
Limnologia de l'embassament de Foix

**Joan Armengol
i Rafael Marcé**

*Departament d'Ecologia
Universitat de Barcelona*

Resum

Malgrat que els grans embassaments de la península Ibèrica són ben coneguts des del punt de vista limnològic, gràcies als treballs encetats durant la dècada dels setanta pel Dr. Ramon Margalef, les característiques de la majoria dels embassaments petits ($<10 \text{ Hm}^3$), com el Foix, romanen desconegudes. En aquest estudi es presenten els resultats del primer seguiment limnològic extensiu a l'embassament de Foix, tot comparant els seus trets més característics amb els dels grans embassaments.

A més dels trets propis esperables d'un petit embassament en clima mediterrani (absència d'una capa hipolimnètica clarament definida i temps de residència de l'aigua molt variables), l'embassament de Foix destaca per una qualitat de l'aigua molt baixa, amb un grau d'eutròfia considerable, el que provoca freqüents situacions d'anòxia en les capes fondes.

Paraules clau

Hipereutròfia, estat tròfic, anòxia

Resumen

Limnología del embalse de Foix

Pese a que los grandes embalses de la península Ibérica son bien conocidos desde el punto de vista limnológico, gracias a los trabajos realizados durante la década de los setenta por el Dr. Ramon Margalef, las características de la mayoría de los embalses pequeños ($<10 \text{ Hm}^3$), como el Foix, son desconocidas. En este estudio se presentan los resultados del primer seguimiento limnológico extensivo en el embalse de Foix, comparando sus rasgos más característicos con los de los grandes embalses.

Aparte de los rasgos esperables de un pequeño embalse en clima mediterráneo (ausencia de una capa hipolimnética claramente definida y tiempos de residencia del agua muy variables), el embalse de Foix destaca por una calidad del agua muy baja, con un grado de eutrofia considerable, lo que provoca frecuentes situaciones de anoxia en las capas profundas.

Palabras clave

Hipereutrofia, estado trófico, anoxia

Abstract

Limnology of Foix reservoir

Although the large reservoirs in the Iberian Peninsula are well known from the limnological point of view, thanks to the good work done in the seventies by Dr Ramon Margalef, the characteristics of most of the small ones ($<10 \text{ Hm}^3$), such as Foix, are still unknown. This study presents the results of the first extensive limnological monitoring of Foix reservoir, comparing its main features with those of the large reservoirs.

As well as the predictable typical features of a small reservoir in a Mediterranean climate (lack of a clearly defined hypolimnetic layer and highly variable water levels), Foix reservoir has very low water quality with a considerable degree of eutrophy, which causes frequent situations of anoxia in the deep layers.

Keywords

Hypereutrophia, trophic state, anoxia

Introducció

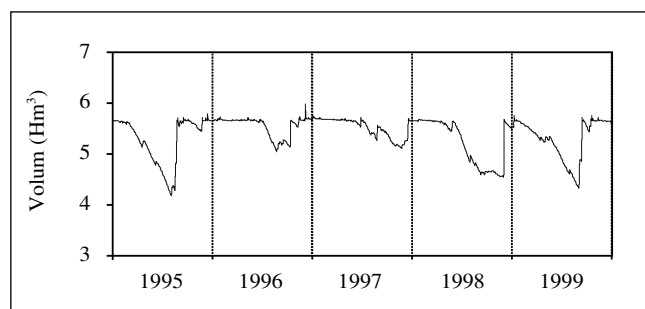
L'embassament de Foix va ser obviat en els estudis regionals sobre limnologia dels embassaments espanyols portats a terme des dels anys setanta (MARGALEF *et al.*, 1976; RIERA, 1993). Així que, exceptuant breus informes tècnics (ORTIZ *et al.*, 1983), les seves característiques limnològiques eren desconegudes fins als treballs de Marcé *et al.* (2000). Bé, totes tret d'una, que es fa prou evident, no ja per a un limnòleg, sinó per a qualsevol persona que s'atani al pantà: la pèssima qualitat de les aigües. Aquest desconeixement contrastava amb la informació de què es disposa de l'estat del riu Foix, el principal tributari de l'embassament. Els treballs que es presenten ara vénen a completar, doncs, la descripció ecològica dels principals ambients hídrics de la conca del Foix. No farem aquí una descripció detallada dels mètodes emprats, que els interessats poden trobar a Marcé *et al.* (2000). Com un avançament de les conclusions –i, si com diu Margalef (1983), els embassaments són una font d'informació fiable sobre l'estat ecològic de la conca–, podem dir que la situació en aquests moments a la conca del Foix només podria ser més negativa imaginant supòsits realment catastròfics. No és gaire coherent parlar de la necessitat de portar aigua de conques llunyanes (necessitat que no es vol jutjar aquí), mentre deixem podrir-se recursos que tenim a la porta de casa.

Hidrologia

Pel que fa a l'evolució del volum embassat (fig. 1), s'aprecia que les variacions màximes en el període estudiat van una mica més enllà d'1 Hm³. L'embassament assoleix amb facilitat el volum màxim, com ho proven les sobtades recuperacions tan bon punt arriben les pluges a la tardor. En qualsevol cas, ateses les reduïdes dimensions de l'embassament, aquestes variacions de volum no suposen mai diferències de nivell més enllà dels dos metres.

Respecte al cabal que arriba del riu Foix, les seves apor-

Figura 1. Volum diari embassat al Foix. Dades de l'Agència Catalana de l'Aigua, Generalitat de Catalunya.



tacions es caracteritzen per la seva marcada estacionalitat, i existeixen períodes amb entrades nul·les. No hi ha gaires diferències respecte al cabal que surt, i això ens informa de la feble capacitat reguladora de l'embassament. Això pot induir a pensar que el temps de residència de l'aigua és curt, però la figura 1 ens indica que aquest se situa entre els 230 i els 800 dies. Veiem que els valors mínims els tenim durant els anys més plujosos (1996 i 1997), mentre que els màxims els trobem els anys més secs (1998 i 1999). Per tant, els valors de temps de residència se situen freqüentment per sobre del límit desitjable per a un embassament (365 dies) (MARGALEF, 1983) i també per sobre de la mitjana dels embassaments espanyols (MARGALEF *et al.*, 1976). Una mirada més detallada de l'evolució d'aquest paràmetre (fig. 2) ens il·lustra clarament una dinàmica de l'aigua fortament estacional, amb valors de residència baixos durant els períodes plujosos i extremadament alts durant els secs.

Temperatura

Pel seu cicle tèrmic, Foix es pot considerar com un embassament monomíctic càlid, amb un període d'estratificació durant els mesos d'estiu (fig. 3). Aquesta estratificació comença a desenvolupar-se a mitjan mes d'abril, quan la temperatura superficial assoleix els 11-12 °C, i es destrueix

Figura 2. Temps de residència de l'aigua a l'embassament de Foix. (a) Calculat en períodes mensuals a partir del flux de sortida (—) i de la mitjana del flux d'entrada i sortida (····) (les línies horitzontals paral·leles marquen les mitjanes), i (b) calculat per períodes anuals.

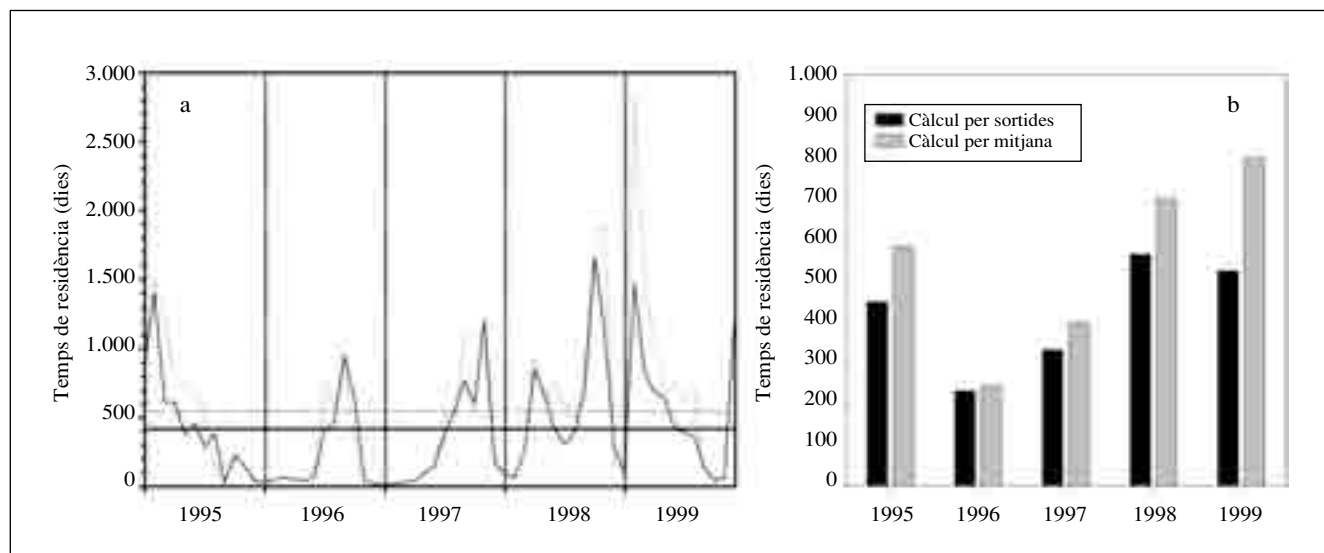
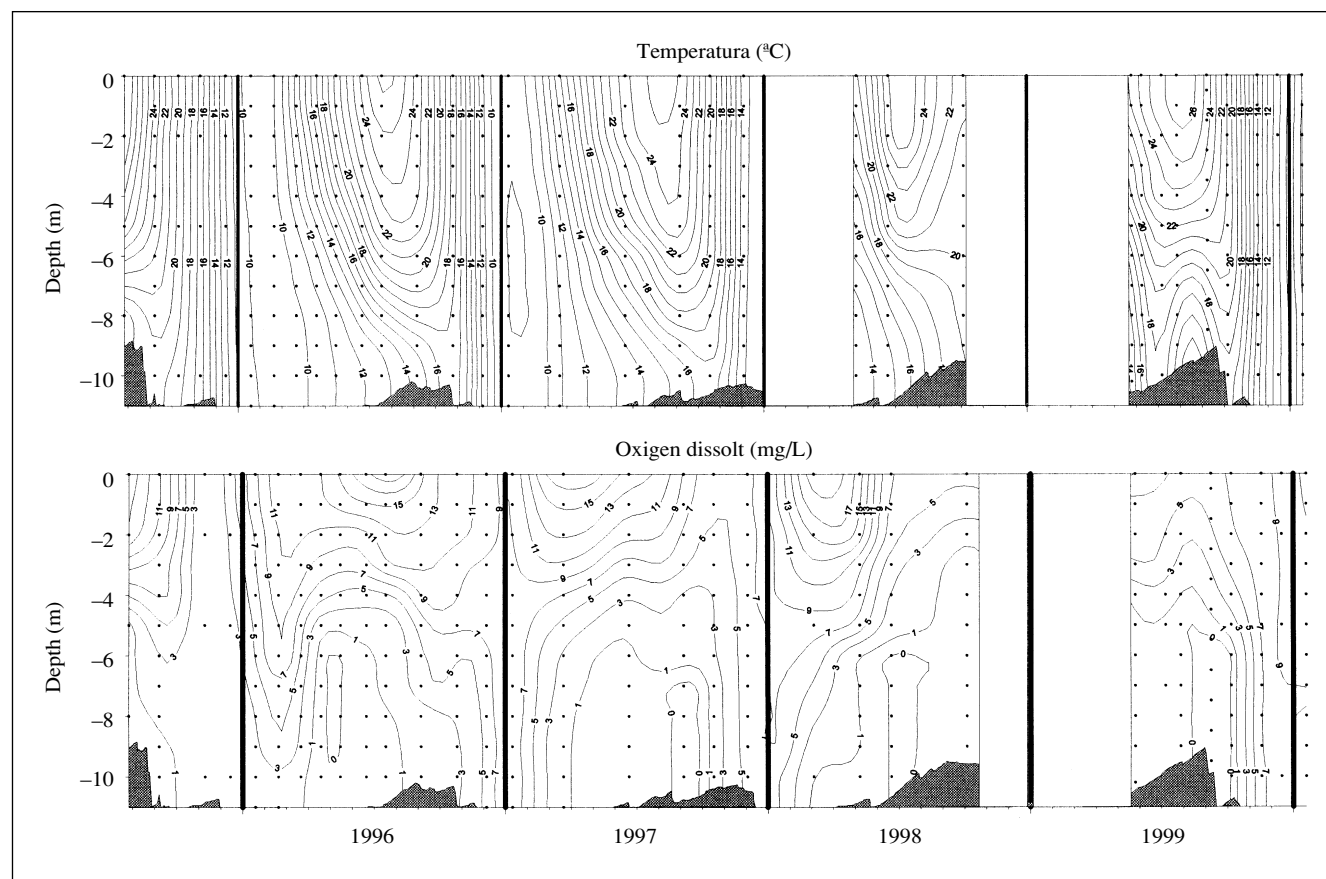


Figura 3. Evolució espai-temps de la temperatura i la concentració d'oxigen dissolt a l'embassament de Foix.



el mes d'octubre, després de l'enfonsament de la termoclina. Aquesta es forma al voltant dels 8 m de fondària, que coincideix amb la profunditat de la comporta de sortida. Es pot afirmar que al Foix existeix estratificació, encara que aquesta no sigui molt acusada i es presenti més aviat com un gradient de temperatura des de la superfície fins al fons, i no com una termoclina ben aparent. Dos processos relacionats amb la hidrodinàmica de l'aigua actuen aquí de manera antagònica: la sortida fonda de l'aigua afebleix l'estratificació (MARGALEF, 1983; FORD, 1990; ARMENGOL *et al.*, 1996; STRAŠKRABA, 1999b; HAN *et al.*, 2000), mentre que els llargs temps de residència a l'embassament l'afavoreixen (STRAŠKRABA, 1999b; HAN *et al.*, 2000). Això sí, en pocs moments es pot parlar de la presència d'un hipolimnion ben constituït.

Composició iònica majoritària

Des dels treballs de Margalef *et al.* (1976) sobre la limnologia dels embassaments espanyols, i les posteriors ampliacions i matisacions respecte a l'evolució en el temps (ARMENGOL *et al.*, 1991; RIERA *et al.*, 1991), és un exercici obligat en qualsevol treball limnològic, sobre un embassament del nostre país, col·locar el sistema en qüestió en un dels grups que es definiren en aquests treballs.

La primera classificació elaborada per Margalef *et al.* (1976) feia servir un criteri geològic (que per extensió es transformava en geogràfic i químic) que dividia els embassaments en dos grans grups. Un segon criteri tenia relació amb l'estat tròfic i els sòlids dissolts, principalment, i dividia cadascun dels dos grups anteriors en tres. Més tard, Ar-

mengol *et al.* (1991) van reduir aquesta classificació a quatre grups, fent servir la composició iònica majoritària i les sals dissoltes.

Al Foix podem acceptar una relació del tipus $\text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^-$, que col·locaria l'embassament en el grup III segons Armengol *et al.* (1991). Es tracta d'embassaments amb aigües sulfatades, amb rangs de sòlids dissolts entre 400 i 1.000 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, i que es distribueixen en una àmplia zona a l'est de la península limitada al nord per l'Ebre, amb l'única excepció del pantà de Riudecanyes i, ara, el Foix. Una altra característica dels pantans d'aquest grup és la seva gran sensibilitat a l'eutrofització, ja que la reducció del sulfat en situacions d'anòxia comporta, en darrera instància, la solubilització del fosfat que està combinat amb ferro (MARGALEF *et al.*, 1976; SCHINDLER, 1985; NASELLI-FLORES, 1999).

Oxigen

La concentració d'oxigen dissolt es pot considerar com un dels millors descriptors de l'activitat biològica a l'aigua embassada. I ho és ja que, traient els processos de difusió turbulenta, fluxos advectionals i l'efecte de la temperatura, la seva concentració depèn del balanç producció-respiració local (COLE i HANNAN, 1990; ARMENGOL *et al.*, 1996).

Comprovem en la figura 3 l'existència d'un gradient en la concentració d'oxigen que es presenta amb més o menys intensitat gairebé al llarg de tot l'any. Trobem períodes d'anòxia en l'àmbit del metalimnion especialment al final de l'estiu, encara que a partir dels sis metres de fondària les concentracions d'oxigen són força baixes durant gran part

de l'any, sense superar els 7 mg·l⁻¹. Per contra, a l'epilímnion les concentracions són molt més elevades, i es destaca un màxim proper a 20 mg·l⁻¹ en superfície el mes de març, que pot desplaçar-se cap a l'estiu, com el 1996. La figura 3 delata que aquestes altes concentracions són degudes a processos de producció fotosintètica, ja que la sobresaturació d'oxigen fins als nivells que s'observen no pot ser deguda a fenòmens físics de difusió (MARGALEF, 1983).

Així mateix, podem veure que l'oxiclina no coincideix gairebé mai amb la termoclina. La primera està situada sempre a menys fondària que la segona, i això ens dona una idea de la diferent escala temporal on s'emmarquen les dues variables. De fet, el que ens indica és la forta dependència de l'oxigen respecte de l'activitat biològica, i que normalment la fondària on se situa el punt de compensació de la fotosíntesi és menor que la fondària de la termoclina.

Estat tròfic

L'estat tròfic d'un sistema és un bon punt de referència a partir del qual proposar vies de gestió, ja que integra gran part dels processos ecològics que tenen lloc a l'embassament. A més, es pot considerar l'eutrofització com el principal problema de les aigües estancades (FRAILE, 1995; DE CEBALLOS *et al.*, 1998; CARPENTER *et al.*, 1999). El problema és que el concepte d'estat tròfic és molt lax, en especial quan es fan servir classificacions discretes, com per exemple la que fa referència a l'eix oligotròfia-eutròfia (RIERA *et al.*, 1991). Molts autors han intentat donar un escenari objectiu per classificar les masses d'aigua sobre aquest eix. Nosaltres farem servir les aproximacions de Carlson (1977) i de l'OECD (1982), ja que són dos dels mètodes més àmpliament emprats pels limnòlegs per decidir l'estat tròfic d'un sistema.

El cas de l'embassament de Foix no és gaire ambigu. Sense necessitat d'aplicar cap índex, l'hem catalogat com a hipereutròfic, ja que els excepcionals valors trobats en totes les variables tradicionalment implicades en la definició d'eutròfia (concentració de pigments, nutrients, transparència de l'aigua...) no permeten gaires dubtes. Però és interessant aplicar els índexs, encara que només sigui per donar un rigor al nostre raonament, i per adonar-nos de fins a quin punt el Foix es troba en una situació extrema.

Taula 1. Límits per eutròfia i hipetròfia segons l'OECD (1982), i valors trobats a l'embassament de Foix (PT: fòsfor total; Chl: clorofil·la).

	Secchi	Chl-a	PT
Mínim	63	53	82
Mitjana	67	79	94
Màxim	81	90	107

Taula 2. Trophic State Index calculat segons Carlson (1977), per a valors mínims, màxims i mitjans mesurats a l'embassament de Foix (PT: fòsfor total; Chl: clorofil·la).

	PT (mg/m ³)	Chl-a (mg/m ³)	Chl-a max.	Secchi (m)
Eutròfia	35-100	8-25	27-75	3-1,5
Hipetròfia	>100	>25	>75	<1,5
Foix	496	136	>400	0,6

En les taules 1 i 2 es poden consultar els resultats d'aplicar els diferents criteris esmentats al nostre embassament, així com alguns valors de referència. Es pot observar com seguint els criteris de l'OECD (1982) el nostre embassament és hipereutròfic sense cap mena de dubte, i se situa molt més enllà de la frontera entre l'eutròfia i l'hipereutròfia, considerant qualsevol de les quatre variables.

El cas del Trophic State Index (TSI) (CARLSON, 1977) necessita una mirada més detallada, pel fet que es tracta d'un índex que situa el sistema en una escala contínua, i no en un grup discret, com el cas anterior. El primer que podem observar és una certa incoherència en els valors que resulta de l'aplicació de l'índex amb les diferents variables. Això és degut, en gran part, a la relació existent entre les diferents equacions que calculen l'índex per a cada variable, i de les limitacions d'aquesta manera de treballar. El que sí que podem constatar és que els valors són molt alts, especialment pel que fa a l'índex calculat amb la concentració total de fòsfor, amb el màxim situat fora de l'escala de treball (encara que això és només anecdòtic). Es confirma la singularitat del nostre embassament pel que fa a la concentració d'aquest nutrient. Els valors calculats amb la clorofil·la, malgrat que són inferiors, continuen sent molt alts. Finalment, els valors que resulten amb les fondàries del disc de Secchi són els més baixos, però encara força alts.

S'ha de considerar que aquest índex vol donar un marc per treballar amb qualsevol volum d'aigua. Per això es va escalar l'índex agafant com a límit inferior els casos més extrems trobats fins llavors a la bibliografia (CARLSON (1977) els va trobar a HUTCHINSON (1957)). Això fa que el límit superior (TSI = 100) es trobi en extrems difícilment assolibles, en especial fent servir el disc de Secchi (0,052 m). Per tant, hem de considerar els nostres com a valors certament alts, amb especial atenció al valor calculat amb el fòsfor.

Es pot aplicar un criteri més local i menys ambiciós. Morguí *et al.* (1990) van proposar el límit entre l'eutròfia i l'hipereutròfia en els embassaments espanyols en 50 mg chl·m⁻³ o bé 1,0 µmol·L⁻¹ de SRP. El nostre embassament supera amb escreix aquests límits.

Bibliografia

- ARMENGOL, J.; RIERA, J.L.; MORGUÍ, J.A. (1991). «Major ionic composition in the Spanish reservoirs». *Verh. Internat.Verein. Limnol.* 24: 1.363-1.366.
- ARMENGOL, J.; BARTRA, R.; SABATER, S.; GARCÍA, J.C.; SACRISTÁN, J. (1996). *Contribución al conocimiento de la ecología acuática del embalse de Barasona: efecto del dragado del embalse*. Confederación Hidrográfica del Ebro.
- CARLSON, R.E. (1977). «A trophic state index for lakes». *Limnol. Oceanogr.* 22(2): 361-369.
- CARPENTER, S.R.; LUDWING, D.; BROCK, W.A. (1999). «Management of eutrophication for lakes subject to potentially irreversible change». *Ecological Applications* 9(3): 751-771.
- COLE, T.M.; HANNAN, H.H. (1990). «Dissolved oxygen dynamics». *Reservoir limnology: ecological perspectives*. K. W. Thornton, B. L. Kimmel i F. E. Payne (eds.). Nova York: John Wiley & Sons.

- CEBALLOS, B.S.O. DE; KÖNIG, A.; OLIVEIRA, J.F. DE (1998). «Dam reservoir eutrophication: a simplified technique for a fast diagnosis of environmental degradation». *Water Research* 32(11): 3.477-3.483.
- FORD, D.E. (1990). «Reservoir transport processes». *Reservoir limnology: ecological perspectives*. K. W. Thornton, B. L. Kimmel i F. E. Payne (ed.). Nova York: John Wiley & Sons.
- FRAILE, H.; ORIVE, E.; POZO, J. (1995). «Evaluación del estado trófico y comparación de modelos relativos al fósforo en los embalses de Cernadilla y Valparaíso (río Tera, Zamora)». *Limnética* 11(2): 29-37.
- HAN, B.; ARMENGOL, J.; GARCÍA, J.C.; COMERMA, M.; ROURA, M.; DOLZ, J.; STRASKRABA, M. (2000). «The thermal structure of Sau reservoir (NE: Spain): a simulation approach». *Ecological Modelling* 125: 109-122.
- HUTCHINSON, G.E. (1957). *A treatise on Limnology*. Vol. I: *Geography, physics, and chemistry*. Nova York: Wiley.
- MARCÉ, R.; COMERMA, M.; GARCÍA, J.C.; GOMÀ, J.; ARMENGOL, J. (2000). «Limnology of Foix Reservoir (Barcelona, Spain)». *Limnetica* 19: 175-191.
- MARGALEF, R. (1983). *Limnología*. Barcelona: Ed. Omega.
- MARGALEF, R.; PLANAS, D.; ARMENGOL, J.; VIDAL, A.; PRAT, N.; GUISET, A.; TOJA, J.; ESTRADA, M. (1976). *Limnología de los embalses españoles*. Madrid: Direcció General d'Obres Hidràuliques. Ministeri d'Obres Públiques.
- MORGUÍ, J.A.; ARMENGOL, J.; RIERA, J.L. (1990). «Evaluación limnológica del estado de los embalses españoles: composición química y nutrientes». *III Jornadas de Pre-sas*. Barcelona.
- NASELLI-FLORES, L. (1999). «Limnological aspects of Sicilian reservoirs: a comparative, ecosystemic approach». *Theoretical reservoir ecology and its applications*. J.G. Tundisi i M. Straskraba (ed.). Backhuys Pub. Leiden.
- OECD (1982). *Eutrophication of waters: Monitoring Assessment and Control*. París: Organization for Economic Cooperation and Control.
- ORTIZ, C.; PEÑA, R. (1984). «Applicability of the OECD eutrophication models to Spanish reservoirs». *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22: 1.521-1.535.
- RIERA, J.L. (1993). *Regional limnology of Spanish reservoirs. Relationships between nutrients, seston, and phytoplankton*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- RIERA, J.L.; MARTÍ, E.; MORGUÍ, J.A. (1991). «Changes in the trophic state of the Spanish reservoirs during the last sixteen years». *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 24: 1.367-1.370.
- SCHINDLER, D.W. (1985). «The coupling of elemental cycles by organisms: evidence from whole-lake chemical perturbations». *Chemical processes in lakes*. W. Stumm (ed.). Nova York: John Willey & Sons.
- STRASKRABA, M. (1999). «Retention time as a key variable of reservoir limnology». *Theoretical reservoir ecology and its applications*. J.G. Tundisi i M. Straskraba (ed.). Backhuys Pub. Leiden.