

AVALUACIÓ D'INDICADORS FÍSICO-QUÍMICS DE CONTAMINACIÓ ALS RECS DE SORTIDA DE L'ESTANY DE BANYOLES

X. Vila, C. Torrent, R. Moreno-Amich i C.A. Abella

Institut d'Ecologia Aquàtica. Col·legi Universitari de Girona (UAB). Hospital, 6. 17071-Girona.

RESUM

Durant l'estiu de 1987 s'anafitzaren alguns paràmetres físico-químics (concentració d'oxigen, conductivitat, pH, Eh, NO_3^- , flux, A_{450}) dels recs de sortida de l'estany de Banyoles, per tal de quantificar-ne el grau de contaminació i avaluar-hi així la incidència de les activitats humanes.

L'evolució dels paràmetres al llarg de l'espai i del temps i les anàlisis estadístiques de les dades han permès realitzar una agrupació dels recs segons les seves afinitats i definir dues zones, una d'urbana i una altra d'industrial, atenent al tipus de contaminació. La major part de les indústries contaminants són de pells assaonades.

RESUMEN

Durante el verano de 1987 se estudiaron algunos parámetros físico-químicos (concentración de oxígeno, conductividad, pH, Eh, NO_3^- , flujo, A_{450}) de los canales de salida del lago de Banyoles, para cuantificar su grado de contaminación y valorar así la incidencia de las actividades humanas sobre ellos.

La evolución de los parámetros a lo largo del espacio y del tiempo y los análisis estadísticos han permitido realizar una agrupación de los canales y definir una zona urbana y otra industrial. La mayor parte de las industrias contaminantes son de curtidos.

ABSTRACT

During the summer of 1987, some physico-chemical parameters (oxygen concentration, pH, Eh, NO_3^- , water flux and A_{450}) were studied in outflow channels of Banyoles lake. This study tries to assess their pollution levels and infer the influence of human activities.

Evolution of the different parameters along the space (channel length), across time and the statistical analysis, has led to a definition of two urban and industrial areas. Almost all polluting activities are related to leather tanning industries.

Key words: Industrial activities, agricultural activities, pollution, Banyoles lake, leather tanning industries, outflow channels.

INTRODUCCIÓ

L'estany de Banyoles és un llac natural d'origen càrstic que rep les aigües fonamentalment de forma subterrània. Les aigües tenen una duresa elevada (60 graus francesos), ja que travessen capes de calcàries i guixos (Sanz, 1985). El desguàs es realitza per cinc recs principals: Hort, Teixidor, Figuera d'en Xo, Major i Guèmol. Són canalitzacions artificials de desguàs que penetren en la ciutat de Banyoles i s'hi ramifiquen nombroses vegades fins a formar una xarxa molt complexa. N'hi ha quatre que aboquen a la riera de Canaleta, i una al Matamós (rec de Guèmol) formant totes el riu Terri.

L'origen de la construcció d'aquests recs es remunta a l'època medieval, en què es van excavar per canalitzar les sortides d'aigua de l'estany; així s'eliminaren unes zones d'aiguamolls que feren possible l'activitat agrícola i la industrial a més de l'edificació. Aquestes aigües varen fer possible el regadiu en punts més allunyats de l'estany, on es crearen hortes. A més, proporcionaren, fins a la primeria del segle XX, la força motriu a les indústries (principalment fargues) i als molins que s'instal·laren al llarg del recorregut dels recs. Fins que no es va fer una xarxa de clavegueram completa, varen ser també utilitzats per a l'eliminació de les aigües residuals de la vila. Actualment aquests dos usos són menys importants, però encara s'hi aboquen residus urbans i principalment industrials, la qual cosa es troba en conflicte amb l'ús agrícola actual.

Tots aquests residus conflueixen al final, juntament amb el clavegueram de Banyoles i el d'altres pobles de la comarca, al riu Terri, que, en l'actualitat, és una vertadera claveguera a cel obert. Com a conseqüència de la contaminació del Terri, l'ecosistema lacustre de l'estany queda aïllat, és a dir, sense comunicació amb altres ecosistemes fluvials i marins propers, ja que la vida animal i vegetal no és possible en aquestes vies de comunicació contaminades com són actualment els recs i el riu Terri (Dutras et al., 1986). Com a exemple, cal mencionar la desaparició de les anguiles a l'estany de Banyoles per la impossibilitat de retorn de les angules.

Un estudi comparatiu de la contaminació del recs de sortida de l'estany de Banyoles ha de tenir en compte la diversitat de les mostres i la seva variabilitat. Per tal de poder comparar els diferents recs entre si, primer cal trobar uns paràmetres que siguin integradors i indicadors del grau d'incidència de la major part dels tipus d'abocaments possibles. Així, cal estudiar la capacitat dels paràmetres físico-químics escollits per definir el grau de contaminació.

Aquest és el primer estudi de caire exhaustiu que es realitza als recs de sortida de l'estany de Banyoles. Anteriorment, Abella et al. (1986) analitzaren els valors de la concentració de fosfats solubles als punts de sortida dels recs de l'estany per tal de comparar-los en funció d'aquest paràmetre. Aquest article tracta de comparar la qualitat de l'aigua entre els diferents recs de l'estany i establir-ne una tipologia. També intenta analitzar la capacitat dels indicadors físico-químics escollits per detectar els diferents graus de contaminació.

MATERIAL I MÈTODES

Per tal de quantificar l'acumulació de substàncies contaminants al llarg del recorregut dels recs, es varen establir una sèrie de punts de mostratge a cadascun d'ells. D'aquests, es varen escollir els més representatius (Fig. 1): els punts de sortida de la ciutat de Banyoles (MF, G i TH2), en què les aigües porten acumulats tots els residus, i uns punts intermedis (M, F i TH1), previs al pas dels recs per les indústries més importants i contaminants.

A tots els punts es va mesurar *in situ* amb els conductivímetres YSI i CRISON, en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, la conductivitat. A partir d'aquesta es va calcular la concen-

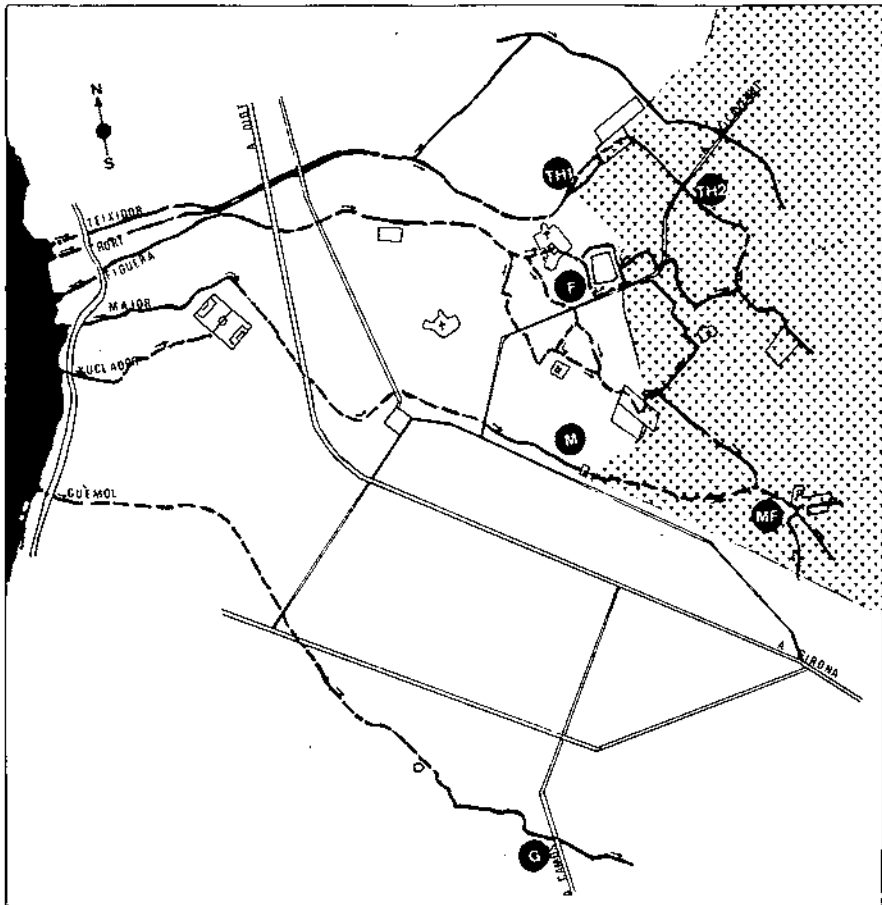


Figura 1. Mapa esquemàtic dels recs de sortida de l'estany de Banyoles, amb indicació dels punts principals de mostratge (vegeu text). S'hi assenyalen amb trama de triangles la zona de contaminació industrial. Les fletxes (→) indiquen el sentit del flux de l'aigua. Les línies discontinües (---) indiquen que el rec és cobert (no visible), mentre que les línies contínues indiquen que el rec es troba descobert.

tració de soluts en mmol.L^{-1} (Goiterman et al., 1978) i la quantitat de soluts circulants (mmol.s^{-1}).

La concentració d'oxigen fou mesurada també *in situ* amb l'oxímetre YSI en mg.L^{-1} . A partir d'aquesta es calculà la quantitat d'oxigen circulant, en mg.s^{-1} .

El pH ha estat mesurat als punts de mostratge, mitjançant el pH/mV metre CRISON 506 i l'elèctrode ORION RX 9156. A partir dels seus valors es va calcular la quantitat de H^+ circulants.

El potencial redox (Eh) es mesurà en el camp mateix i amb el mateix aparell descrit en l'apartat anterior, però en l'escala de mV i amb l'elèctrode de platí METROHM 6.0401.100. A partir d'aquests valors es va calcular el potencial d'electrons circulants (pe°).

La concentració de nitrats s'analitzà al laboratori amb elèctrode selectiu mitjançant pH/ISE-metre 720 i l'elèctrode ORION 9307. Les dades es donen en $\mu\text{mol.L}^{-1}$. A partir d'aquests valors es va calcular la concentració de nitrats circulants ($\mu\text{mol.s}^{-1}$).

La terbolesa (A_{450}) fou mesurada al laboratori mitjançant l'espectrofotòmetre SHIMADZU UV-120-02 a una longitud d'ona de 450 nm.

El flux fou mesurat per flotació, estimant la velocitat de l'aigua superficial i la secció del rec (Dutras et al., 1986). Els valors obtinguts s'indiquen en L.s^{-1} .

El mostratge es realitzà en tres fases:

Fase prèvia: mostratge puntual als punts inicials, als finals i en alguns punts intermedis de cada rec, amb la finalitat de tenir una aproximació del problema i de dissenyar el procediment per als mostratges següents.

Mostratge al llarg del temps: realitzat als punts finals de cada rec, en intervals d'una hora. Es pretenia determinar els períodes de temps més apropiats per al mostratge següent, de manera que es pogués detectar l'efecte dels abocaments que es realitzen només a unes hores determinades –mostrejant en aquests moments– i estudiar les variacions dels paràmetres de contaminació al llarg del dia.

Mostratge al llarg del recorregut del rec: mesurant a tots els punts dintre dels intervals de temps considerats anteriorment com a òptims, amb la finalitat d'estudiar el gradient de contaminació que es produeix al llarg del rec i de detectar els principals punts d'abocament. Les dades obtingudes en aquesta fase, junt amb les de l'anterior, permeteren de comparar entre si els punts representatius dels diferents recs.

Basant-se en les dades obtingudes amb aquests paràmetres de contaminació es van establir, mitjançant anàlisis estadístiques, les relacions de similitud entre els punts més representatius de cada rec. Les anàlisis realitzades foren: 1) anàlisi multivariable de la variància (MANOVA), 2) anàlisi de proximitats (*multidimensional scaling*) i 3) classificació jeràrquica (*clustering*), segons Sneath & Sokal (1973).

Els càlculs es varen realitzar al Centre de Càlcul de l'Estudi General de Girona utilitzant els procediments MANOVA, PROXIMITIES, ALSCAL i

CLUSTER del paquet estadístic SPSS[®], en la seva versió per a ordinador VAX (SPSS INC., 1983), aplicats a la matriu de similituds entre punts. La similitud entre parells de punts s'ha estimat com a correlació (coeficient de correlació de Pearson) entre punts.

RESULTATS

Variació temporal

S'observa un comportament diferencial dels recs mostrejats: el rec Guèmol (punt G) dona uns valors constants al llarg del temps, mentre que els recs resultants de la unió Teixidor-Hort (punt TH2) i Major-Figuera (punt MF) tenen valors fluctuants.

Respecte a la concentració de soluts (Fig. 2), al punt G es detecten uns valors gairebé constants, a l'entorn dels 10 mmol.L⁻¹. Al punt MF uns valors més elevats, amb un valor màxim de 35 mmol.L⁻¹ al voltant de les dotze hores. En canvi, al punt TH2 assoleix els valors màxims a la tarda, que superen els 25 mmol.L⁻¹.

La quantitat de soluts totals en circulació segueix el mateix tipus de variació. A MF arriba fins a valors de 3.000 i 8.000 mmol.s⁻¹, mentre que als altres dos punts resta per sota dels 1.000 mmol.s⁻¹.

Respecte a la concentració d'oxigen (Fig. 3) el comportament és, com es podia esperar, invers: en els moments en què la concentració de soluts és màxima, la concentració d'oxigen disminueix. En general, els valors de concen-

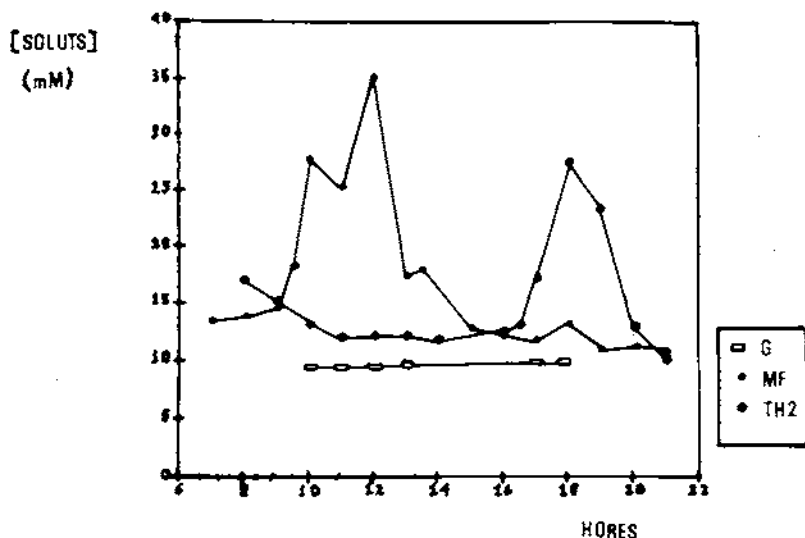


Figura 2. Variació de la concentració de soluts al llarg del temps en els punts de mostreig finals G, MF i TH2, indicats a la Figura 1.

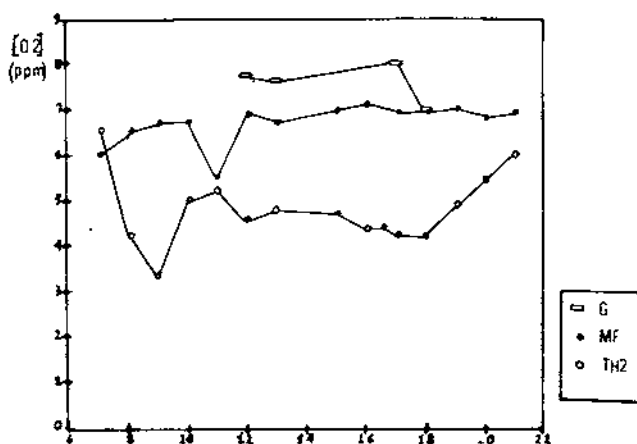


Figura 3. Variació de la concentració d'oxigen al llarg del temps als punts de mostrejat finals G, MF i TH2, indicats a la Figura 1.

tració d'oxigen són més baixes a TH2 que a MF. A G és on s'assoleixen valors més elevats i amb menys variació, al voltant dels 8 mg. L⁻¹.

Els valors de pH i Eh experimenten grans variacions. Els valors de pH són majoritàriament àcids, encara que també es troben valors lleugerament bàsics, als punts MF i TH2, oscil·lant entre cinc i vuit unitats de pH. El potencial Eh (Fig. 4) és electronegatiu en aquests mateixos punts, amb valors de -200 mV, mentre que al punt G és electropositiu, encara, però, dins de la zona reductora, i amb menor variabilitat, amb uns valors de + 50 a + 100 mV.

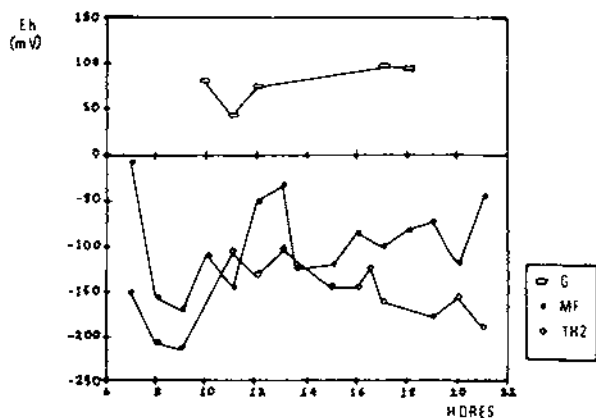


Figura 4. Variació del potencial redox al llarg del temps als punts de mostrejat finals G, MF i TH2, indicats a la Figura 1.

Variació en el recorregut dels recs

A grans trets, s'observa un augment progressiu de la concentració de soluts i de la quantitat de soluts circulants, excepte al rec de Guèmol, que es manté més o menys constant i, fins i tot, en alguns punts del mostratge disminueix la quantitat de soluts.

La concentració d'oxigen va disminuint en tots els recs, però de forma no tan accentuada al rec de Guèmol. El pH presenta lleugeres variacions, a l'entorn de valors entre sis i vuit, més acusades als punts de mostratge finals (sobretot a TH2 i MF).

Els valors d'Eh són majoritàriament negatius als punts de mostratge situats en zona d'indústries, mentre que a la resta predominen els valors positius, però encara reductors ($< + 200$ mV).

Respecte al flux, s'observa una disminució progressiva a tots els recs, que influeix en la disminució de soluts, deguda bàsicament a pèrdues laterals d'aigua.

A la Taula 1 es pot veure l'evolució dels paràmetres més significatius a partir de les dades obtingudes entre els punts indicats més representatius i els punts inicials de cada rec.

A partir de les dades d'aquest mostratge es va realitzar el càlcul dels gradients de soluts i de la concentració de soluts als trams delimitats pels punts de mostratge.

DISCUSSIÓ

El concepte de contaminació de l'aigua es pot definir com a «presència en els medis aquosos de compostos sobre els quals la natura no té una informació prèvia, i per això no té mecanismes adequats de resposta» (Margalef i Prat, 1979).

Als resultats del mostratge realitzat al llarg del dia als punts finals de cada rec, s'observa una coincidència dels valors màxims de contaminació (conductivitat elevada, concentració d'O₂ baixa, Eh electronegatiu, pH àcid o bàsic) amb els períodes de màxima activitat diürna de les fàbriques localitzades al llarg dels recs MF i TH2. El rec de Guèmol, en canvi, con que no passa per cap indústria important, és el que presenta uns valors més constants al llarg del temps.

Basant-se en aquestes observacions es va estructurar el mostratge següent als sis punts escollits i també a d'altres punts intermedis. Es realitzaren les mesures a M, F, MF, TH1 i TH2 en aquests períodes, mentre que a G no es va tenir preferència per cap hora concreta.

Una anàlisi multivariable de la variància entre aquests sis punts, basant-se en la variació de les variables mesurades, indica que es tracta d'un conjunt heterogeni ($P < 0,001$), degut principalment a la variació significativa de les variables Eh (expressada com a potencial d'e⁻), concentració de NO₃⁻ i conductivitat (expresada com a quantitat de soluts circulants).

Prenent com a base els valors observats a cada punt, i en relació amb els valors presentats pel conjunt de punts mostrejats, s'observa que:

1. Per a la majoria de variables, els punts G, M, F i TH1 presenten valors poc diferents dels que s'obtenen en els punts de sortida de l'estany, amb concentracions de soluts molt baixes. M i G són els que tenen unes característiques físico-químiques més semblants a les d'aquests punts de sortida, amb concentracions d'O₂ elevades, valors de pH neutres (al voltant de 7,5) i un Eh electropositiu, característiques pròpies d'aigües no tan contaminades. En canvi, el punt F té valors de pH més bàsics i, en relació amb els altres punts, es manté en una posició intermèdia quant als altres paràmetres. En el mateix sentit, el punt TH1 presenta unes característiques intermèdies, però diferents de les dels punts inicials.

2. El punt TH2 es destaca per tenir la concentració d'O₂ més baixa i un pH molt àcid, a més d'una concentració de soluts elevada, probablement deguda, almenys en part, a l'efecte del pH àcid que altera el càlcul dels soluts en disso-

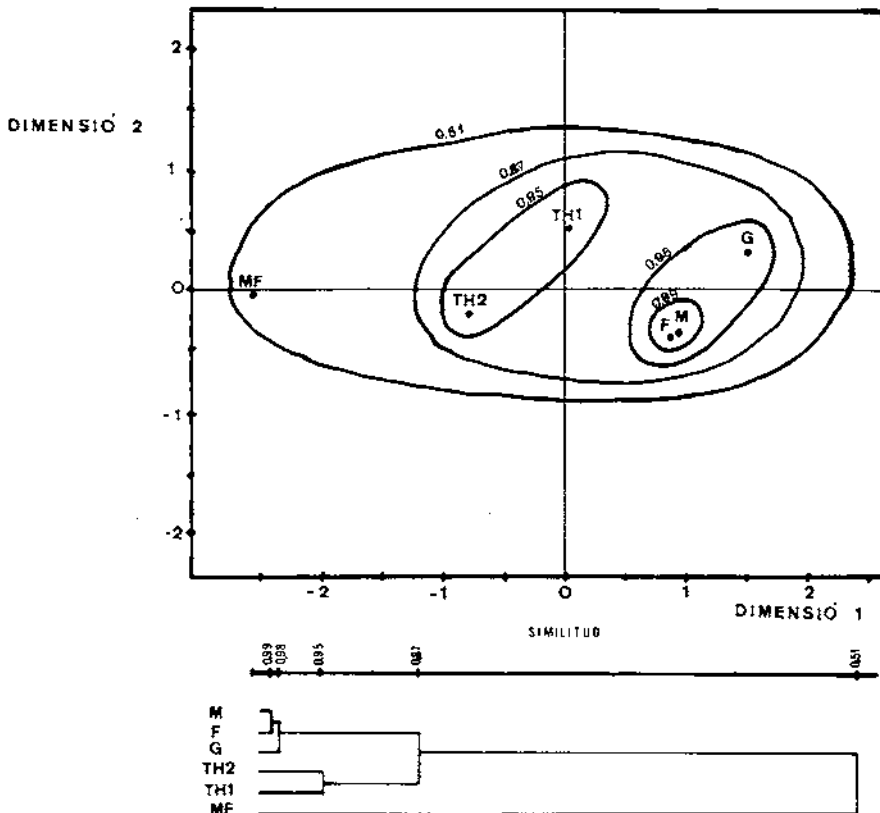


Figura 5. A dalt, resultat de l'anàlisi de proximitats; s'ha sobreposat l'agrupació dels punts derivada del «cluster» (a baix), amb els coeficients de similituds corresponents.

lució. A partir de la conductivitat i en relació amb el punt TH1, que el precedeix en el recorregut del rec, el punt TH2 difereix clarament dels altres perquè presenta un Eh molt més electronegatiu.

3. Finalment, el punt MF és el que presenta una major terbolesa a les aigües, i també una gran concentració de soluts. Com que aquest punt és el que té el major cabal, no ens hem d'estranyar que sigui també el punt per on es transporta una major quantitat de soluts. En relació amb el punt que el precedeix en el rec Major (M), MF en difereix també pels valors electronegatius del seu Eh.

L'anàlisi de proximitats ha permès dibuixar una representació euclidiana, en dues dimensions, d'aquests punts, i amb una distorsió molt baixa respecte a la configuració multidimensional original ($S\text{-stress} = 0,004$). La configuració bidimensional resultant, igualment que la classificació jeràrquica obtinguda (Fig. 5), s'han realitzat a partir de la matriu de similituds entre punts (Taula 2).

La Figura 5 mostra els tres grups que apareixen ordenats de major a menor segons l'eix de la dimensió I: el primer, format per F, M i G; el segon, amb els punts TH1 i TH2, en un nivell intermedi, i el tercer, amb només el punt MF.

L'anàlisi de la dimensionalitat permet interpretar que la dimensió I està correlacionada inversament amb el grau de contaminació, ja que presenta correlacions molt significatives ($P < 0,065$) amb el pH (expressat com a quantitat absoluta de protons; $r = -0,85$) i amb el potencial redox (expressat com a quantitat d'electrons; $r = -0,86$). Aquestes variables són indicadors de contaminació per a abocaments de substàncies químiques al medi (Golterman et al., 1978).

Així, es detecta que els punts F, M, i G estan poc o gens contaminats, mentre que, a l'altre extrem, MF ho està de forma considerable. Amb un grau intermedi hi ha els punts TH1 i TH2. Aquesta distribució coincideix amb la presència d'indústries en el tram anterior a cada punt, i suggereix una classificació dels punts que separa els que tenen abocaments de caràcter eminentment urbà (F, M i G) dels que tenen abocaments de residus industrials (MF, TH1 i TH2).

En el mateix sentit, una anàlisi multivariable de la variància de les variables mesurades, agrupant els punts en «urbans» i «industrials», troba diferències significatives ($P < 0,001$) entre ambdós grups. Aquestes diferències són degudes especialment a la variació significativa de les variables concentració d' O_2 ($P < 0,001$) i Eh ($P < 0,03$).

En funció d'aquests resultats es pot establir sobre el mapa una línia divisòria que separi els punts en dos grups, amb el punt TH1 just sobre la línia (Fig. 1). Es presenta una forta relació entre la zona contaminada i la presència d'indústries, majoritàriament de pells assaonades, que permet assenyalar, com a principals causants de la contaminació, els abocaments de residus industrials. Aquests abocaments són detectables mitjançant els gradients de soluts circulants, de manera que els trams on aquests gradients són més elevats

es corresponen als principals punts d'abocament. Generalment, aquests punts van seguits de zones amb gran concentració de soluts, que limiten la capacitat de recuperació de les aigües.

L'estudi dels recs de sortida de l'estany de Banyoles ha permès quantificar el seu grau de contaminació físico-química. Aquesta quantificació és una aproximació per defecte a la realitat, ja que no han estat avaluats exhaustivament tots els factors que poden intervenir en la contaminació.

La conductivitat és un paràmetre integrador de tots els soluts que tinguin efecte sobre la resistència elèctrica de l'aigua, i, per tant, determina, per defecte, la concentració total de soluts i de sòlids en suspensió, en detectar només els soluts ionitzables.

D'altra banda i respecte a l'hora del dia de la mesura, el fet d'escollir el moment del dia amb activitat industrial màxima fa que aquestes mesures hagin de ser contrastades amb les mitjanes de tot el cicle diari, que sempre seran inferiors en valors absoluts.

L'estudi de la contaminació dels recs de sortida també ha permès comparar els paràmetres utilitzats (conductivitat, pH, Eh, etc.) i esbrinar la seva capacitat per detectar combinadament i aïllada la intensitat de la contaminació, tant urbana com industrial.

També l'anàlisi estadística ha permès agrupar els recs en funció de la intensitat de la contaminació, a més de donar informació sobre l'agrupació espacial en el mapa topogràfic. La definició de les zones segons els tipus de contaminació pot permetre proposar en el futur una recuperació dels recs basada en aquesta distribució, ja que el sistema de depuració de les aigües dependrà de la qualitat i de la quantitat dels abocaments, siguin industrials o urbans, definits en aquest treball.

Taula 1. Mostratge en els punts més representatius dels recs respecte a les variables més significatives.

Punt mostratge (1)	[Solut] (mmol.L ⁻¹)	Solut (mmol.s ⁻¹)	[O ₂] (mg.L ⁻¹)	pH (mV)	Eh	Flux (L.s ⁻¹)
Figuera						
FO	12,5	2082	-	7,03	+200	166
F	10,3	1429	6,6	8,86	-143	138
MF(*)	17,1	4236	-	6,79	-93	243
Guèmol						
GO	11,0	506	-	7,08	+141	45
G	10,1	246	7,5	-	+89	24
Major						
MO	12,3	2949	-	7,09	+161	238
M	11,8	3868	7,8	7,31	+81	331
MF(*)	17,1	4236	-	6,79	-93	243

Taula 1 (continuació).

Punt mostratge (1)	[Solut] (mmol.L ⁻¹)	Solut (mmol.s ⁻¹)	[O ₂] (mg.L ⁻¹)	pH (mV)	Eh	Flux (L.s ⁻¹)
Teixidor i Hort						
HO	12,6	573	-	6,98	+212	45
TO	12,7	1675	-	7,09	+230	132
TH1	10,0	578	5,8	-	+7	58
TH2(*)	19,1	781	-	6,40	-95	41

(1) Segons el codi de nomenclatura utilitzat a la Figura 1.

Els punts FO, MO, GO, HO i TO corresponen a les sortides de l'estany dels recs respectius.

(*) Punts de mostratge propers a indústries.

Taula 2. Matriu de similituds entre els punts, estimada com a correlació entre parelles de punts prenent com a base les variables estudiades.

	G	MF	TH2	M	TH1	F
G	1,0000					
MF	0,2627	1,0000				
TH2	0,7405	0,8429	1,0000			
M	0,9883	0,4065	0,8342	1,0000		
TH1	0,9076	0,6434	0,9542	0,9609	1,0000	
F	0,9879	0,4090	0,8357	1,0000	0,9616	1,0000

Agraïments

Agraïm sincerament la col·laboració i l'ajut de Carles Jordà, Jeroni Moner i Jesús Garcia-Gil.

Bibliografia

- ABELLA, C.A., DUTRAS, A. & BRUNET, R. (1986). Balanç del fosfat soluble i dels paràmetres de contaminació bacteriològica a l'estany de Banyoles. Dins: C. Abella, S. Cardenal, J. Moner, P. Plantes i J. Riera (eds.). *Primeres Jornades sobre l'Estany de Banyoles*. Diputació de Girona. Girona, pp. 159-170.
- DUTRAS, A., ABELLA, C.A. & BRUNET, R. (1986). Determinació dels sistemes de corrents a l'estany de Banyoles en condicions de calma meteorològica estival. Dins: C. Abella, S. Cardenal, J. Moner, P. Plantes i J. Riera (eds.). *Primeres Jornades sobre l'Estany de Banyoles*. Diputació de Girona. Girona, pp. 149-158.
- GOLTERMAN, H.L., CLYMO, R.S. & OHNSTAD, M.A.M. (1978). *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. Blackwell Sci. Pub. Oxford.
- MARGALEF, R. & PRAT, N. (1979). La limnologia. *Quad. Ecol. Apl.*, 4: 9-23.
- SANZ, M. (1981). *Sistema hidrogeològic de Banyoles-la Garrotxa*. Tesi Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra.
- SNEATH, P.H.A. & SOKAL, R.R. (1973). *Numerical taxonomy*. W.H. Freeman Co. San Francisco.
- SSPS INC. (1983). *SPSS^x users guide*. McGraw-Hill Book Co. New York, 806 pp.