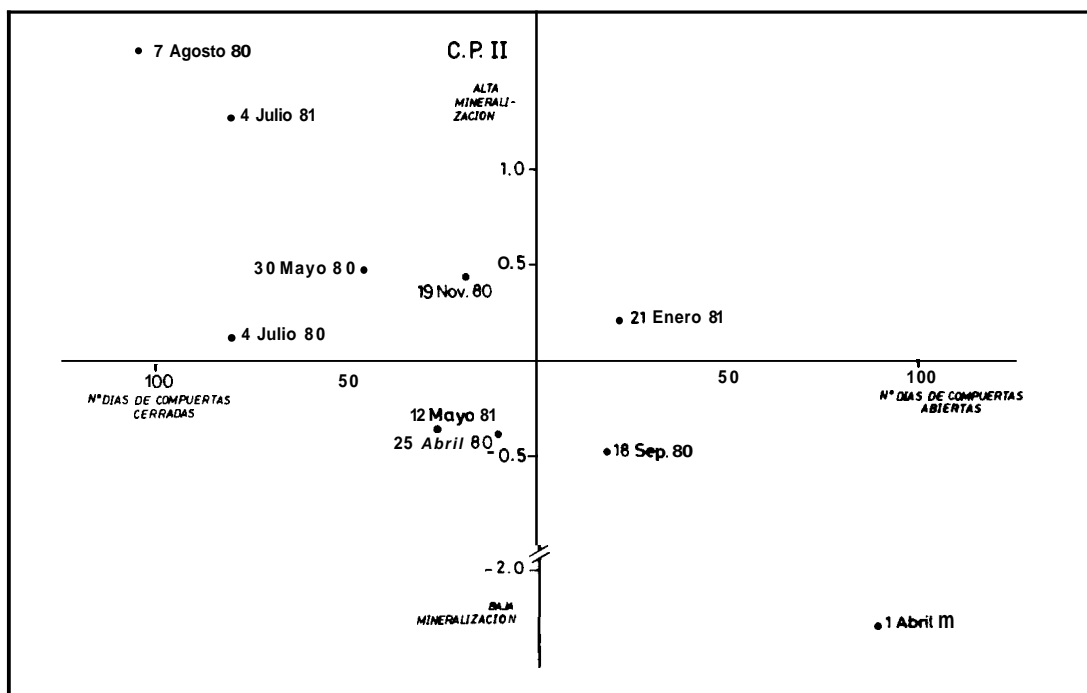


Figura 4- Relación entre la componente principal II (ACP II) asociada a la mineralización (ordenadas) y el régimen de desagüe del lago (abscisas). Las distintas fechas de muestreo vienen determinadas por el número de días transcurridos después del cierre o apertura de las compuertas y por el valor medio de aquella componente. - Relationships between the principal component II (ACP II) associated with mineralization (ordinates) and the manipulation of water flow in the Albufera (abscissas). The sampling dates are determined by the number of days following the closing or the opening of the lock-gates and the mean of the factor scores of that component.

agrupan en cuatro grandes conjuntos en el espacio definido por las tres primeras componentes (Fig. 5) que corresponden a las distintas épocas del año. Estas tres primeras componentes difícilmente dejan entrever alguna ordenación de las muestras que obedezca a la hora del día o profundidad de su procedencia, puesto que el ciclo anual es la principal fuente de variación común de los datos. La variación diaria se esconde en componentes de poca significación cuyos factores de carga son sólo importantes para un número muy reducido de variables. Por ejemplo, tal es el caso de la séptima componente principal que explica el 2% de la variación total y que está determinada exclusivamente por la producción primaria. Esta producción es sólo importante en superficie a las horas de luz.

#### Análisis de componentes principales para el estudio del ciclo diario (ACP II)

Con el objeto de poner de manifiesto las interrelaciones entre variables debidas al ciclo diario, se llevó

a cabo un segundo análisis de componentes principales (ACP II). En primer lugar, se realizó una selección de parámetros, deshechándose aquellos que no presentaban una oscilación importante en razón de la hora o de la profundidad. Tampoco se ha considerado la producción primaria. En el análisis en cuestión, un único parámetro se subdivide en distintas variables atendiendo al mes de muestreo, de modo que cada parámetro está tratado como varias variables en número igual al de meses en que ha sido medido (p.e., el  $Ca^{++}$  del mes de Agosto y el  $Ca^{++}$  del mes de Septiembre son variables distintas). Tal reestructuración de datos lleva consigo una drástica reducción del número de casos, que se limitan a nueve y son definidos por la combinación de la profundidad (0, 1 y 3 m) y la hora (amanecer, mediodía y noche) de las muestras.

Este segundo análisis explica, mediante las dos primeras componentes principales, el 50% de la varianza total (Tabla 2). La posición que ocupan los casos en el espacio que generan las dos primeras com-

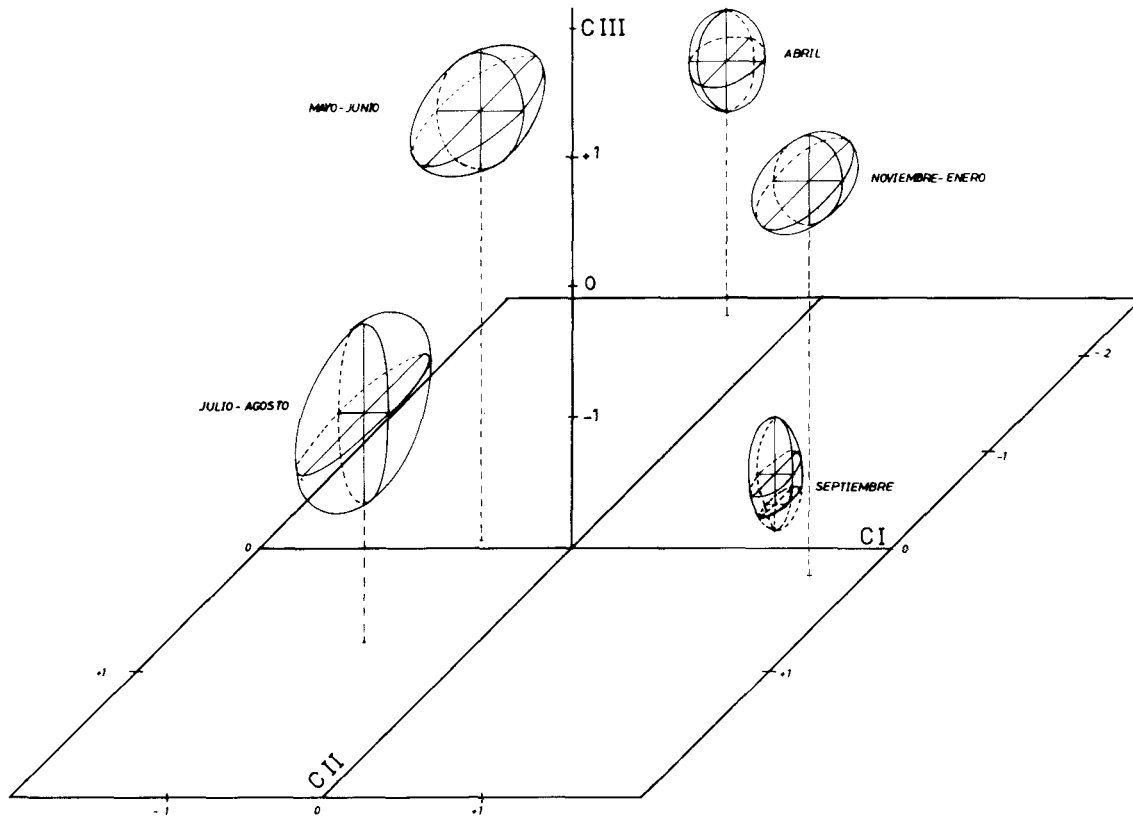


Figura 5 - Agrupación de las diferentes muestras o casos según los meses del año en el espacio dimensionado por las tres primeras componentes del ACP I. Los elipsoides están centrados por los valores medios de las componentes para las muestras correspondientes a los meses indicados, siendo la longitud de sus semiejes igual al valor de las desviaciones típicas. - Clustering of the different samples or cases according to the times of the year in the space dimensionated by the first three components from ACP I. The ellipsoids are centered by the mean factor scores of the components for the samples corresponding to the indicated months, being the semiaxes length equal to the standard deviation values.

ponentes se puede observar en la figura 0. Aquí las muestras se segregan, tanto por la hora como por la profundidad de la toma. Las muestras de distintas profundidades tomadas al amanecer distan menos entre ellas de lo que lo hacen las tomadas a otras horas del día. Ello se explica por las condiciones de mezcla que dominan en el lago, por lo demás muy somero, de forma que los gradientes que se llegan a establecer respecto a la profundidad tienen un carácter transitorio (se establecen durante el día y se anulan a lo largo de la noche).

En la figura 7 se han representado las correlaciones entre las variables usadas en el análisis y las dos primeras componentes. En ella se distingue un grupo de parámetros (porcentaje de saturación de  $O_2$ , Eh y pH) que alteran poco su correlación con el primer eje a lo

largo del año. También destaca la semejanza entre las posiciones ocupadas por el pH y el porcentaje de saturación de  $O_2$ . La componente I debe interpretarse como representante de la actividad fotosintética y de las condiciones oxidantes, *versus* condiciones más reductoras, y está ligada en mayor grado a la profundidad. Diferencia especialmente las condiciones en la capa de agua del fondo y en todo el perfil al amanecer frente a las de la superficie a las demás horas. Por ello pH, Eh y porcentaje de saturación de  $O_2$  tienen una posición bien definida, con correlaciones positivas con la componente, durante todo el año; más o menos asociado está también el índice de pigmentos, si bien en épocas de crecimiento masivo éste no presenta ya la misma pauta de variación en profundidad. Otros parámetros, como los iones salinos y compuestos reducidos



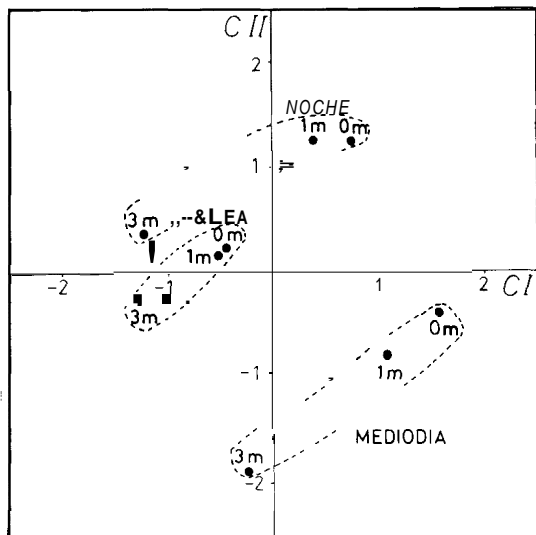


Figura 6 - Ordenación de distintos periodos del día y profundidades en el espacio definido por las dos primeras componentes principales resultantes del ACP II. Las profundidades (0, 1 y 3 metros) muestreadas dentro de un mismo periodo del día se engloban con una línea de trazos. - Ordination of different periods of the day and depths in the space dimensioned by the first two principal components from the ACP II. Depths (0, 1 and 3 meters) sampled within the same period of the day are enclosed by dash line

presentan correlaciones negativas puesto que sus concentraciones máximas se dan en las aguas del fondo; esto ocurre, por ejemplo, con el  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{NH}_4^+$  (Fig. 7) los cuales, sin embargo, presentan una variación anual bastante grande haciéndose su correlación menos negativa en verano. Esto puede ser debido a que el  $\text{Ca}^{++}$  es mucho menos soluble cuando la temperatura es elevada; tal circunstancia hace que el calcio disminuya en toda la columna de agua en verano no observándose un incremento en el fondo. Igualmente, el amonio también disminuye en verano, como pauta general de los nutrientes, presentando fuertes disminuciones en profundidad debido a la nitrificación. La segunda componente separa sobre todo las condiciones que se dan al mediodía de todas las demás, presentando todos los parámetros grandes diferencias según la época del año. En especial, los antes mencionados pH, porcentaje de saturación con  $\text{O}_2$  y redox, resultan dispersados a lo largo de este eje, siendo los extremos más contrapuestos los correspondientes a los meses de floración algal de primavera con respecto a los correspondientes en verano.

## CONSIDERACIONES GENERALES

El análisis de componentes principales practicado

con la totalidad de datos y las muestras consideradas independientemente (ACP I) confirma que hay unas direcciones de variación común de los parámetros limnológicos muy claras y son las mismas que se ponen de manifiesto, una y otra vez, cuando estos análisis han sido utilizados sobre otros conjuntos de datos similares. La mineralización de las aguas y grado de eutrofia han resultado ser factores de variación común, en este orden de importancia, cuando se han considerado datos procedentes de una serie amplia de embalses (Estada, 1975, 1978; Margalef *et al.* 1982) o lagunas litorales (López, 1983). Cuando se trata de un ciclo anual como el que nos ocupa, la variación más importante es la debida a lo que podríamos asimilar a la eutrofia o periodos de máximo crecimiento del plancton frente a otros de menor crecimiento. Esto se plasma en la asociación de dos grupos de variables: la clorofila, el pH, la densidad de organismos planctónicos, el fósforo particulado (o fósforo reactivo en los casos citados de las lagunas litorales y embalses) por un lado y, en contraposición, la alcalinidad y nutrientes (nitratos, amonio y fósforo soluble) por otro lado. En el caso de ciclos anuales de la densidad de las poblaciones planctónicas, también un primer factor va ligado a los periodos de mezcla y crecimiento de los organismos (Miracle, 1974). En la Albufera y debido a las fluctuaciones tan intensas de salinidad -hecho general en las lagunas litorales- durante el ciclo anual, la mineralización aparece en segundo lugar asociando los iones mayoritarios determinantes de la misma, en contraposición con el oxígeno, redox y variables asociadas. En dicha lagunas y en el estudio de una serie de lagunas litorales (López, 1983), las condiciones de verano frente a las condiciones de las demás épocas del año, también acostumbra a salir como determinantes de alguna componente principal en el análisis de ciclos anuales. Así, la temperatura es una variable con un coeficiente de carga importante y en casos en que no se incluye en el análisis puede presentar una correlación alta, calculada a *posteriori*, con alguna componente principal derivada del análisis (Miracle, 1974).

En el caso de la Albufera, otras variables importantes que determinan la componente principal asociada a la temperatura, son las más influenciadas por la estratificación de las aguas que tiene lugar en la época de verano como es el caso, entre otras, del pH y concentración de  $\text{O}_2$  por un lado y redox y alcalinidad por otro. Esta componente asociada a la estratificación de las aguas también se obtiene en los análisis realizados

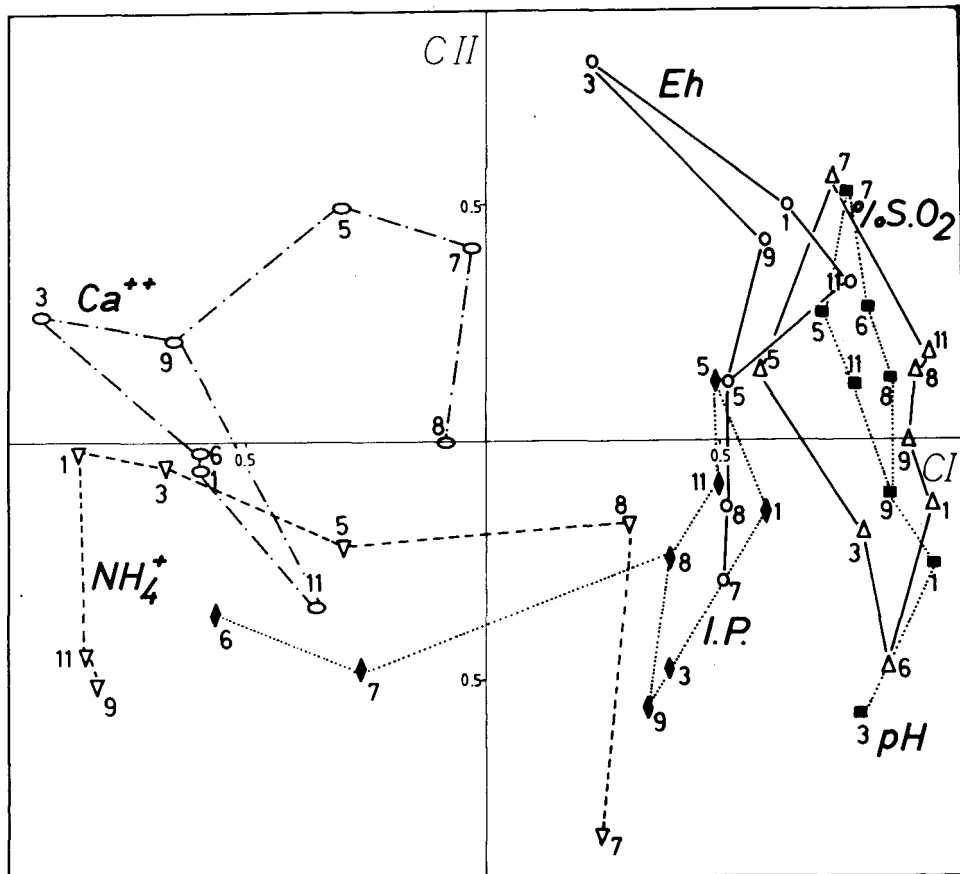


Figura 7.- Posición relativa de algunos parámetros en el espacio definido por las dos primeras componentes principales resultantes del ACP II. Cada parámetro se representa por una serie de puntos unidos, cuyas coordenadas son el coeficiente de correlación con los ejes en cada uno de los meses estudiados, que se indican con su ordinal correspondiente. ○ Calcio, ▽ Amonio, ◆ Índice de pigmentos  $D_{150}$ ,  $D_{665}$ , □ pH, ○ redox, △ % saturación de oxígeno). - Relative position of several parameters in the space dimensioned by the first two principal components from ACP II. Each parameter is represented by a series of joined points, whose coordinates are the respective loading or correlation coefficients in each studied month, which are indicated by their corresponding number. ○ Calcium, ▽ Amonium, ● Pigments index  $D_{150}$ ,  $D_{665}$ , □ pH, ○ redox, △ % saturation of oxygen.

en grupos de embalses, siendo más característica cuando se efectúan a partir de los datos de abundancia de los organismos planctónicos (Margalef *et al.*, 1982).

La idea de buscar interrelaciones debidas al ciclo diario, nos llevó a aceptar que éstas son enormemente dependientes de la época del año, siendo en extremo difícil obtener regularidades excepto con parámetros característicos distribuidos en gradientes verticales como son porcentaje de saturación de O<sub>2</sub>, potencial

redox y pH. Conclusiones parecidas sobre la gran variación a lo largo del año de las relaciones entre parámetros, se pueden extraer de los trabajos citados sobre los embalses (Estrada, 1975 y 1978).

#### AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer al ingeniero del ICONA R. Ruano las facilidades prestadas para la realiza-

**ción de las experiencias de campo en el presente trabajo.**

**BIBLIOGRAFIA**

- Estrada, M. 1975. Statistical considerations of some limnological parameters in Spanish lagoons. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19: 1848-1859.
- Estrada, M. 1978. Relationships among biological and physico-chemical parameters in Spanish reservoirs. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 20: 1642-1646.
- Golterman, H.L., R.S. Clymo and M.A.M. Ohnstad., 1978. Methods for physical and chemical analysis of fresh waters. **Blackwell Scientific Publications**. Oxford.
- Guerrero, R., F. Roda., C. **Albella** and F. **Torrella.**, 1975. Optimal growth temperatures and media parameters of bacterial communities from lakes of different trophic states. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19: 2620-2626.
- López, P. 1983. Aguas salinas epicontinentales próximas a la costa mediterránea española. Estudio del medio. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
- Margalef, R., M. Mir. y M. Estrada. 1982. Phytoplankton composition and distribution as an expression of properties of reservoirs. *Can. Water Res. J.*, 7: 26-49.
- Miracle, M.R., 1974. Estructura y dinámica de las poblaciones de la comunidad zooplanctónica del lago Banyoles. Tesis Doctoral Universidad de Barcelona.
- Miracle**, M.R., P. García y E. Vicente., 1984. Heterogeneidad espacial de las comunidades fitoplanctónicas en la Albufera de Valencia. *Limnetica* 1: 20-31
- Oltra**, R. y M.R. Miracle. 1984. Comunidades zooplanctónicas de la Albufera de Valencia. *Limnetica* 1: 51-61
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons., 1978. A practical handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 167: 1-203.
- Vollenweider, R.A., 1974. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. **Blackwell Scientific Publications** Oxford.