

Heterogeneidad espacio-temporal de la calidad del agua en un humedal costero: El Marjal de la Safor (Valencia).

M.A. Rodrigo*, C. Rojo, X. Armengol y M. Mañá

Institut *Cavanilles* de Biodiversitat i Biologia Evolutiva
Universitat de Valencia

Ap. Oficial 2085.46071-VALENCIA

*correo electrónico: maria.a.rodrigo@uv.es

RESUMEN

Se ha estudiado la calidad del agua en 31 puntos del marjal de La Safor en un periodo húmedo y en otro seco. Se ha detectado una elevada heterogeneidad espacial en este humedal, propiciada por un gradiente de eutrofia que se extiende de manera radial. Este varía desde 0.004 mg l⁻¹ P y 0.6 µg l⁻¹ chl-a en las zonas de surgencia del agua (*ullals* en el SW) que abastecen el marjal, hasta 11-14.5 mg l⁻¹ P y 450-650 µg l⁻¹ chl-a en las salidas o aliviaderos del humedal al mar (NE). Además, existe un gradiente de salinidad (rango de 682 µS cm⁻¹ a 5170 µS cm⁻¹) desde la zona central del humedal o marjal propiamente dicha, donde se registran las mayores salinidades, hacia las zonas N y S. Estos vectores junto con la diversa morfología de los cuerpos de agua: surgencias, acequias, lagunas artificiales, láminas de agua, vertidos, etc., le confieren una altísima diversidad de hábitats, cada uno de ellos de poca extensión y sujetos a grandes variaciones estacionales, tanto naturales como artificiales (control antrópico de los flujos de agua). Estas variaciones estacionales hacen más acusadas las diferencias en verano y las relajan en invierno cuando la comunicación entre sitios es mayor, provocando efectos de aislamiento y temporalidad. Estudiada la variación estacional en cinco puntos representativos del humedal, se observa que en promedio la concentración de O₂ disuelto en el agua en verano disminuye a la mitad (llegando a 4 mg l⁻¹), el fósforo total se duplica en esas fechas (alcanzando los 3 mg l⁻¹ P) y la densidad de bacterias se triplica (hasta 7 x10⁶ cells ml⁻¹). Las zonas más estables son las surgencias de agua y las más inestables las lagunas artificiales. Por todo ello, en este humedal se genera un amplio abanico de ambientes acuáticos que favorecen la diversidad planctónica y el mantenimiento de una flora y fauna aun interesantes.

Palabras clave: humedal, eutrofización, clorofila *a*, fósforo, conductividad, heterogeneidad espacial, bacterioplancton, fitoplancton.

ABSTRACT

*Water quality was monitored in 31 sampling stations across La Safor wetland (València, Spain) during the wet and dry periods. A radial gradient in eutrophy was identified. Chlorophyll *a* and total phosphorus concentrations were 0.004 mg l⁻¹ and 0.6 µg l⁻¹, respectively, near the water springs (called "ullals", SW areas of the wetland) supplying water to the marsh. In the overflow channels, which are outputs of the wetland releasing water to the sea (NE areas of the wetland) concentrations ranged between 11-14.5 mg l⁻¹ P and 450-650 µg l⁻¹ chl-*a*. A radial salinity gradient (682-5179 µS cm⁻¹) was also found, with maximum values in central areas of the marsh, decreasing towards Northern and Southern areas. These gradients, together with the diverse morphology of water bodies constituting the wetland (i.e. springs, irrigation channels, artificial ponds, wastewater channels, ...) result in a high diversity of habitats. Habitats are of limited extension and liable to large seasonal changes, both natural and human-induced (e.g. control of water flows). Such variations make gradients much sharper during summer, leading to effects of isolation of areas and temporality, and relax gradients during winter, when sites are better inter-connected. Five representative wetland sites were studied, observing a reduction in half in mean dissolved oxygen concentrations during summer (4 mg l⁻¹), a doubling of total phosphorus concentrations (3 mg l⁻¹) and a tripling in bacterial densities (a max. of 7 x10⁶ cells ml⁻¹). Watersprings ("ullals") were the most stable water bodies, while the artificial ponds were the most changing. This wetland offers a wide range of aquatic habitats, favouring the development of a diversity of plankton and the maintenance of interesting flora and fauna.*

*Keywords: wetland, eutrophication, chlorophyll *a*, phosphorus, spatial heterogeneity, bacterioplankton, phytoplankton, conductivity.*

INTRODUCCIÓN

Los humedales están definidos como sistemas intermedios o de transición entre los ecosistemas acuáticos y terrestres donde la masa de agua es somera (Cowardin *et al.*, 1979). Estos ecosistemas han sido de las zonas más degradadas por la acción del ser humano por desecación y/o canalización. Sin embargo, en estos momentos, se reconoce el gran valor que estos ecosistemas juegan en la naturaleza actuando como amortiguadores hidrológicos y químicos y como hábitat para una amplísima diversidad de biota (Gopal *et al.*, 1982). Dentro de los humedales, los llanos costeros (marjales) son importantes tanto por su extensión como por su posición intermedia entre tierras altas y salidas al mar. Su característica de ecotonos favorece la existencia de una elevada biodiversidad (Wetzel, 1999; Mitsch & Gosselink, 2000). Otros aspectos importantes de los marjales que cabe destacar son el frenado de las riadas, la recarga de los acuíferos y la mejora de la calidad del agua que les llega gracias a la acumulación y utilización de nutrientes inorgánicos (Mitsch & Gosselink, 2000).

En nuestro país, el número de humedales es elevado (Casado y Montes, 1995). Sin embargo y pese a ello, se han estudiado poco hasta la fecha en comparación con los lagos y embalses. En la Comunidad Valenciana, los marjales actuales representan una pequeña extensión de lo que fueron antaño. En la actualidad se encuentran inmersos en paisajes altamente antropizados con grandes extensiones de cultivos, una alta densidad poblacional y mucho turismo. A pesar de su importancia, hasta ahora, y dejando aparte la bien conocida Albufera de Valencia, sólo se han realizado estudios descriptivos de estos marjales desde distintas disciplinas (Cirujano, 1992; Viñals, 1996; Colom & Rodrigo, 1993; Planelles, 1996; Planelles & Reyna, 1996; Andreu & Viñals, 1999; Oltra & Armengol, 1999; Rodrigo & Colom, 1999; Rodrigo *et al.*, 2001).

El presente trabajo se enmarca dentro de un proyecto más amplio sobre las variaciones en la estructura y función que experimenta la comunidad de microorganismos planctónicos del marjal

de Xeresa-Xeraco-Gandía (o de la Safor, Valencia) como consecuencia de las alteraciones en el humedal. Este marjal presenta situaciones hidrológicas bien diferenciadas, *ullals* o surgencias de agua desde el acuífero, acequias o aliviaderos, pequeñas lagunas y un área palustre de dominio vegetal del humedal, todas ellas conectadas. En este trabajo evaluamos en qué condiciones se encuentra este humedal, su grado de eutrofización y de salinización, haciendo hincapié en la heterogeneidad tanto espacial como temporal que se puede encontrar en un humedal costero y describiendo los vectores espaciales asociados a los gradientes de contaminación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El marjal de Xeresa-Xeraco-Gandía o de la Safor (Fig. 1), se encuentra situado en el llamado óvalo de Valencia (hoja IGN-770). Este humedal, ubicado al sur del río Júcar, está separado del mar Mediterráneo por una restinga arenosa y se encuentra entre los municipios de Tavernes de la Vallidigna (norte), Xeresa y Xeraco (oeste) y Gandía (sur). Ocupa un área aproximada de 1300 ha situada a 0-1 m s.n.m. Se trata de un humedal costero contemplado en el catálogo de zonas húmedas de la Comunidad Valenciana, con protección de usos del suelo y alta valoración de su riqueza biótica. Este humedal costero está fuertemente antropizado y únicamente un pequeño porcentaje de su territorio permanece sin transformar (aproximadamente unas 212 ha). Su alimentación hídrica procede fundamentalmente de las aguas subterráneas provenientes del acuífero costero de la Plana de Gandía-Denia (descarga subterránea del acuífero de Serra Grossa) y de los aportes superficiales de los ríos Xeresa (o Vaca) y Serpis, además de vertidos tanto de origen agrícola, como urbano e industrial. La circulación del agua está controlada por el ser humano: una compleja red de acequias (algunas de ellas con vegetación sumergida) distribuye el agua y regula los niveles hídricos del aguazal para permitir el cultivo y

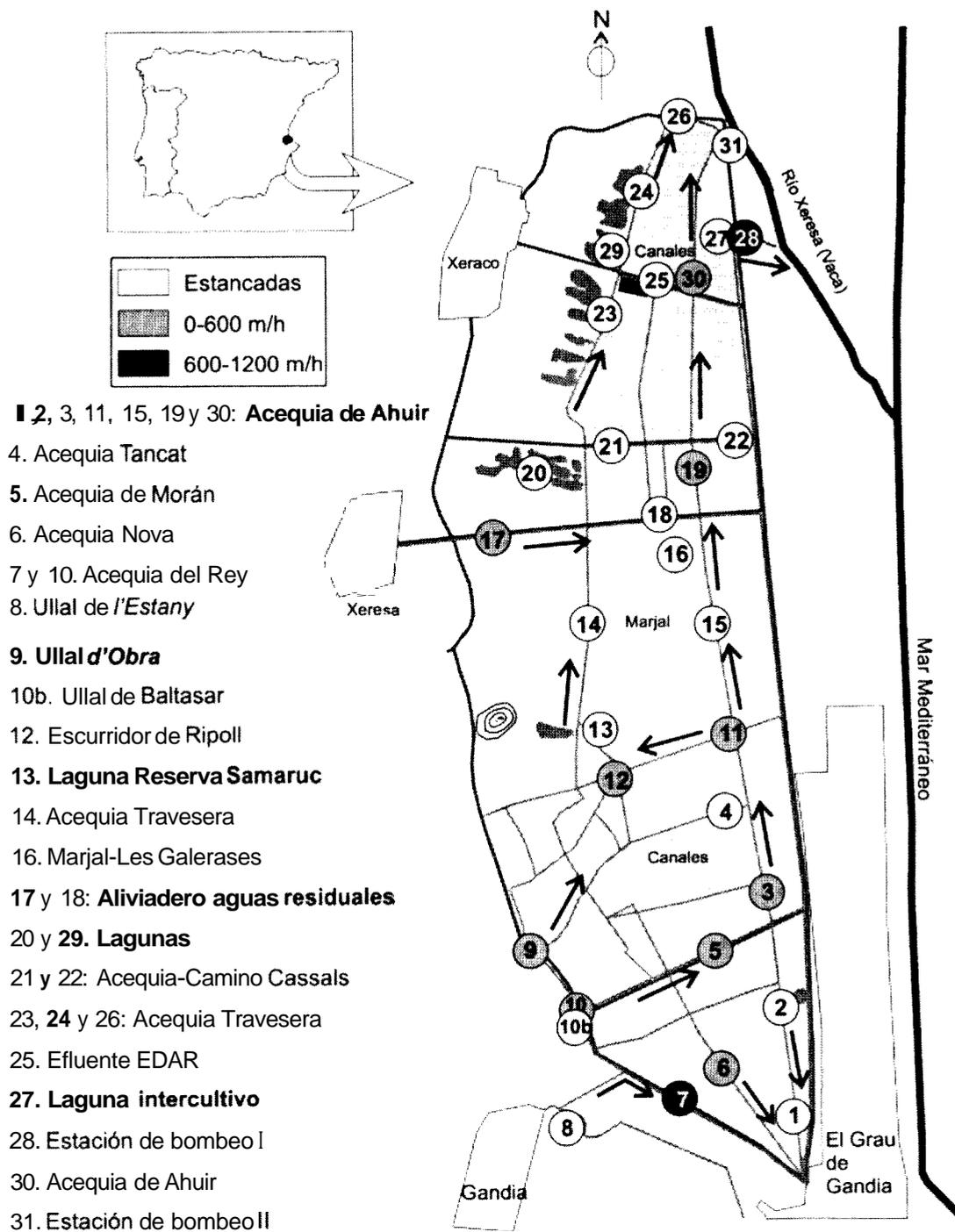


Figura 1. Representación esquemática del marjal de Xeresa-Xeraco-Gandía (o de la Safor) donde se indican los puntos de muestreo. Las 6 estaciones muestreadas con periodicidad estacional se destacan en negrita. También figura la dirección del agua y la velocidad de la corriente estimados en marzo de 2000. *Schematic representation of La Safor wetland indicating the location of sampling stations. The five stations which were sampled seasonally are in bold. The water flow direction and flux are also indicated (March 2000).*

drenar los excedentes. El agua se recoge mediante una serie de aliviaderos que conducen las aguas sobrantes hacia los principales colectores. Dos estaciones de bombeo principales extraen finalmente el agua del humedal. El marjal presenta actualmente tres subsistemas, el área palustre de dominio vegetal, el área de dominio acuático constituida por los *ullals* (manantiales) y las lagunas artificiales fruto de la excavación de parcelas para extraer sedimento con el que elevar la cota topográfica de los cultivos, y por último la red de acequias (Andreu & Viñals, 1999).

Metodología de muestreo y analítica

En la elección de los puntos de muestreo (Fig. 1) se tuvieron en cuenta una serie de consideraciones: (i) elegir todo tipo de cuerpos de agua, *ullals* (surgencias), acequias, lagunas artificiales (incluida la zona de reserva del endemismo *Valencia hispanica* -samaruc-) y el marjal propiamente dicho, (ii) repartir los puntos de muestreo de norte a sur y de este a oeste, e (iii) incluir tanto entornos agropecuarios, como industriales y urbanos.

Se han determinado *in situ* parámetros limnológicos como la temperatura, pH, conductividad, salinidad, concentración de oxígeno disuelto en el agua (y el porcentaje de saturación), la penetración luminosa (disco de Secchi) y la velocidad de la corriente. Se tomaron muestras de agua en cada estación para la determinación de clorofila *a*, fósforo total y organismos planctónicos. La clorofila se extrajo con acetona 90% y se cuantificó por el método de Jeffrey & Humphrey (1975), el fósforo total según APHA-AWWA-WPCF (1989). Las muestras para la determinación del bacterioplancton y el picoplancton autotrófico fueron fijadas *in situ* con formol al 1-2% (concentración final). La densidad bacteriana se determinó, tras tinción con naranja de acridina, siguiendo el método de Hobbie *et al.* (1977). El picoplancton autotrófico fue recontado por la técnica de autofluorescencia según McIsaac & Stockner (1993). Otra alícuota de cada muestra fue fijada con lugol y la determinación de las

abundancias del fitoplancton se realizó por el método Utermohl, los biovolúmenes se calcularon según Rott (1981). En cada punto de muestreo se realizó una caracterización visual del estado del lugar: presencia de peces, cobertura de macrófitos, presencia de residuos, estado de la vegetación emergente, etc.

Para describir el estado de todo el humedal y su posible heterogeneidad espacial, se realizaron dos muestreos extensivos (incluyendo los 31 puntos de muestreo de la Fig. 1) en marzo (época húmeda) y septiembre (época seca) de 2000. Para estudiar la variación estacional de las características del humedal, se tomaron muestras con frecuencia estacional en 5 puntos seleccionados (2, 9, 13, 27 y 29) que consideramos representativos de los diferentes ambientes encontrados en el humedal tras hacer una valoración previa (Rodrigo *et al.*, 2000).

Con la intención de ordenar las distintas zonas del humedal y establecer sus factores de variación se realizó un análisis de componentes principales utilizando el paquete estadístico SPSS versión 9.0.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Heterogeneidad espacial

Se ha querido observar la calidad del agua en diferentes puntos del marjal (Fig. 1) en dos épocas bien distintas y representativas, cuando el humedal estaba al máximo de inundación (marzo) y después del estío (septiembre), cuando algunos de los puntos de muestreo ni siquiera contenían agua. En septiembre, los puntos que se relacionan a continuación no presentaban agua, algunos se habían secado y otros carecían de agua por distintos motivos: 3 y 15 (acequia de Ahuir), 5 y 7 (acequias de Morán y Rey respectivamente), 12 (escurridor de Ripoll), 14 (acequia Travessera), 16 (marjal), 18 (punto más oriental del aliviadero de aguas residuales), 20 (laguna que fue rellenada de escombros ilegalmente), 21 (Acequia-Camino Cassals), 25 (el efluente de la estación depuradora de aguas residuales de

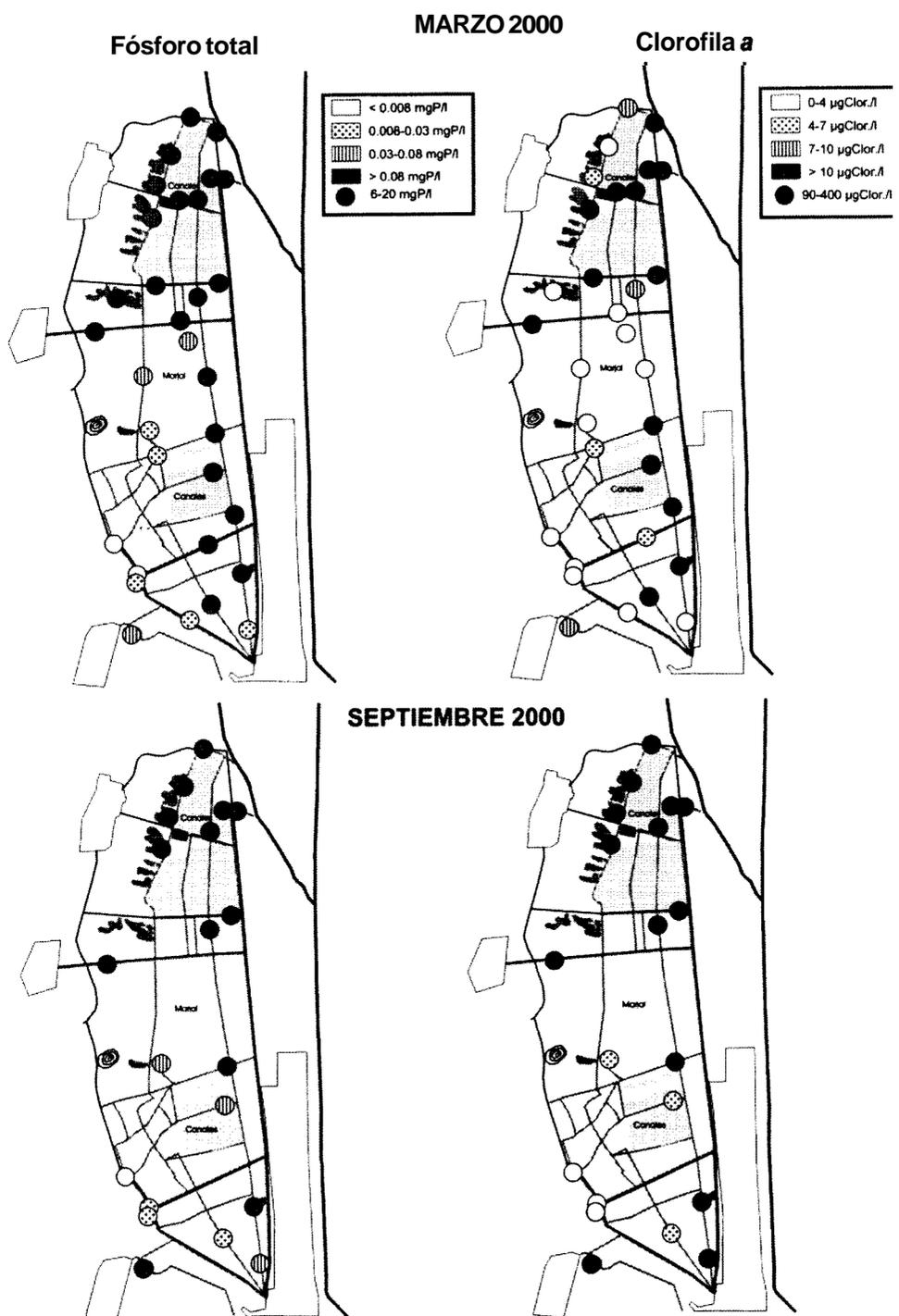


Figura 2. Distribución espacial de la clorofila *a* y el fósforo total en marzo y septiembre de 2000 (los puntos de muestreo no indicados en septiembre estaban secos). El código de tramas indica los distintos estados tróficos según OCDE (1982). *Spatial distribution of chlorophyll-*a* and total phosphorus in March and September: Some sites were dry in September and do not appear in the figure. The pattern code indicates trophic status according to OCDE (1982) criteria.*

Xeraco), y el punto 31 (donde está situada una de las estaciones de bombeo). El flujo de agua en el marjal, controlado por la actividad humana (comunidades de regantes), fue en general escaso. En muchas acequias, la velocidad de la corriente en marzo de 2000 fue indetectable (acequia de Ahuir en su tramo más meridional, Fig. 1), o inferior a 600 m/s (acequias de Morán y Nova). El flujo de agua fue todavía inferior cuando realizamos los muestreos de septiembre.

Un análisis de ordenación (Análisis de Componentes Principales, ACP) de los distintos puntos, en función de una selección de las variables estudiadas (oxígeno, conductividad, pH, fósforo total, clorofila y densidad bacteriana), nos ofrece unos vectores o gradientes claramente relacionados con la eutrofización y con la salinidad. Así, en el periodo húmedo un primer factor (44% de la varianza explicada) está relacionado con el contenido en fósforo (el cual covaría a su vez significativamente con la clorofila y la concentración bacteriana, $p < 0.01$) y ordena tres grandes grupos. Estos grupos son (ver puntos y recorridos en la figura 1): a) los *ullals* junto con lo que serían sus zonas próximas de influencia (9-4-12-13, correspondiente al área de reserva del samaruc y 10-lob-8-5-7 aguas que se utilizan en el término de Gandía); b) las zonas altamente contaminadas de las salidas norte del humedal (23-24-25-26-27-28-29-30) y el vertido de Xeresa (17) y c) el tercer grupo más extenso correspondería a la zona de marjal propiamente dicho y a las salidas de agua paralelas al mar (p.e., 1-2-6-3-11-14-15-16-18-19). Un segundo factor (explica un 24% de la varianza) distribuye este gran grupo final que acabamos de comentar a lo largo de un vector de concentración de oxígeno de las aguas (significativamente correlacionado con el pH, $p < 0.01$). Así, quedan separados dentro de un mismo estado trófico aquellos puntos con aguas corrientes de los de aguas lénticas (puntos 4, 6 y 11 por ejemplo frente a 14 15 y 16). Por último, un tercer factor, con el que se llega a explicar un 83 % de la varianza, destaca la heterogeneidad de la salinidad en el humedal dejando claramente separados del resto al conjunto de puntos del marjal central y la pequeña laguna (punto 20). Esto es debido a que, contrariamente a lo que se pudiera

suponer *a priori*, no existe un eje de salinidad oeste-este, sino que la zona central está abastecida por las aguas del sub-acuífero de Xeraco (Andreu & Viñals, 1999) de mayor salinidad.

En el periodo seco, el APC nos descubre dos factores que explican el 81% de la varianza y son, con nitidez, la eutrofia y la salinidad. Sin embargo, es destacable su diferencia con el estado del humedal en marzo, ya que la segregación de los grupos se exagera, no existiendo un gradiente trófico sino dos grupos bien separados: *ullals* y su zona de influencia, frente al resto. Respecto a las diferencias debidas a posibles flujos de agua, éstas ya no existen pues todo es mucho más somero y estancado. Con respecto al otro factor dominante, la salinidad, vemos que, agostada toda la zona centro, la máxima salinidad se observa en las zonas de aliviadero más próximas a ésta (ver Figs. 1 y 2) tanto en el punto 2 (hacia el S) como en el 19 (hacia el N), lo que confirma que más que un eje se da una distribución radial de la salinidad desde la zona central.

Así pues, en el marjal de la Safor el gradiente trófico espacial observado es muy acusado (Fig.

Tabla 1. Valores mínimos y máximos de diversas variables limnológicas bióticas y abióticas en el marjal de La Safor durante el periodo de máxima inundación (marzo) y después del estiaje (septiembre). El punto 17, el aliviadero de aguas residuales ha sido excluido en la presentación de los rangos. *Minimum and maximum values of several biotic and abiotic variables in La Safor wetland during the wet (March) and dry (September) periods. Sampling station 17, the wastewater channel, has been excluded from the ranges shown.*

Variable		Marzo	Septiembre
Temperatura	°C	13.1-22.3	21.2-27.5
Oxígeno	mg/l	0.8-16.5	0.1-10.2
Saturación O ₂	%	18-160	1-127
pH		7.2-8.5	7.4-8
Conductividad	µS/cm	682-3000	742-5170
Salinidad	mg/l	0.1-1.4	0.2-1.6
Secchi	m	0.6-1.5	0.3-0.7
Fósforo total	mgP/l	0.004-7.7	0.009-14.5
Clorofila a	µg/l	0.6-79	0.6-652
Bacterias densidad	cel/ml x 10 ⁶	0.02-2.9	0.04-37
biovolumen	mm ³ /l	0.003-1	0.008-13
Picoplanc. autotrof.	cel/ml x 10 ⁴	0-159	0-328
Fitoplancton biovol.	mm ³ /l	0.009-47	0.003-12

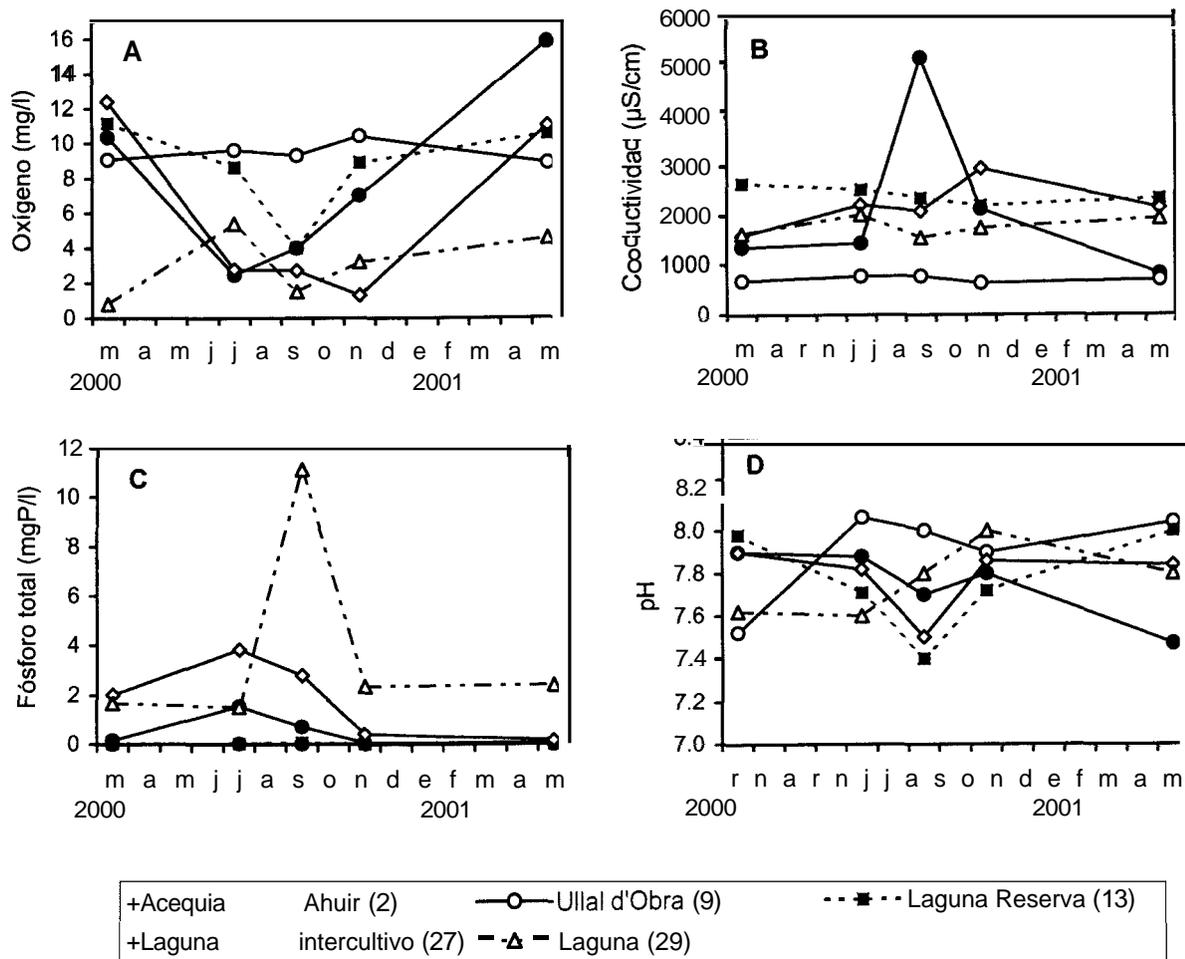


Figura 3. Variación estacional de los principales parámetros abióticos -oxígeno disuelto (A), conductividad del agua (B), fósforo total (C) y pH (D)- en los 5 puntos de muestreo. *Seasonal variation of main abiotic variables: dissolved oxygen (A), water conductivity (B), total phosphorus (C) and pH (D), measured at five sampling stations.*

2 y Tabla 1). En el periodo húmedo los valores de fósforo total (PT) variaron entre 0.004 y 7.7 mgP/l y las concentraciones de clorofila *a* entre 0.6 y 79 µg/l. Los valores mínimos para ambas variables corresponden a los *ullals* (puntos 9: *ullal d'Obra* y 10b: *ullal de Baltasar*, uno de los principales abastecedores del marjal) y a las acequias por las que discurre el agua subterránea extraída directamente con bombas (puntos 7 y 10: Acequia del Rey). En el extremo opuesto del gradiente se encuentran las acequias (puntos 27 y 30) de la parte norte más cercanas al mar que recogen el agua excedente de los riegos, así como

algunas de las lagunas (punto 29) próximas a las áreas de cultivo de la zona de Xeraco. Los puntos situados en lo que queda de marjal menos transformado presentaron valores bajos de clorofila (1 µg/l) aunque las concentraciones de PT estaban dentro del rango de la eutrofia (OCDE, 1982). Un gradiente similar se observa en septiembre, aunque se alcanzan mayores valores de fósforo total y sobre todo de clorofila (Tabla 1), llegando hasta 652 µg/l en la laguna próxima a los cultivos (29).

En concordancia con los valores de fósforo y clorofila, otras variables informativas de la eutrofización mostraron rangos también muy amplios

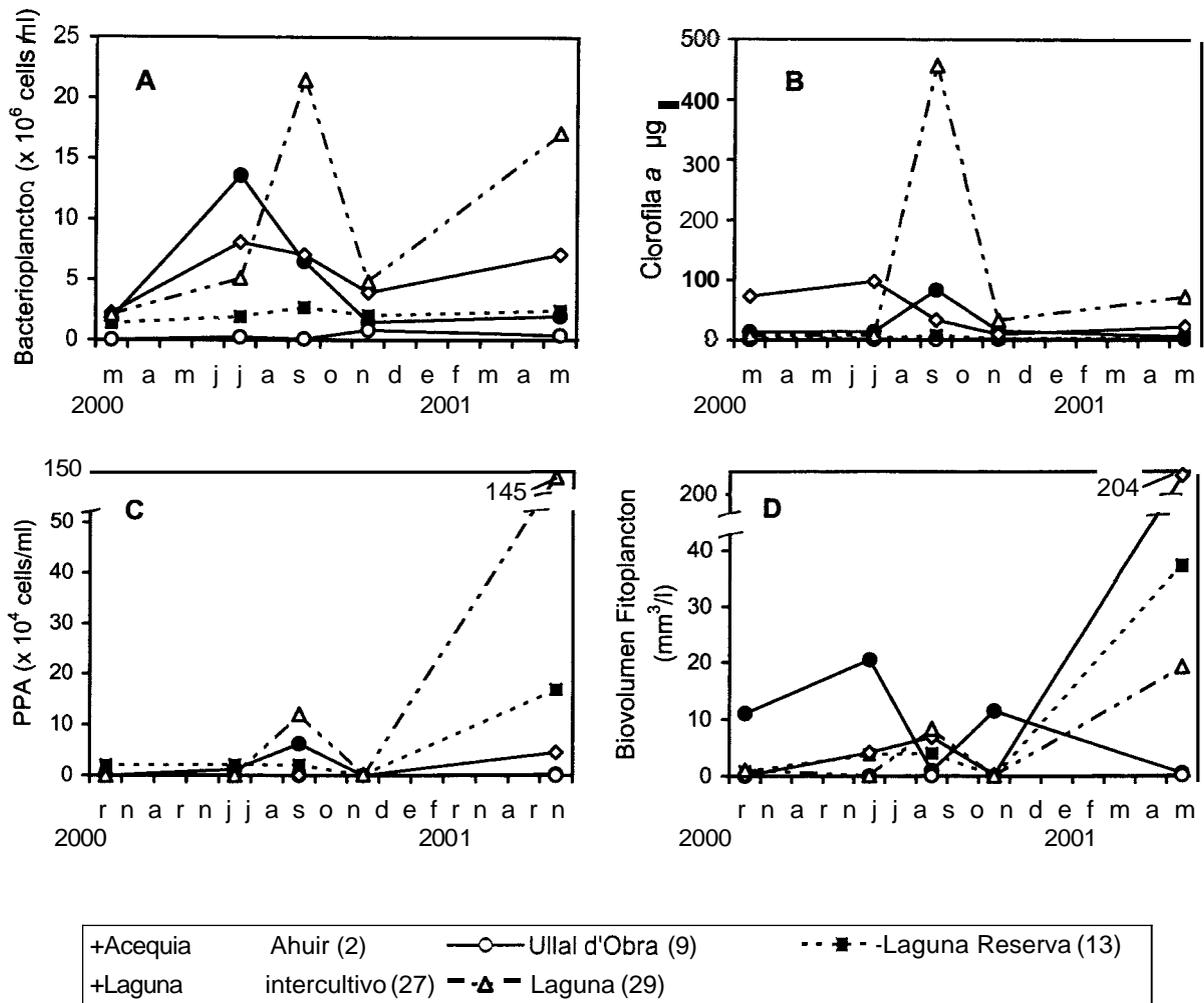


Figura 4. Variación estacional de las variables bióticas -densidad bacteriana (A), clorofila *a* (B), abundancia de picoplancton autótrofo (C), biovolumen fitoplanctónico (D)- en los 5 puntos de muestreo. *Seasonal variation of biotic variables: bacterial density (A), chlorophyll-a (B), autotrophic picoplankton abundance (C) and phytoplanktonic biovolume (D) at the five sampling stations.*

(p.e. las concentraciones bacterianas que variaban entre mínimos de 0.02×10^6 cel/ml y máximos de 37×10^6 cel/ml; Tabla 1), acusándose una mayor amplitud de rango en septiembre, cuando el punto recolector de salida al mar alcanza el máximo. Es destacable el hecho de que la biomasa bacteriana presenta un rango similar al de la biomasa fitoplanctónica (Tabla 1). Esto es esperable cuando un gran porcentaje del total de la energía representada por la producción primaria en sistemas acuáticos como los humedales pasa a través de la red trófica detrítica, donde las bacte-

rias juegan un papel principal (Kepner & Pratt, 1996). Las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua fueron muy bajas en algunos puntos, cercanas a la anoxia ($0.1-0.3$ mgO₂/l, puntos 23, 29, 30) indicando la mala calidad de este agua y siendo de nuevo este rango más amplio en septiembre. El pH de las aguas es ligeramente alcalino y los rangos fueron semejantes entre los dos periodos (Tabla 1).

Mención especial merece el punto de muestreo 17, situado en el aliviadero de las aguas residuales de la localidad de Xeresa, acequia que vierte

directamente al marjal sin pasar por ninguna estación depuradora. Las concentraciones de PT medidas en esta acequia llegaron a ser de más de 20 mgP/l en septiembre y las densidades bacterianas de más de 54 millones de cel/ml. Sin embargo, y demostrando el poder depurador del transcurso del agua por el marjal, se observó que en marzo cuando la concentración de P en el punto 17 era de 6.3 mgP/l, transcurridos 1000 m (punto 18) pasó a ser de 0.3 mgP/l y la concentración de O₂, se había duplicado.

Variación estacional

Para llevar a cabo un seguimiento estacional, incidiendo en los cambios debidos al estío, se eligieron 5 puntos representativos que se muestrearon en cinco ocasiones (Figs. 3 y 4).

Las concentraciones de oxígeno disuelto experimentaron en verano un gran descenso en las lagunas (puntos 27 y 29), incluso en la laguna de la reserva del samaruc (Fig. 3A), lo que es más preocupante. Esta disminución no es sólo debida a las mayores temperaturas y conductividades alcanzadas en este período, sino a la mayor cantidad de materia orgánica y el reducido flujo que presentaban las aguas. La conductividad aumentó especialmente en la acequia de Ahuir junto con el PT (Figs. 3B y C), debido sin duda, al efecto de la desecación ya que se queda prácticamente sin suministro de agua. Las variaciones estacionales apenas se detectan en el punto 9 (*ullal* d'Obra). Este *ullal* mantuvo concentraciones de oxígeno entre 9 y 10 mg/l a lo largo de todo el año (Fig.

3A), una conductividad del agua entre 640 y 777 μ S/cm (Fig. 3B, de los valores más bajos de toda la zona) e igualmente bajos y constantes los valores de fósforo. El abastecimiento que supone este *ullal* ayuda al manteniendo más o menos constante de la calidad y cantidad de agua en la reserva del samaruc. Puesto que, incluso con este aporte, se observa una drástica bajada de nivel del agua en verano en la reserva y la mortandad de macrófitos cuya descomposición provocaría el descenso en la concentración de oxígeno (Mitsch & Gosselink, 2000).

Respecto a los indicadores biológicos (Fig. 4), se observa un doble patrón, por un lado el efecto de la estacionalidad con aumentos de los productores primarios planctónicos y las bacterias en verano, manteniéndose constante el *ullal* por su calidad de manantial (concentraciones de clorofila alrededor de 1 μ g/l, Fig. 4B). Por otro lado, se vislumbra un crecimiento primaveral en el año 2001 que no se corresponde con el del 2000. Este aumento primaveral de todos los organismos aquí tratados no se ve reflejado en una mayor concentración de clorofila. Una explicación es que el aumento de biomasa de fitoplancton en las tres lagunas se debe a una alta concentración de cianofíceas filamentosas de gran tamaño (*Planktothrix ugardhi*) y euglenofíceas (*Euglena gracilis*), cuyo volumen no se corresponde directamente con su actividad fotosintética (masas de metabolismo lento con sólo algunas partes en crecimiento y posibilidad de actividad heterótrofa, respectivamente). Estas algas son otro claro indicador del proceso de eutrofización que sufre el humedal, incluso en los lugares que se desean más protegidos (reserva del samaruc). Estos

Tabla 2. Media y desviación típica de diversas variables limnológicas bióticas y abióticas de 5 puntos representativos (2, 9, 13, 27 y 29 de Fig. 1) en una secuencia estacional. Table 2. Mean and standard deviation of several biotic and abiotic variables of 5 representative sampling stations (2, 9, 13, 27 and 29, as in Fig.1) in a seasonal sequence.

	Oxígeno mg/l	pH	Cond. μ S/cm	P total mgP/l	Clor. a μ g/l	Bacterias $\times 10^6$ cel/ml	Fitoplancton mm ³ /l
Marzo-00	8.8 \pm 4.6	7.8 \pm 0.2	1587 \pm 711	0.8 \pm 1.0	19 \pm 30	1.5 \pm 0.9	2.6 \pm 4.7
Julio	5.8 \pm 3.3	7.8 \pm 0.2	1798 \pm 695	1.4 \pm 1.6	25 \pm 41	5.8 \pm 5.3	5.7 \pm 8.5
Sept.	4.3 \pm 3.0	7.7 \pm 0.2	2389 \pm 1668	3.0 \pm 4.7	116 \pm 193	7.6 \pm 8.3	4.0 \pm 3.6
Nov.	6.2 \pm 3.8	7.9 \pm 0.1	1932 \pm 845	0.6 \pm 1.0	12 \pm 13	2.6 \pm 1.7	2.4 \pm 5.1
Mayo-01	10.2 \pm 4.0	7.8 \pm 0.2	1590 \pm 772	0.5 \pm 1.1	21 \pm 29	5.8 \pm 6.8	51.9 \pm 86.3

valores tan altos de biovolumen algal no se han observado ni en las zonas más contaminadas de otros humedales eutróficos, como lo son el parque nacional de Las Tablas de Daimiel (Rojo *et al.*, 2000) o el parque natural El Hondo de Elche (Rodrigo *et al.*, 2001).

En promedio (de los 5 puntos) se observa que la concentración de oxígeno disminuye en verano a la mitad (desciende hasta 4 mg/l), el PT se duplica en esas fechas, alcanzando 3 mgP/l, y la densidad bacteriana se triplica (hasta 7×10^6 cel/ml). La mayor dispersión (medida como desviación típica) se producen en el estío (Tabla 2).

Atendiendo a las concentraciones de fósforo total y clorofila *a* y el escaso flujo de agua existente en el humedal durante una parte importante del año, el marjal de la Safor puede ser clasificado, globalmente, como altamente eutrófico (OCDE, 1982). Nuestra valoración del estado trófico del marjal coincide con la presentada por Andreu & Viñals (1999) en su trabajo de aplicación de índices bióticos a partir del estudio de los macroinvertebrados. Las causas del deterioro del ambiente acuático del marjal son múltiples: movilización de aguas contaminadas por nutrientes a través de la red hídrica, aterramientos con materiales de desecho (p.e. escombros), empleo de productos fitosanitarios, etc.

Sin embargo, este humedal presenta una heterogeneidad espacial y temporal evidente que pone de manifiesto que está constituido por hábitats muy pequeños, discontinuos y frágiles, fácilmente alterables, algunos de los cuales son los responsables del mantenimiento de la calidad del agua y de la alta variación de la conductividad en un humedal tan pequeño. El suministro de aguas no contaminadas proviene de la zona suroeste del humedal (dónde están las surgencias) y la mayor conductividad se da en el centro del humedal (zona de encharcamiento o marjal propiamente dicha) irradiando hacia el sur y hacia el norte. Por tanto, se genera un amplio abanico de ambientes acuáticos que favorecen una alta diversidad planctónica y el mantenimiento de una flora y fauna aún interesantes (Cirujano 1992, Planelles 1996). Además, las variaciones estacionales hacen más acusadas las diferencias en verano y

las relajan en invierno cuando la comunicación entre sitios es mayor, provocando efectos de aislamiento y temporalidad. Por todo ello, es especialmente grave detectar los altísimos niveles de contaminación que se han subrayado en este estudio y la presencia de crecimientos masivos de algas, indicadoras de un deterioro progresivo de las aguas, incluso en la zona reservada para el samaruc.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha realizado gracias a la financiación del proyecto GV99-124-1-03. Los autores también agradecen a Miguel Álvarez, Palmira Riobos, Sara Cervera, Elizabeth Ortega, Marcos Pérez, Juan Rueda, M^a Loli Sendra, David Núñez y William Colom la colaboración que, de distintas formas, nos han prestado.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDREU, E. & M. J. VIÑALS. 1999. *La marjal de la Safor*. Informe técnico SEHUMED. 354 pp.
- APHA-AWWA-WPCF. 1989. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 17th ed. Washington, D.C.
- CASADO, S. & C. MONTES. 1995. Guía de los lagos y humedales de España. J.M. Reyero Editor, Madrid.
- CIRUJANO, S., M. VELAYOS, F. CASTILLA & M. GIL. 1992. *Criterios botánicos para la valoración de las lagunas y humedales españoles (Península Ibérica y las Islas Baleares)*. ICONA, Madrid.
- COLOM, W. & M. A. RODRIGO. 1993. *Seguimiento limnológico preliminar de los humedales de la Comunidad Valenciana susceptibles de albergar los ciprinodóntidos endémicos Valencia hispanica (samaruc) y Aphanius iberus (fartet)*. Informe para la Conselleria de MediAmbient. Generalitat Valenciana. 189 pp.
- COWARDIN, L. M., V. CARTER, F. C. GOLET & E. T. LAROE. 1979. *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States*. U.S. Fish & Wildlife Service Pub. Washington.
- GOPAL, B., R. E. TURNER, R. C. WETZEL & D. F. WHIGHAM. 1982. *Wetlands-Ecology and Mana-*

- gement. National Institute of Ecology and International Scientific Publications, Jaipur.
- HOBBIE, J. E., R. J. DALEY & S. JASPER. 1977. Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33: 1225-1228.
- JEFFREY, S. W. & G. F. HUMPHREY. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b c₁ and c₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzen*, 167: 91-194.
- KEPNER, R. L. Jr. & J. R. PRATT. 1996. Characterization of surface-associated protozoan communities in a Lake Erie Coastal wetland. *J. Great Lakes Res.*, 22: 63-76.
- MITSCH, W. J. & J. G. GOSSELINK. 2000. *Wetlands*. (3rd ed.) Wiley & Sons, Inc. New York.
- MACISAAC, E. A. & J. G. STOCKNER. 1993. Enumeration of phototrophic picoplankton by auto-fluorescence microscopy. En: *Handbook of methods in aquatic microbial ecology* P. F. Kemp, B. F. Sherr, E. B. Sherr & J. J. Cole (eds.): 187-197. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- OCDE, 1982. *Eutrophication of water: monitoring, assessment and control*. Organization of Economic Co-operation and Development, Paris.
- OLTRA, R. & X. ARMENGOL-DÍAZ. 1999. Limnología de los humedales valencianos susceptibles de albergar samaruc y fartet: (II) Zooplancton. En: *Peces ciprinodóntidos ibéricos Fartet y Samaruc Generalitat Valenciana. Conselleria de Medio Ambiente*. pp: 79-97.
- PLANELLES, M. 1996. The last populations of samaruc *Valencia hispanica* (Valenciennes, 1846): Distribution, status and recovery efforts. *Publ. Espec. Inst. Esp. Oceanogr.* 21: 263-268.
- PLANELLES, M. & S. REYNA. 1996. Conservation of samaruc, *Valencia hispanica* (Valenciennes, 1846), (Pisces: Cyprinodontidae), an endemic and endangered species, in the community of Valencia (east Spain).. En: *Conservation of Endangered Freshwater Fish in Europe*. A. Kirchhofer & D. Hefti (eds.): 329-335. Birkhauser Verlag Basel, Switzerland.
- RODRIGO, M. A., C. ROJO, X. ARMENGOL, M. D. SENDRA, J. RUEDA & M. PEREZ-OLMEDILLA. 2000. *El marjal de Xeresa-Xeraco I: limnología abiótica*. Libro de resúmenes de X Congreso de la Asociación Española de Limnología, p: 235.
- RODRIGO, M. A. & W. COLOM. 1999. Limnología de los humedales valencianos susceptibles de albergar samaruc y fartet: (I) Físico-química. En: *Peces ciprinodóntidos ibéricos Fartet y Samaruc*. Generalitat Valenciana. Conselleria de Medio Ambiente. pp: 59-77.
- RODRIGO, M. A., X. ARMENGOL-DÍAZ, R. OLTRA, M. J. DASÍ & W. COLOM. 2001. Environmental variables and planktonic communities in two ponds of El Hondo Wetland (SE Spain). *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 86: 299-315.
- ROJO, C., E. ORTEGA-MAYAGOITIA, M. A. RODRIGO & M. ÁLVAREZ-COBELAS. 2000. Phytoplankton structure and dynamics in a semiarid wetland, the National Park Las Tablas de Daimiel (Spain). *Arch. Hydrobiol.*, 148: 397-419.
- ROTT, E. 1981. Some results from phytoplankton counting intercalibrations. *Schweiz. Z. Hydrol.* 43: 34-62.
- VIÑALS, M. J., 1996. Wetlands related with spring and seepages. In: *Management of Mediterranean Wetlands (2)*. Morillo & Gonzalez (eds.) Madrid. pp: 313-334.
- WETZEL, R. G. 1999. Biodiversity and shifting energetic stability within freshwater ecosystem. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.*, 54: 19-32.