
El fitoplàncton de l'embassament de Foix: estudi del cicle anual (1996)

Joan Gomà

Departament de Biologia Vegetal
CERGA i CERBIV
Universitat de Barcelona

Resum

L'embassament de Foix té una important entrada de nutrients. Les concentracions de fòsfor reactiu soluble varien entre 10-180 mmol/l i els nitrats estan al voltant de 450 mmol/l. Això implica la presència d'una gran quantitat de biomassa d'algues i una elevada producció primària al plàncton. El 1996 es va estudiar el fitoplàncton del Foix, mostrejant mensualment en un perfil de fondària un punt proper a la presa. Els cloròfits, els criptòfits i les diatomees eren els grups dominants, tant en biomassa com en nombre de tàxons presents. Els cianobacteris tenien ocasionalment creixements puntuals, mentre que els dinòfits i euglenòfits apareixien rarament. L'índex de diversitat varià molt, amb valors entre 1,3 i 4 bits/ind. Al cicle anual del fitoplàncton s'observaren tres períodes amb comunitats diferents: 1. A l'hivern i principi de primavera les criptofícies van prendre importància en la comunitat fitoplanctònica, dominada per *Cryptomonas erosa* (més de 100.000 cel/ml). 2. Al maig, l'alga verda *Chlamydomonas inflexa* era el tàxon dominant, però sense desenvolupar poblacions importants. Posteriorment, van anar apareixent espècies de cloròfits, diatomees i cianobacteris, alternant-se la dominància al llarg de l'estiu i la tardor. 3. Posteriorment s'observaren dos creixements. El primer a l'agost a causa de la diatomea central *Cyclotella meneghiniana*, i l'altre per la clorococcal *Actinastrum hantzschii*, a final d'octubre. Els principals factors que regeixen la successió anual són els nutrients i la dinàmica temporal que integra els canvis climàtics i hidrològics.

Paraules clau

Fitoplàncton, cicle anual, hipereutrofia

Resumen

El fitoplancton del embalse de Foix: estudio del ciclo anual (1996)

El embalse de Foix tiene una importante entrada de nutrientes. Las concentraciones de fósforo reactivo soluble varían entre 10-180 mmol/l y los nitratos están alrededor de 450 mmol/l. Esto implica la presencia de una gran cantidad de biomasa de algas y una elevada producción primaria en el plancton. En 1996 se estudió el fitoplancton del Foix, muestreando mensualmente en un perfil de profundidad un punto cercano a la presa. Los clorófitos, los criptófitos y las diatomeas eran los grupos dominantes, tanto en biomasa como en número de táxones presentes. Las cianobacterias tenían ocasionalmente crecimientos puntuales, mientras que los dinófitos y euglenófitos aparecían raramente. El índice de diversidad varió mucho, con valores entre 1,3 y 4 bits/ind. En el ciclo anual del fitopláncton se observaron tres periodos con comunidades diferentes: 1. En invierno y principios de primavera las criptofíceas tomaron importancia en la comunidad fitoplanctónica, dominada por *Cryptomonas erosa* (más de 100.000 cel/ml). 2. En mayo, el alga verde *Chlamydomonas inflexa* era el táxon dominante, pero sin desarrollar poblaciones importantes. Posteriormente, fueron apareciendo especies de clorófitos, diatomeas y cianobacterias, alternándose la dominancia a lo largo del verano y el otoño. 3. Posteriormente se observaron dos crecimientos. El primero en agosto debido a la diatomea central *Cyclotella meneghiniana*, y el otro a la clorococal *Actinastrum hantzschii*, a finales de octubre. Los principales factores que rigen la sucesión anual son los nutrientes y la dinámica temporal que integra los cambios climáticos e hidrológicos.

Palabras clave

Fitoplancton, ciclo anual, hipereutrofia

Abstract

Phytoplankton in the Foix Reservoir: Study of the Annual Cycle (1996)

A considerable amount of nutrients enter the Foix reservoir. Soluble reactive phosphorous concentrations are found in a 10-180 mmol/l range, whilst nitrate content is around 450 mmol/l. This implies the presence of a large amount of algae biomass and high primary plankton production. In 1996, a study was carried out on the phytoplankton at Foix through monthly sampling from a range of depths at a point near the dam. Chlorophytes, cryptophytes and diatoms were the dominant groups, in terms both of biomass and the number of taxa present. There were occasional growths of cyanobacteria, whilst dinophytes and euglenophytes appeared only rarely. The diversity index varied greatly, between 1.3 and 4 bits/ind. Three periods with different communities were observed in the annual phytoplankton cycle: 1. In winter and early spring, cryptophyceae, predominantly *Cryptomonas erosa*, began to form an important part of the phytoplankton community, with over 100,000 cel/ml; 2. In May, the green algae *Chlamydomonas inflexa* was the dominant taxon, though without developing large populations. Species of chlorophytes, cryptophytes and diatoms began to appear later, each dominating alternatively over the course of the summer and autumn. 3. Two growths were then observed, the first in August, due to the central diatom *Cyclotella meneghiniana*, the other caused by the chlorococcus *Actinastrum hantzschii* in late-October. The principal factors governing the annual sequence are nutrients and the seasonal dynamic, including climatic and hydrological changes.

Keywords

Phytoplankton, annual cycle, hypereutrophy

Introducció

En els estudis limnològics de les masses d'aigua continentals el fitoplàncton sovint ha estat analitzat a l'engròs, mesurant-ne paràmetres integradors com són la concentració dels pigments, el pes sec i el carboni i nitrogen particulats que es troben a l'aigua. Alguns estudis han estat més acurats i han comptat les algues planctòniques, estimant-ne l'abundància, però amb identificacions a nivell taxonòmic grans. Aquests ja troben explicacions més acurades a la dinàmica del fitoplàncton i la interacció amb l'entorn. Però són pocs els treballs en què s'estudia el fitoplàncton fins al nivell d'espècie i en els quals es vol conèixer aquestes espècies que formen el fitoplàncton i són les protagonistes de la seva dinàmica i, per tant, responsables últims dels valors que s'obtenen en els estudis més generalistes.

El treball que aquí es presenta pretén conèixer l'ecologia del fitoplàncton d'un embassament hipereutròfic analitzant-lo fins al nivell específic i buscant les raons que regeixen aquesta ecologia. Les principals qüestions que es plantegen són: quines espècies es troben en un embassament d'aquestes característiques?, quina distribució espacial i temporal tenen?, i quins són els factors que determinen aquesta distribució? En el treball es descriuen i analitzen les algues del fitoplàncton i la seva evolució dins l'entorn. L'estudi del fitoplàncton del Foix és abordat des de dos vessants, el primer el descriu des del punt de vista més ecològic: el fitoplàncton com a productor primari de l'ecosistema pelàgic i com a variable que interacciona amb la resta de processos químics i biològics que s'esdevenen a l'embassament. La segona visió mira en detall els components del fitoplàncton, les diferents espècies d'algues i la seva evolució dins aquest marc.

Materials i mètodes

Durant l'any 1996 es va mostrejar mensualment (de gener a desembre) un punt de l'embassament de Foix situat prop de la presa. Es va mesurar la fondària de visió d'un disc de Secchi de 20 cm de diàmetre, seguint les indicacions trobades a Margalef (1983) i Hutchinson (1957). Es van prendre mostres a les fondàries de 0,2 i 5 metres, i a mig metre per sobre del fons, amb una ampolla de tipus Schindler-Patalas. Per a l'estudi del fitoplàncton s'extreien 200 ml d'aigua que es guardaven en ampolles on eren fixades a l'instant amb solució de lugol al 4%. També es van agafar mostres d'aigua per analitzar les variables referents als pigments del fitoplàncton al laboratori. Prèvia filtració d'un volum conegut de mostra d'aigua amb un filtre de fibra de vidre Whatman GF/F, es procedia a l'extracció dels pigments de les cèl·lules retingudes al filtre amb acetona al 90% durant 24 h a 4°C. La concentració de la clorofil·la *a* es determinava amb el mètode tricromàtic per a comunitats mixtes de fitoplàncton de Jeffrey i Humphrey (1975), seguint el protocol descrit a Wetzel i Likens (1991). Es calculà l'índex pigmentari D_{430}/D_{665} , també conegut com a índex de Margalef (MARGALEF, 1976 i 1983; WATSON i OSBORNE, 1979). Els índexs pigmentaris permeten comparar la importància relativa d'uns pigments enfront dels altres, i informen de certs processos que reflecteixen l'estat fisiològic dels grups d'algues. L'emprat és una expressió que relaciona la concentració total de pigments (absorbàn-

cia a 430 nm) amb la concentració de clorofil·la *a* (absorbància a 665 nm). Segons Margalef (1974), reflecteix l'estat fisiològic de les algues del fitoplàncton, ja que considera la presència de clorofil·la *a* com un indicador de condicions favorables per al creixement de les algues.

Per dur a terme la identificació i comptatge de les espècies que componien el fitoplàncton es va concentrar en columnes de sedimentació seguint la tècnica d'Utermöhl. Se separaren parts alíquotes de 5, 10 i 50 ml per sedimentar en funció de la concentració d'organismes que tingués la mostra. La determinació i comptatge de les espècies es va dur a terme amb un microscopi invertit (Nikon 725). Es comptaven els individus de cada espècie que s'observaven dins un camp de l'objectiu de 100 augments, fins a un mínim de 50 camps. Posteriorment es calculà la concentració de cèl·lules per ml que hi havia en cada mostra mitjançant la fórmula: $Nre. cel = C \cdot 1.000 mm^3/A \cdot D \cdot F$. On *C* és el nombre d'individus comptats, *A* és l'àrea del camp de l'objectiu (en mm²), *D* és l'alçada de la columna de sedimentació (en mm) i finalment *F*, el nombre de camps comptats. Les espècies colonials, filamentoses i cenobials eren comptades com a individus, no per nombre de cèl·lules. Per a la identificació taxonòmica es va emprar la bibliografia estàndard.

Resultats i discussió

En diferents treballs s'ha descrit en detall l'evolució anual dels diferents paràmetres que defineixen la limnologia de l'embassament (MARCÉ *et al.*, 2000), un dels quals es publica en aquest mateix volum. En aquest treball, per tant, tan sols farem una breu descripció de les característiques limnològiques més rellevants de l'any d'estudi. L'evolució anual de la temperatura de l'aigua de l'embassament està lligada a les condicions climatològiques i sol tenir el comportament sinusoidal que aquestes segueixen a la zona temperada, marcada per contrastos estacionals. Presentà, doncs, una major temperatura a l'estiu, amb un màxim de 20,5°C el mes de juliol, i una menor temperatura a principi d'hivern, d'uns 8°C els mesos de novembre i desembre. Cal remarcar que el desembre la temperatura va baixar un parell de graus respecte al començament de l'any. L'estabilitat de la columna d'aigua, propiciada per la presència d'una termoclina (IDSO, 1973), no assoleix mai valors excessivament elevats, si els comparem amb els trobats en altres embassaments (ARMENGOL *et al.*, 1999). Malgrat tot, 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 que defineixi clarament un epilímnion i un hipolímnion.

Una de les característiques fonamentals de l'embassament de Foix és l'elevada concentració de nutrients que trobem a les seves aigües. Sens dubte aquest factor és el que més condiciona la limnologia de l'embassament i per descomptat les característiques i la dinàmica del fitoplàncton que hi viu. Els valors de les variables com la quantitat de nutrients, la concentració de clorofil·la *a* i la transparència de l'aigua han estat emprats per classificar les masses d'aigua continentals lòtiques dins un estat tròfic. Emprant els criteris descrits per Carlson 1977 i OECD 1982, l'embassament de Foix es pot definir com a hipereutròfic

(MARCÉ *et al.*, 2000). Perquè la situació de l'embassament és realment extrema. La segregació en l'espai a l'eix vertical que esdevé en els embassaments a causa de l'entrada superficial de llum i la sedimentació que pateixen les diferents variables, principalment els organismes (MARGALEF, 1983), es veu accentuada en gran mesura per la condició hipereutròfica de les aigües del Foix. Així els gradients verticals de les diferents variables són molt marcats, tot i que l'estratificació tèrmica no sigui molt intensa; la gran quantitat de nutrients permet una desmesurada producció de matèria orgànica i d'oxigen en les capes superficials, i quan se sedimenta cap al fons s'hi generen condicions de forta anòxia que impediran la retenció de nutrients al sediment (el fòsfor principalment), amb la qual cosa les vies naturals d'eliminació de l'excés de nutrients del sistema no funcionen. En aquestes condicions ni la barreja de la columna d'aigua aconsegueix homogeneïtzar aquests gradients del tot.

Dinàmica del fitoplàncton

L'anàlisi de la clorofil·la *a* al Foix al llarg del temps ens permet veure quina va ser la dinàmica del total de les algues del fitoplàncton. El primer que cal destacar és la gran quantitat de clorofil·la present a l'embassament de Foix. Els valors de la concentració d'aquest pigment són molt elevats, amb una mitjana de 139 mg/m³ i un màxim de 425 mg/m³, que de llarg superen els valors trobats en altres embassaments (RIERA, 1993). I per descomptat també superen els valors proposats com a definidors de les diferents condicions tròfiques, com els 5 mg/m³ proposats com a límit entre oligotròfia i eutròfia per Margalef (1983), o els 25 mg/m³ proposats per l'OCDE (1982) com a límit per a la condició d'hipereutròfia. En alguns moments se supera el màxim teòric expressat per Reynolds (1997 i 1999), probablement el fet que la capa fòtica se situï per sobre de la termoclina fa que l'acció del vent barrejant les aigües de l'epilímnion permeti aquesta situació. També cal tenir en compte que la metodologia emprada per mesurar la clorofil·la pot incloure clorofil·la encara no degradada pertanyent a cèl·lules mortes que encara no han sedimentat cap al fons. El mateix passa amb els valors de clorofil·la que es troben en fondària; aquesta és clorofil·la fotosintèticament no activa, ja que en fondària no arriba prou llum. Amb la distribució anual de la clorofil·la a l'embassament de Foix podem destacar tres creixements d'algues en les capes superficials (fig. 1). Aquests són de diferents intensitats, pels valors de concentració de clorofil·la que assoleixen. Els valors més baixos es donen a l'hivern, quan les condicions per al creixement de les algues són les pitjors: poca insola-

ció, la columna d'aigua totalment barrejada que manté les algues allunyades de la zona eufòtica i unes temperatures baixes (REYNOLDS, 1984). Però en el moment en què augmenten les hores de llum, amb l'abundància de nutrients dissolts a l'aigua, les algues del fitoplàncton generen el primer gran creixement, que és el de major intensitat de l'any, però de poca durada. Tot seguit hi ha un descens en la concentració superficial de clorofil·la *a*, indicant una disminució en l'abundància d'algues. Després d'aquest creixement hi ha una disminució de la quantitat de clorofil·la, la qual és deguda a la depredació per part del zooplàncton que, gràcies a la millora climàtica i l'abundant aliment, té un fort creixement. Aquesta fase s'ha anomenat fase clara, perquè disminueix la terbolesa de l'aigua en minvar l'abundància d'algues (SOMMER, 1986). En el cas del Foix, tot i que hi ha disminució de clorofil·la, ni molt menys es pot parlar d'una fase clara. El segon creixement es dona en ple estiu, de menor intensitat que el primer, però amb una major durada en el temps. En aquesta època les condicions són les òptimes per a les algues: més hores de llum, més estabilitat de la columna d'aigua i nutrients a l'abast. En aquest segon creixement la concentració de nutrients és menor que durant el primer *bloom* i potser per aquesta raó l'abundància de fitoplàncton és menor. Malgrat tot, continuen sent uns valors desmesurats. Al final de l'estiu la concentració de clorofil·la va decreixent per l'esgotament dels nutrients de l'epilímnion per part de les algues. El tercer creixement es produeix a la tardor gràcies a l'aport de nutrients provinents de l'hipolímnion en trencar-se l'estratificació tèrmica, que permet la barreja de tota la columna d'aigua. En aquest cas, com els altres factors són poc favorables (la qualitat de la llum va disminuint i no hi ha estabilitat en la columna d'aigua), el creixement és molt menor als altres dos. D'aquí ja anem de nou cap a l'hivern amb una disminució progressiva de l'abundància de les poblacions de fitoplàncton.

L'evolució al Foix de l'índex D_{430}/D_{665} mostra força coherència amb els creixements descrits anteriorment (fig. 2), iniciant l'any amb valors baixos que es donen fins a la primavera, quan les poblacions d'algues estan generant cèl·lules noves. A l'estiu els valors de l'índex augmenten, tot i que hi ha producció primària per part del fitoplàncton, com mostren nombrosos paràmetres (l'oxigen, el CO₂, el pH, etc.) (MARCÉ *et al.*, 2000). Això es pot deure al fet que les poblacions de fitoplàncton en aquest període de l'any ja estan envellides, amb un creixement menor, i per tant amb menys generació de nova clorofil·la *a*, i amb major presència de pigments diferents a les cèl·lules. I finalment el creixement que es produeix a la tardor torna a quedar palès en els valors de l'índex, que disminueixen fins a valors de 2 a l'octubre.

Figura 1. Evolució de la concentració de clorofil·la *a* (mg/m³) l'any 1996.

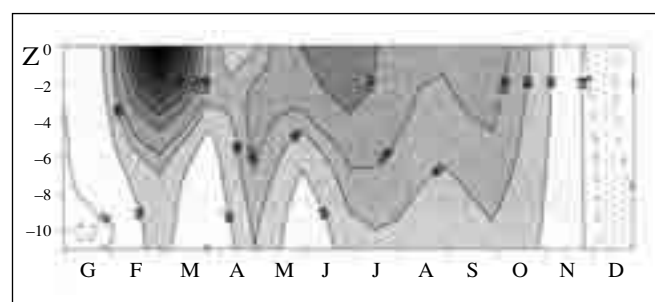


Figura 2. Evolució de l'índex pigmentari D_{430}/D_{665} .



Dinàmica de la població

L'evolució que segueix el fitoplàncton l'any 1996 és protagonitzada per diferents espècies. No totes tenen igual importància i aquí només parlarem d'aquelles que caracteritzen la comunitat d'algues del fitoplàncton en cada període, i que protagonitzen els diferents episodis descrits en la dinàmica del fitoplàncton. Una primera visió de l'evolució taxonòmica del fitoplàncton la dona l'anàlisi de la dominància dels grans grups d'algues al llarg de l'any (fig. 3). Els grups que dominen les poblacions de fitoplàncton en diferents períodes de l'any són les criptofícies, les clorofícies volvocals i clorococals, les diatomees centrals i els cianobacteris. Els altres grups, les euglenals, les desmidiàcies, les diatomees pennades, les dinofícies i les crisofícies mai no assolixen valors destacables i no tenen més paper en l'ecologia del fitoplàncton que el de tàxons acompanyants.

L'any comença amb el fitoplàncton dominat per les criptofícies, protagonistes del primer creixement del fitoplàncton. En el posterior període en què la quantitat de fitoplàncton present a l'aigua disminueix, les volvocals van desplaçant les criptofícies. Entre maig i juny hi ha un canvi força important en la comunitat que coincideix amb dos factors, és l'inici del segon creixement del fitoplàncton i hi ha un fort canvi en els valors de temps de residència (MARCÉ *et al.*, 2000), variable que afecta el desenvolupament del fitoplàncton (KIMMEL, 1990; SCHULTE-WÜLWER-LEIDIG, 1991). Durant el segon creixement el domini del fitoplàncton és compartit per les clorococals, les diatomees centrals i els cianobacteris. Aquesta codominància es mantindrà amb lleugeres diferències, com en l'últim creixement a la tardor, que és protagonitzat per les clorococals. A la tornada de l'hivern les criptofícies tornen a incrementar la seva presència en la comunitat fitoplànctònica.

La distribució vertical de les espècies d'algues planctò-

niques és freqüent en llacs i embassaments, els gradients verticals que es generen en la columna d'aigua condueixen a la diferenciació de comunitats per estrats (MARGALEF, 1983; REYNOLDS, 1976). Al Foix, però, l'evolució dels grups d'algues en fondària té un comportament similar, i si tenim en compte que la zona eufòtica al Foix no és molt fonda la major part de l'any i per tant les algues no tenen prou llum per a la fotosíntesi en fondària, les espècies observades en els estrats més profunds probablement provinquin de la sedimentació de les poblacions de la superfície. L'únic fet de distribució vertical es dona el mes d'abril, quan als 5 metres de fondària hi ha un creixement força important de cianobacteris, més concretament de diverses espècies d'*Oscillatoria*: *O. planctonica* i *Oscillatoria* sp (fig. 3 i 4). Aquestes espècies tenen la capacitat de regular la seva flotabilitat mitjançant vacúols de gas i restar alienes als processos de sedimentació o resuspensió, triant aquella fondària ideal per créixer (PAERL, 1988; FINDENEG, 1964). En aquest cas sembla que la disminució dels nutrients en superfície consumits en el primer creixement del fitoplàncton i la poca competitivitat per aquests que presenten els cianobacteris enfront de les volvocals unicel·lulars que proliferaven en superfície en aquell moment les fa optar per desenvolupar-se en fondària. Allà hi troben més nutrients i sembla que prou llum per créixer. La terbolesa de l'aigua és menor ja que la concentració de clorofilla *a* en superfície ha baixat com ho mostra un increment en la fondària de visió del disc de Secchi.

Successió anual

Endinsant-nos més en l'estudi de la successió que es dona en les poblacions fitoplànctòniques del Foix, hem analitzat quines eren les espècies representants dels grans grups taxonòmics que apareixen en aquesta successió, i amb aquest propòsit hem fet servir la tècnica d'anàlisi multiva-

Figura 3. Abundància relativa dels grans grups d'algues al llarg de l'any 1996.

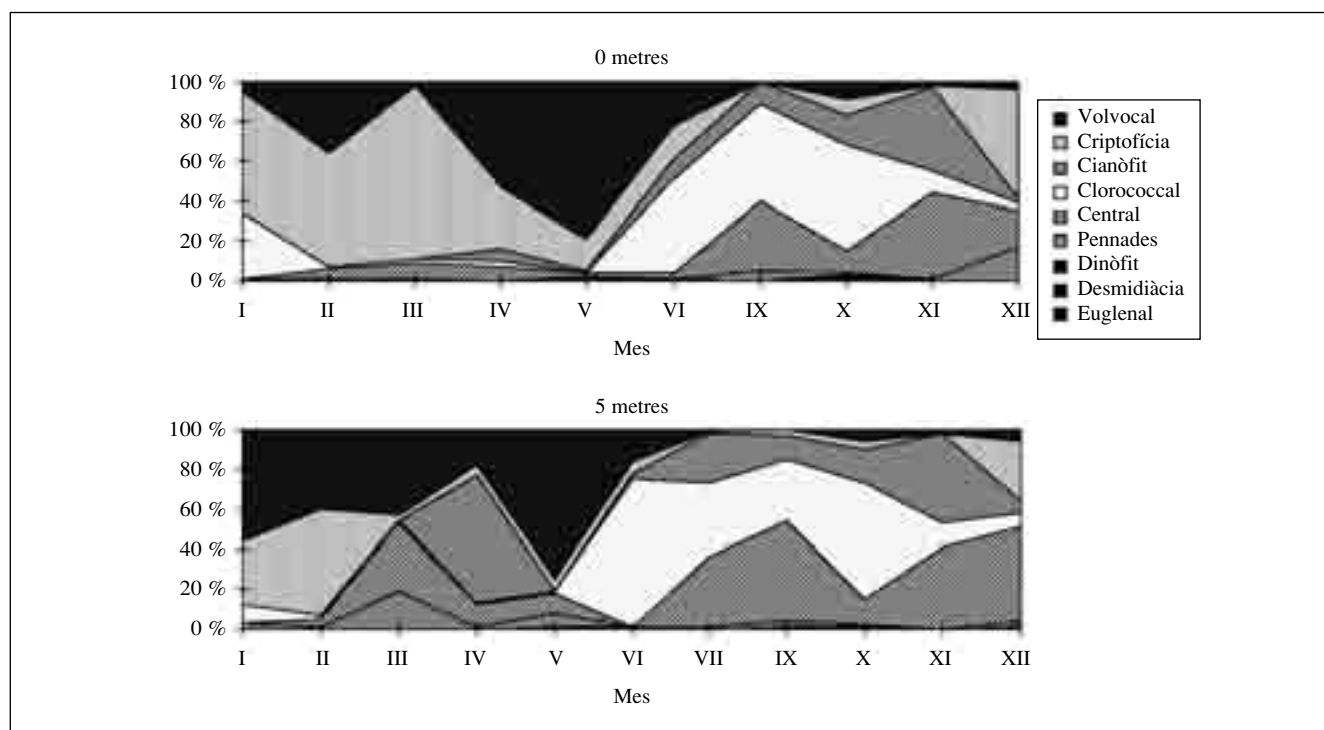
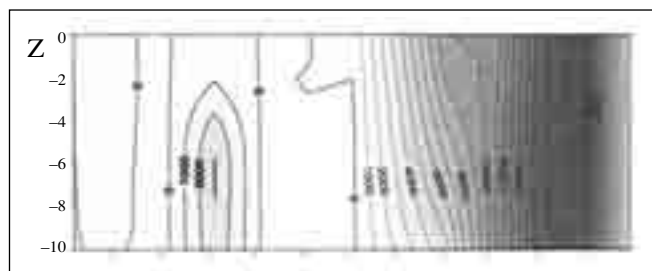


Figura 4. Evolució espai-temps de les abundàncies (individus/ml) de les espècies d'*Oscillatoria* sp.



riant coneguda com a ACP (anàlisi de components principals). El resultat de l'anàlisi mostra com els dos primers factors expliquen el 33,6% de la variància total, repartint-se el 19,7% el primer eix i el segon, el 13,9%. Els valors són baixos, però els resultats continuen sent d'ajuda per treure una explicació coherent a l'evolució anual de les nombroses espècies que conformen el fitoplàncton del Foix. La figura 5 mostra les espècies col·locades a l'espai definit pels dos eixos. El primer eix determina la successió temporal de les poblacions al llarg de l'any. Aquesta es mostra lineal, ja que les poblacions de final d'any difereixen sensiblement de les de principi d'any. Això es deu a diferències en les condicions ambientals que hi ha entre els dos hiverns, principalment la temperatura de desembre que assoleix valors més baixos que la de gener i la terbolesa de l'aigua, que és molt més elevada al final de l'any que al gener. El segon eix ordena les espècies en relació amb la disponibilitat de nutrients, existint una correlació positiva amb aquells tàxons que creixen en els períodes de menors concentracions de nutrients: *Ankyra ocellata*, *Coelastrum microporum*, *Scenedesmus* spp i *Chlamydomonas inflexa*. A l'altre extrem de l'eix, s'hi agrupen espècies que creixen en situacions d'elevades concentracions de nutrients, com

Oscillatoria spp, *Cyclotella meneghiniana* i *Actinastrum hantzschii*, entre d'altres.

A partir dels resultats obtinguts de l'ACP, conjuntament amb l'anàlisi dels altres aspectes del fitoplàncton descrits fins ara com són la biomassa, les abundàncies relatives dels diferents tàxons, l'índex pigmentari i la diversitat, s'ha descrit la successió anual del fitoplàncton a l'embassament de Foix l'any 1996, diferenciant-ne set comunitats:

1. Hivern: La criptofícia hivernal *Cryptomonas marsonii* domina el fitoplàncton (fig. 6A), que troba unes condicions òptimes per al seu creixement als dos metres, com indica un baix índex pigmentari (1,9). L'acompanyen tres espècies de clorofícies; dos volvocals: *Chlamydomonas skujae* i *C. pseudopertusa* i la clorococcal *Ankistrodesmus* spp.

2. Març i abril: *Cryptomonas erosa* desplaça *C. marsonii* en el domini del fitoplàncton afavorida per una major temperatura de l'aigua (KLAVENESS, 1988)(fig. 6B). Aquesta espècie és la principal responsable del màxim anual de biomassa. Apareixen també les diatomees centrals *Cyclotella meneghiniana* i *Melosira varians*. Disminueixen els nutrients en superfície, però no en fondària, cosa que permet el creixement de diverses *Oscillatoria* sp als 5 metres. Aquesta és la comunitat que presenta un valor de diversitat més baix (1,9) (fig. 7), causat pel gran creixement que assoleix una sola espècie.

3. Maig: En el període en què la biomassa disminueix hi ha un canvi en les poblacions que dominen el fitoplàncton. Les petites volvocals *Chlamydomonas inflexa* i *C. microesphaerella*, junt amb l'euglenal *Colacium vesiculosum* var. *cyclopicola*, són ara les dominants. Aquesta renovació queda palesa amb uns valors baixos de l'índex pigmentari.

4. Juny: Nou canvi en la constitució del fitoplàncton: diverses espècies de clorococals el caracteritzen: *Scenedesmus* spp., *Oocystis marsonii*, *Coelastrum microporum* i

Figura 5. ACP de les espècies del fitoplàncton del Foix. La fletxa indica el sentit de la successió.

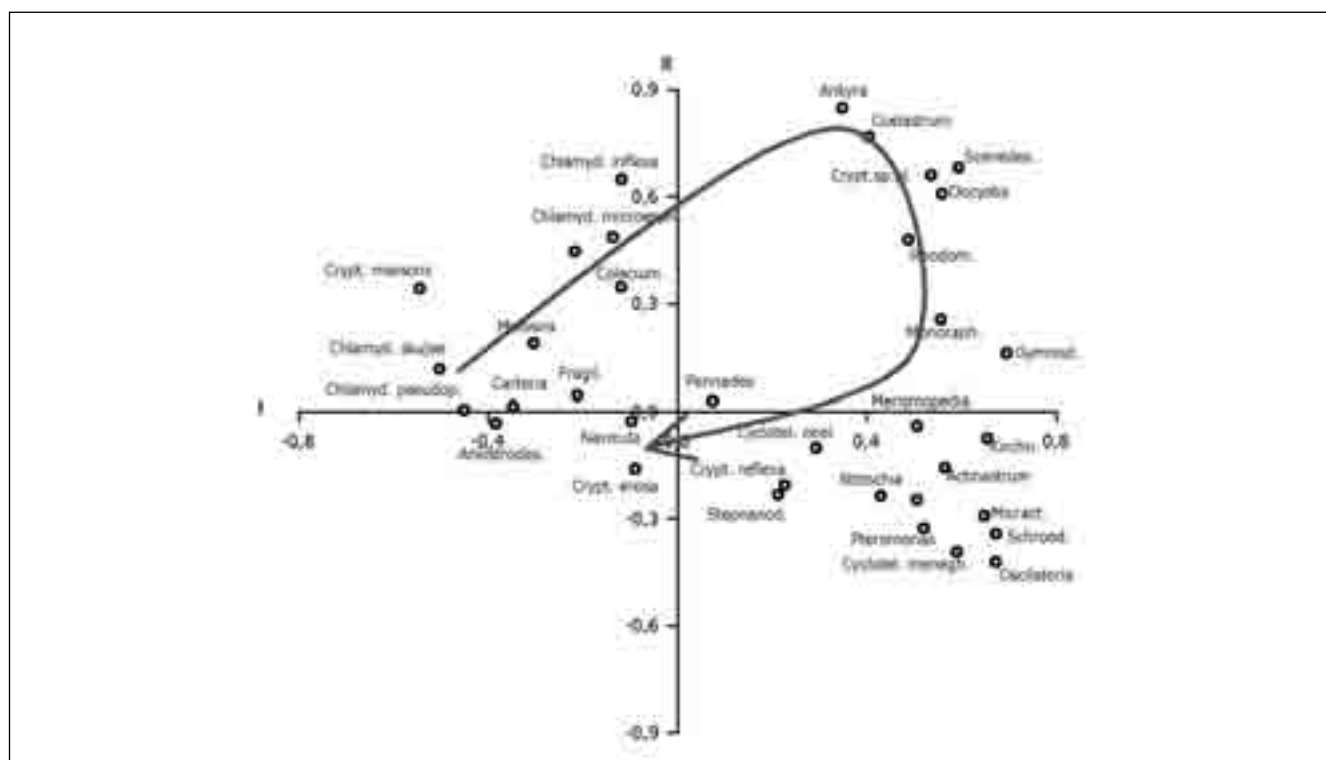
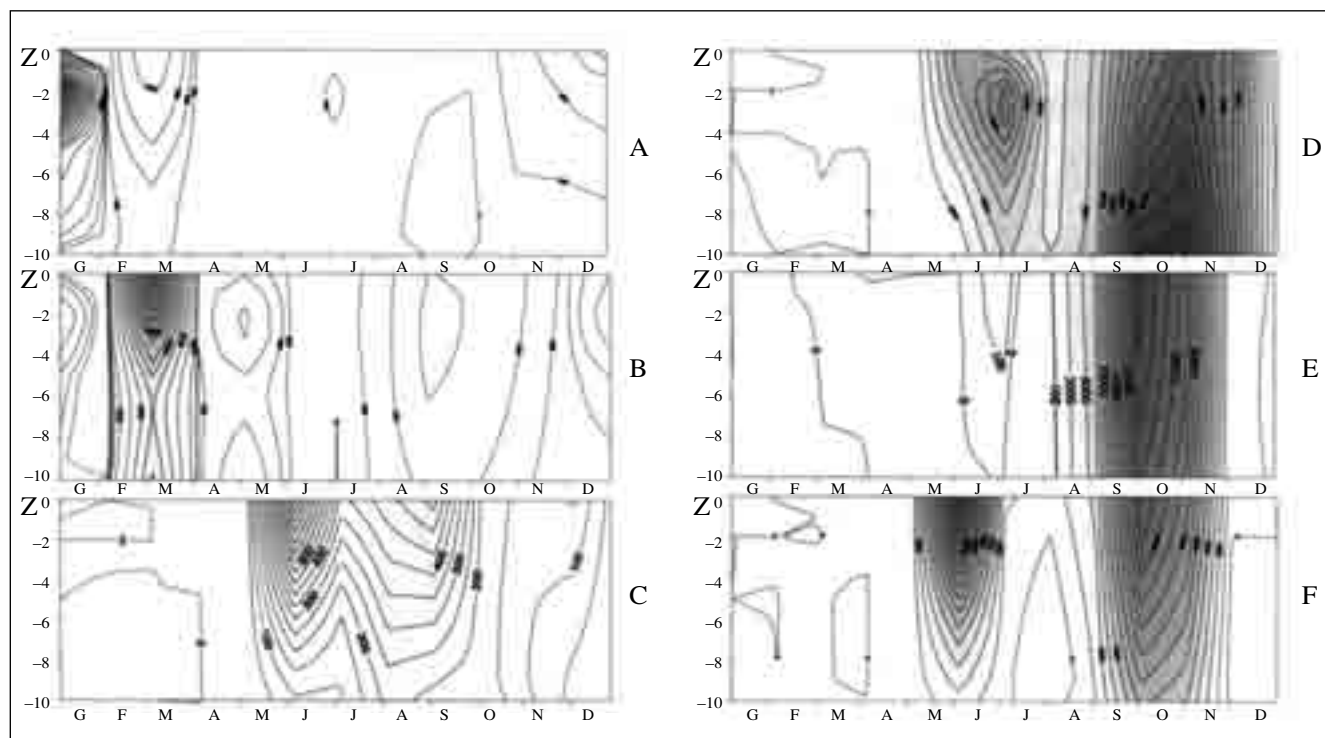


Figura 6. Evolució espai-temps de les abundàncies (individus/ml) de diferents espècies del fitoplàncton del Foix. A: *Cryptomonas marsonii*. B: *Cryptomonas erosa*. C: *Scenedesmus acuminatus*. D: *Merismopedia punctata*. E: *Ankistrodesmus hantzschii* var. *subtile*. F: *Rhodomonas minuta*.



5. Estiu: El descens de nutrients limita la producció amb el consegüent descens de la producció. L'índex pigmentari disminueix progressivament, igual que la diversitat. Destaca el creixement de la cianofícia *Merismopedia punctata* (fig. 6D).

6. Tardor: L'espècie dominant en aquest període és *Cyclotella meneghiniana*, afavorida per l'increment de la turbulència a la columna d'aigua (REYNOLDS, 1984; SOMMER, 1988). L'acompanyen clorococals com *Kirchneriella* spp i *Micractinium pusillum* i els cianobacteris *Merismopedia punctata* i *Oscillatoria* sp. Això fa que la diversitat d'aquestes poblacions augmenti de nou. Aquesta població és puntualment alterada a l'octubre a causa del tercer creixe-

ment anual del fitoplàncton, generat per l'increment de nutrients en superfície, que és protagonitzat per dues petites espècies d'elevades taxes de creixement: *Actinastrum hantzschii* var. *subtile* i *Rhodomonas minuta*. L'índex pigmentari disminueix a causa d'aquest creixement (fig. 6E i F).

7. Desembre: Reducció de l'abundància de les poblacions i del nombre d'espècies, com mostra un descens de la diversitat. L'índex pigmentari incrementa per precaritzar-se les condicions ambientals.

Conclusions

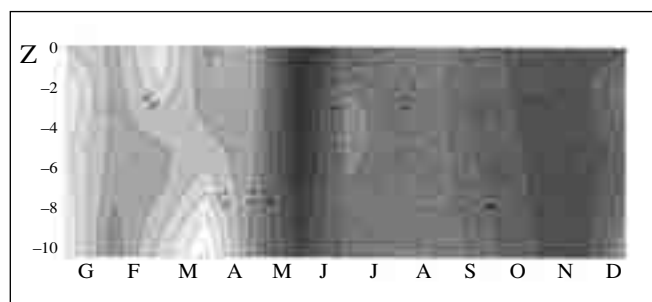
– L'embassament de Foix es pot classificar com a monomíctic, amb una dèbil estratificació durant els mesos d'estiu i un temps de residència alt, encara que molt variable estacionalment. La concentració de nutrients a l'embassament és molt elevada, i se situa per sobre de tots els límits marcats per l'hipereutròfia. En consonància, la concentració de clorofil·la és molt elevada. Això fa que la transparència de l'aigua sigui molt minsa.

– El fitoplàncton fa tres creixements al llarg de l'any, de diferents intensitats i durada en el temps. Tots es donen en superfície. Els grups d'algues amb més presència en l'embassament i que en defineixen la successió anual són les criptofícies, les clorofícies, els cianobacteris i les diatomees.

– La successió anual del fitoplàncton l'any 1996 es pot dividir en set estadis diferents. Els canvis en les poblacions se succeïen més ràpidament en els períodes de creixement del fitoplàncton. Per conèixer millor aquesta successió i els canvis que s'hi esdevenen s'haurien de realitzar mostreigs amb una periodicitat superior a la mensual.

– Els principals factors que regeixen la successió anual

Figura 7. Evolució espai-temps de la diversitat (bits/individu).



al Foix són els nutrients i la dinàmica temporal que integra els canvis climàtics i hidrològics.

– Diverses espècies del gènere *Oscillatoria* tenen un creixement en fondària el mes de març, pel fet que troben unes millors condicions de creixement i no poden competir amb les espècies que creixen en superfície.

– Les espècies de l'embassament de Foix són petites i la majoria unicel·lulars, es troben a faltar espècies de mides grans i colonials. Segurament això és degut al fet que les algues petites i unicel·lulars són molt més eficaços captant nutrients de l'entorn i explotant les condicions d'hipereutròfia que existeixen al Foix, amb grans i ràpids creixements (com es pot observar en les gràfiques de distribució de les diferents espècies).

Bibliografia

- ARMENGOL, J.; COMERMA, M.; GARCÍA, J.C.; ROMERO, M.; RODRÍGUEZ, J.J.; VIDAL, A. (1999). «Contribució al coneixement de l'ecologia aquàtica de l'embassament de Sau. Evolució de l'embassament al 1998». *Quaderns ATLL*.
- CARLSON, R.E. (1977). «A trophic state index for lakes». *Limnol. Oceanogr.*, núm. 22. Pàg. 361-369.
- FINDENEGG, I. (1964). «Types of plankton primary production in the lakes of the Earsten Alps as found by radioactive carbon method». *Verh. Intern. Verein. Limnol.*, 15. Pàg. 352-359.
- HAPPEY-WOOD, C.M. (1988). «Ecology of freshwater planktonic green algae». *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Sandgren, C.D. Cambridge Univ. Press.
- HUTCHINSON, G.E. (1957). *A treatise on Limnology. Vol. I: Geography, physics, and chemistry*. Nova York: Wiley.
- IDSO, S.B. (1973). «On the concept of lake stability». *Limnol. Oceanogr.*, núm. 18. (4) Pàg. 681-683.
- JEFFREY, S.W.; HUMPHREY, G.F. (1975). «New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton». *Biochem. Physiol. Pflanzen.*, núm. 167. Pàg. 191-194.
- KIMMEL, B.L.; LIND, O.T.; PAULSON, L.J. (1990). «Reservoir primary production». *Reservoir limnology: ecological perspectives*. K.W. Thornton; B.L. Kimmel; F.E. Payne (ed.). Nova York: John Wiley & Sons.
- KLAIVENESS, D. (1988). «Ecology of the Cryptomonadina: a first review». *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Sandgren, C.D. Cambridge Univ. Press.
- MARCÉ, R.; COMERMA, M.; GARCIA, J.C.; GOMÀ, J.; ARMENGOL, J. (2000). «Limnology of Foix reservoir (Barcelona, Spain)». *Limnetica*, núm. 19. Pàg. 175-191.
- MARGALEF, R. (1974). *Ecología*. Barcelona: Ed. Omega.
- 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: Dirección General d'Obres Hidràuliques. Ministeri d'Obres Públiques.
- OECD (1982). *Eutrophication of waters: Monitoring Assessment and Control*. París: Organization for Economic Cooperation and Control.
- PAERL, H.W. (1988). «Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (cyanobacteria)». *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Sandgren, C.D. Cambridge Univ. Press.
- REYNOLDS, C.S. (1976). «Succession and vertical distribution of phytoplankton in response to thermal stratification in a lowland mere, with special reference to nutrient availability». *J. Ecol.*, núm. 64. Pàg. 529-551.
- REYNOLDS, C.S. (1984). *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge Univ. Press.
- REYNOLDS, C.S. (1997). *Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory*. Oldendorf: Germany, Ecology Institute.
- REYNOLDS, C.S. (1999). «Metabolic sensitivities of lacustrine ecosystems to anthropogenic forcing». *Aquat. Sci.*, núm. 61. Pàg. 183-205.
- RIERA, J.L. (1993). *Regional limnology of Spanish reservoirs. Relationships between nutrients, seston, and phytoplankton*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- SALVADÓ, T.; AYMERICH, E.; SALVADÓ, H.; HERRERA, J.A.; LLOP, C.; JORNET, S.; PASTOR, J.E. (1992). *Pla Especial de l'embassament de Foix*. Barcelona: Ajuntament de Castellet i la Gornal.
- SCHULTE-WÜLWER-LEIDIG, A. (1991). «Water quality aspects of two shallow man-made impoundments with different water residence times». *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, núm. 24. Pàg. 1.319-1.323.
- SOMMER, U. (1986). «The PEG model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters». *Arch. Hydrobiol.*, núm. 106. Pàg. 433-471.
- SOMMER, U. (1988). «Growth and survival strategies of planktonic diatoms». *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Sandgren, C.D. Cambridge Univ. Press.
- WATSON, R.A.; OSBORNE, P.L. (1979). «On algal pigment ratio as an indicator of the nitrogen supply to phytoplankton in three Norfolk broads». *Freshwater Biology*, núm. 9. Pàg. 585.
- WETZEL, R.G.; LIKENS, G.E. (1991). *Limnological analysis*. Nova York: Springer-Verlag.