

# Les diatomees com a indicadors de canvis ambientals: el riu Llémena i les seves fonts

HELENA GUASCH<sup>1</sup>, MARTA RICART<sup>1,2</sup> & GEMMA URREA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut d'Ecologia Aquàtica. Facultat de Ciències de la Universitat de Girona  
Campus Montilivi, E-17071 Girona

<sup>2</sup> Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA)

Emili Grahit, 101. Edifici H2O, PCiT, E-17003 Girona

helena.guasch@udg.edu

Rebut: 26.11.2010

Acceptat: 14.12.2010

## RESUM

Donada la seva diversitat i elevat dinamisme, els sistemes aquàtics d'aigua dolça ens ofereixen l'oportunitat d'estudiar la resposta dels organismes a un ampli rang de condicions ambientals. A mode d'exemple, a la conca del riu Llémena hi trobem fonts, basses, i trams fluvials ben diferenciats. El coneixement de la singularitat d'aquests ambients és un element clau per garantir-ne la seva conservació. S'han estudiat dos ambients aquàtics: la font ferruginosa de can Verdagner, i el riu Llémena al seu pas pel municipi de Sant Esteve de Llémena. En ambdós casos s'han utilitzat les diatomees per estudiar la resposta de les comunitats naturals a la variabilitat ambiental.

**Paraules clau:** ambient extrem, diatomea, diversitat, ecologia, font, ferro, indicador biològic, pertorbació.

## Abstract:

Due to their high diversity and dynamism, freshwater aquatic systems offer a great opportunity for investigating biotic responses to a broad range of environmental conditions. In the Llémena watershed (Catalonia, NE Spain), for instance, there is a huge variety of springs, pools and stretches of river. Understanding the singularity of these aquatic systems is considered a key issue for their conservation. Two different aquatic systems were investigated: an iron-rich spring known as Font de Can Verdagner and a stretch of the river Llémena in the village of Sant Esteve de Llémena. In both cases diatoms were used to investigate the response of natural communities to environmental changes.

**Key words:** biotic indicator, iron, diatom, diversity, disturbance, ecology, extreme environment, spring.

## INTRODUCCIÓ

Els sistemes aquàtics d'aigua dolça són extremadament diversos, tant pel seu variat origen geològic com per la influència que hi exerceixen agents geològics externs i els propis organismes que hi viuen (MARGALEF, 1983). Les variacions més marcades les trobarem en petites masses d'aigua, com és el cas de petites rieres que apareixen després d'una surgència. Les característiques químiques de l'aigua d'una surgència poden ser molt extremes, en funció del seu origen (VON FUMETTI *et al.*, 2007). Per altra banda, l'aigua que en surt sol patir canvis químics molt marcats en entrar en contacte amb l'atmosfera. Esdevenen, en aquests casos, ambients molt extrems i alhora molt variables en l'espai i de gran interès per la investigació biològica. Les fonts termals de Yellowstone, a Estats Units, són un clar exemple d'ambient extrem intensament investigat per la seva semblança amb ambients primitius en els que es generà la vida. Menys estudiades que les anteriors, però no per això mancades d'interès, són les surgències ferruginoses fredes, força comunes al territori català.

L'aigua subterrània pot arribar a portar elevades concentracions de ferro gràcies a la baixa quantitat d'oxigen dissolt que el manté en la forma més soluble ( $Fe^{2+}$ ). La seva surgència sol donar lloc a fonts de coloracions groguenques i vermelloses força vistoses, degudes a l'oxidació del ferro (passant a  $Fe^{3+}$ ) i la seva conseqüent precipitació (KIMBALL *et al.*, 94). Si el cabal de la surgència és prou elevat, els processos químics abans esmentats generen un gradient de condicions ambientals de gran interès per a l'estudi de la successió de les comunitats biològiques al llarg del gradient químic.

Les fonts de Ferro han estat indrets apreciats des d'antic per les seves suposades qualitats curatives. Tenim com

a exemple la Font de Ferro de Poblet documentada pels primers assentaments cristians, o bé la Font de Ferro de la vall de la riera de Pineda a Pineda de Mar, recuperada recentment. Semblants a les anteriors són la Font picant de Madremanya, la Font de Ferro o d'en Garriga de Puig Ventós (a la serra de Cadiretes), situades dins del territori gironí, i les font de Can Coromines i la font groga o font de Can Verdaguer, situades ambdues a la vall del riu Llémena, al municipi de Sant Gregori. Aquesta última ha estat motiu de diversos estudis per part d'estudiants i publicacions on es descriu de manera detallada (GUASCH *et al.*, enviat).

Les fonts de ferro proporcionen una oportunitat única per estudiar la resposta dels organismes a l'estrès químic, concretament el provocat per la presència d'elevades concentracions de ferro. Cal a dir que el ferro, encara que sigui un element essencial per a la vida, pot arribar a ser tòxic pels organismes aquàtics a concentracions superiors a 1 mg/L (RANDALL *et al.*, 1999; BATTY & YOUNGER, 2003). Per altra banda, donat que la concentració de ferro dissolt disminuirà aigües avall de la surgència a mesura que l'aigua circulant entri en contacte amb l'atmosfera, esperem trobar una reducció en toxicitat i, per tant, la substitució d'espècies de diatomees tolerants per d'altres que no ho siguin. Aquests resultats, si es donen, ens permetran confirmar l'elevada sensibilitat d'aquest grup d'organismes als canvis ambientals.

L'estructura i la composició de les comunitats d'un ecosistema aquàtic és conseqüència tant de les característiques del medi com d'un seguit d'interaccions biòtiques (depredació, competència, etc), les quals poden variar al llarg del temps i de l'espai. L'activitat humana pot modificar de forma molt important aquest conjunt de relacions generant un fort impacte sobre l'ecosistema. Actualment es tenen uns bons coneixements tant de l'estructura com del funcionament de les comunitats que habiten als diferents ecosistemes aquàtics de Catalunya. Aquest millor coneixement ha permès diagnosticar amb més encert el grau d'alteració que pateixen aquests sistemes i poder així proposar models de gestió adequats. Donat que un dels objectius principals de la Directiva Marc de l'Aigua és el d'aconseguir un bon estat ecològic dels ambients aquàtics, la mesura de l'estat ecològic resulta una eina fonamental en la gestió integrada de l'aigua, la qual utilitza indicadors biològics, hidromorfològics i fisicoquímics. Com a indicadors biològics s'utilitzen els productors primaris (diatomees i macròfits), els macroinvertebrats i els peixos.

L'ús de les diatomees com a espècies indicadores de la qualitat ecològica a Catalunya es remunta als anys 1950s i 1960s, quan el professor RAMON MARGALEF inicià estudis en aigües continentals per tal de conèixer-ne la qualitat ecològica que incloïen la determinació de la comunitat de diatomees bentòniques. Les diatomees bentòniques són

algues unicel·lulars que viuen associades a un substrat sòlid. Estan formades per un esquelet de silici, anomenat frústul. Els elements estructurals que formen els frústuls permeten una determinació a nivell d'espècie amb un elevat grau d'exactitud. Degut a la seva mida petita i a una elevada taxa de reproducció, les comunitats de diatomees responen de forma ràpida i sensible a les possibles variacions en les característiques físiques i químiques del riu. Aquestes variacions resulten en canvis en la composició de les espècies en una comunitat, on les espècies tolerants a les noves condicions es veuen afavorides. Les diatomees són cosmopolites, de fàcil recol·lecció i preservació. En conjunt, doncs, resulten eficaces com a indicadores de l'estat ecològic dels sistemes aquàtics.

Una manera d'extreure la informació associada a la identificació de la comunitat de diatomees en un ecosistema fluvial és calculant un índex. Els índexs basats en la comunitat utilitzen l'autoecologia de les espècies que configuren la comunitat, així com la seva abundància, per tal d'extreure un valor indicador de la comunitat en el seu conjunt.

L'índex IPS (Indice de Polluosensibilité) és un dels índexs més utilitzats. Va ser descrit pel centre de recerca CEMAGREF de Bordeaux en col·laboració amb les Agències de l'Aigua Franceses l'any 1982.

A mode d'exemple, es presenten dos casos d'estudi on s'ha utilitzat les diatomees com a espècies indicadores de la qualitat ecològica. El primer estudi tenia com a objectiu estudiar la resposta d'aquestes comunitats a les variacions químiques pròpies d'una font de ferro. En el segon estudi es presenten els resultats obtinguts al llarg de tres anys successius (2007-2009) d'estudi de les comunitats de diatomees al riu Llémena, concretament en un tram situat dins el municipi de Sant Esteve de Llémena. L'estudi s'emmarca dins l'assignatura "Elements per a una diagnosi de la qualitat de l'aigua" del màster de ciència i tecnologia de l'aigua de la Universitat de Girona. En aquest cas, l'objectiu era diagnosticar la qualitat ecològica del riu aigües avall del municipi de Sant Esteve de Llémena. Els tres anys analitzats inclouen tres situacions diferents: situació en la que la riera rebia, a més dels residus urbans, abocaments provinents de la indústria càrnia (primavera del 2007); el període posterior al tancament de l'escorxador (primavera del 2008); i el posterior a la posada en funcionament de la depuradora de Sant Esteve de Llémena (primavera del 2009).

## MATERIAL I MÈTODES

### *Descripció de la zona d'estudi*

Ambdós estudis foren realitzats dins la conca del riu Llémena. La font de Can Verdaguer, al barri vell del

municipi de Sant Gregori, i un tram de la part alta del riu, proper al municipi de Sant Esteve de Llémena. La font de Can Verdaguer és una de les fonts de la zona amb major cabal (0,36 L/sec, aproximadament). L'excavació d'un petit canal (de 0,9 m d'amplada aprox.) permet la circulació d'una petita columna d'aigua (fondària mitjana de 5 cm) al llarg de 62 m, distància compresa entre la font i una petita bassa coberta de travertins, on part de l'aigua és retinguda i la resta s'infiltra deixant de circular.

El riu Llémena, afluent del riu Ter, neix a la Serra de Finestres, drenant les aigües d'aquest massís i tenint com a tributaris principals la riera de Granollers i la de Canet. El seu cabal és petit i irregular amb un marcat caràcter mediterrani (fortes crescudes en èpoques de pluges i estiatge en períodes estivals). L'estudi realitzat es troba dins el tram alt de la riera, dins el Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa. Pràcticament un 70% de l'àrea drenada és superfície forestal i poc més del 7% correspon a zones de conreu i urbanes.

#### *Presa de mostres*

##### \* Font de Ferro

Es van establir 9 punts de presa de mostres de química aigües avall de la font. En cada punt es van fer mesures *in situ* de temperatura de l'aigua, oxigen dissolt, pH i conductivitat i es van prendre mostres per a la posterior anàlisi química. Per a l'estudi de les diatomees, en cada punt es va rascar una superfície coneguda del material dipositat al fons (*biofilm*). El material obtingut es va guardar en un vial de vidre prèviament etiquetat amb 10 mL d'aigua del riu i formaldehid al 4%.

##### \* Riu Llémena

Es van prendre mostres dels dos punts d'estudi el mes de maig, durant 3 anys consecutius (2007, 2008 i 2009). El primer tram estava situat 1,5 quilòmetres aigües amunt del municipi i va ser considerat com a punt de referència; i el segon tram, que denominarem tram impactat, situat 1 quilòmetre aigües avall dels abocaments. Per a la recollida de les mostres, en cada un dels punts es van fer mesures *in situ* i es van agafar mostres d'aigua seguint el mateix protocol descrit anteriorment. Per a l'estudi de les diatomees, es varen seleccionar 3 pedres aleatòriament, de cadascuna de les quals se'n va rascar una superfície coneguda (4 cm<sup>2</sup>). El material obtingut es va guardar seguint el mateix protocol descrit a l'apartat anterior.

#### *Estudi de les diatomees*

Una vegada al laboratori, es va procedir a la digestió àcida de les mostres per tal d'eliminar-ne la matèria orgànica i obtenir els frústuls nets per a la seva posterior identificació. Per a la digestió, les mostres es varen

homogeneïtzar agitant i es varen transferir entre 2 i 5 ml de cada mostra a erlenmeyers prèviament etiquetats. Per tal d'eliminar les possibles sals carbonatades que podrien precipitar i interferir en l'observació de la mostra es va afegir 1 ml d'àcid clorhídric (HCl) al 35%. Seguidament es va afegir àcid sulfúric (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrat, fins que no hi va haver reacció amb l'aigua. També es varen afegir uns cristalls de dicromat potàssic (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) i, finalment, aigua oxigenada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), la qual actua com a catalitzador. Després de 20 minuts, els erlenmeyers es varen omplir totalment d'aigua destil·lada, per tal d'abaixar el pH, i es va procedir a la retirada dels àcids. Per al rentat, es varen filtrar les mostres amb filtres de nitrat de cel·lulosa de 0,2 µm de diàmetre de porus (whatman, uk). En cada procés de filtració les diatomees queden retingudes al filtre. Es varen resuspendre els filtres varies vegades i es varen tornar a filtrar les mostres, fins que l'àcid va ser eliminat completament.

Finalment, les diatomees es varen muntar de manera permanent amb una reina sintètica d'un índex de refracció alt (Naphrax, índex de refracció 1,74).

Per a l'observació i recompte de les diatomees es va utilitzar un microscopi òptic (Nikon Eclipse 600W) equipat amb condensador amb interferència diferencial (Nomarski). Es van comptar un mínim de 400 cèl·lules amb un objectiu de 1000X. La identificació es va fer a partir de KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986-1991).

Finalment, es va calcular l'abundància relativa de cada espècie en cadascuna de les mostres.

L'abundància de cada espècie en cada punt de mostreig es va utilitzar per a calcular l'índex IPS, a partir del paquet d'índexs OMNIDIA, el qual calcula l'índex de forma automatitzada.

L'índex IPS atorga un rang de valors que van de 0 a 20, indicant una qualitat dolenta quan el valor obtingut es troba entre 0 i 4, una qualitat deficient si els valors van de 4 a 8, una qualitat moderada en valors de 8 a 12, una bona qualitat en valors de 12 a 16 i, finalment, una molt bona qualitat quan els valors estan compresos entre 16 i 20.

## RESULTATS

A la font de Can Verdaguer hi trobem una surgència ferruginosa amb baix contingut d'oxigen i pH lleugerament àcid. En entrar en contacte amb l'atmosfera, el ferro reduït s'oxida i precipita. L'increment de la concentració d'oxigen va lligada a una precipitació del ferro i una recuperació del pH fins a condicions lleugerament bàsiques. Aquest gradient ambiental va associat a un gradient en la comunitat de diatomees. A la part més propera a la surgència trobem molt poques espècies capaces de sobreviure en aquestes condicions, i la comunitat està clarament dominada per

*Navicula cincta*. Aquesta comunitat va essent substituïda per una comunitat més rica en espècies (annex I), amb el clar predomini d'*Achnanthes minutissima* var. *gracillima* al final del canal (figura 1, taula 1).

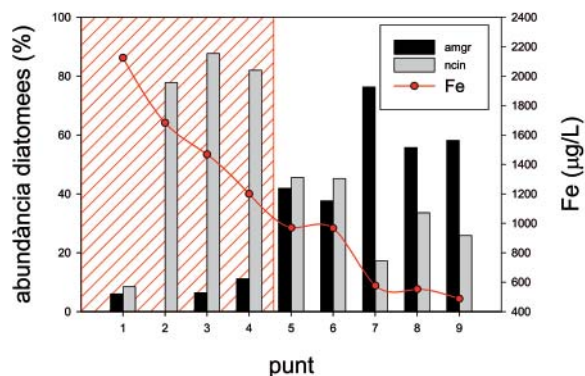


Figura 1. Representació de l'abundància relativa de les dues espècies dominants de diatomees: amgr (*Achnanthes minutissima* var. *gracillima*) i ncin (*Navicula cincta*) aigües avall (punts 1 a 9) de la surgència (eix X dret). La corba correspon a la concentració de ferro dissolt (en µg/l) mesurada. L'àrea ratllada indica els punts on l'elevada concentració podria generar toxicitat.

En el segon estudi, la comunitat de diatomees va indicar molt clarament les diferències en la qualitat ecològica entre els punts del riu Llémena estudiats, així com la seva evolució en el temps.

El primer any, amb la indústria càrnia activa i l'abocament d'aigües residuals al riu, es varen detectar grans diferències en la composició de la comunitat entre el punt de referència i l'impactat. Els nivells d'oxigen dissolt eren molt baixos en el punt impactat, el qual també presentava una alta conductivitat (taula 2). Pel què fa als valors de qualitat ecològica obtinguts a partir de la comunitat de diatomees,

Taula 1. Resum de les variables químiques: ferro dissolt (Fe); oxigen dissolt (O<sub>2</sub>) conductivitat (Cond); clorur (Cl); sulfat (SO<sub>4</sub>) i calci (Ca) des de la font (0) al punt 9 situat 60 metres aigües avall. Font: GUASCH *et al.* enviat.

Punt	Fe µg/L	O <sub>2</sub> mg/L	pH	Cond mS/cm	SO <sub>4</sub> mg/L	Ca mg/L
0	7022	1,71	6,36	6,48	312	154
1	2124	4,36	6,55	6,37	308	146
2	1682	4,78	6,73	6,21	308	94,2
3	1467	5,94	6,80	6,17	308	149
4	1200	7,18	6,90	6,16	307	149
5	646	8,18	7,07	6,26	305	148
6	967	9,28	7,22	6,21	304	152
7	576	9,80	7,27	6,24	305	66,2
8	552	10,5	7,49	6,28	302	58,6
9	487	11,4	7,55	6,15	301	39,5

en el punt de referència el valor de l'índex IPS era de 16,6, indicant una molt bona qualitat de les aigües, i en el punt impactat era de 6,1, indicant una qualitat deficient (figura 2). Algunes de les espècies que clarament dominaven en el punt 1, desapareixien o es veien molt reduïdes en el punt 2. Per exemple, *Achnanthes biassolettiana* i *Navicula cryptotenella* tenien una abundància del 10% aproximadament en el punt 1 i desapareixien completament en el punt 2, mentre que *Achnanthes minutissima* passava d'una abundància del 30% al 2% (annex II). La riquesa d'espècies també indicava clarament una reducció en el segon punt, on es van determinar 23 espècies diferents, mentre que el punt 1 comptava amb 31 espècies.

En el segon any, amb el tancament de la indústria càrnia, el punt de referència mantenia la qualitat de les seves aigües i el punt impactat iniciava una millora significativa. Els valors d'oxigen dissolt del punt 2 pujaven, tot i que no arribaven als nivells del punt 1, i la conductivitat es reduïa lleugerament (taula 2). Pel què fa als valors de l'índex IPS, el punt 1 obtenia un 13,1 (qualitat bona) i el punt 2 pujava el seu valor fins a 9,6 (qualitat moderada). Les espècies predominants en el punt 1 i que apareixien en

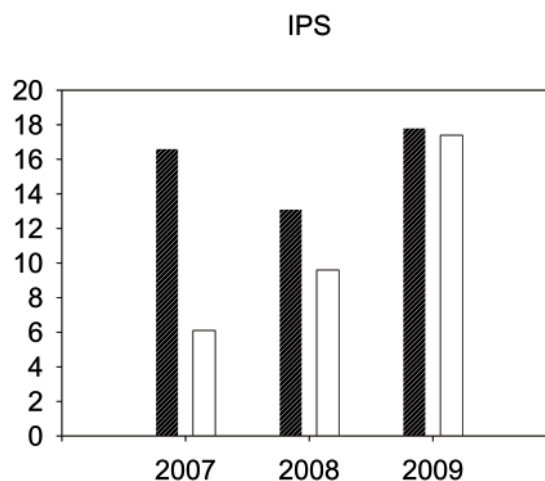


Figura 2. Valors de l'índex IPS al punt de referència (barra fosca) i al punt impactat (barra clara) als tres anys estudiats.

Taula 2. Valors d'oxigen dissolt (O<sub>2</sub> en mg/L), pH i conductivitat (cond) al punt de referència (ref) i al punt impactat (impacte) abans (2007 i 2008) i després de la posada em funcionament de la depuradora (2009). Font: treballs màster de ciència i tecnologia de l'aigua, cursos 2006-2007; 2007-2008 i 2008-2009.

		2007	2008	2009
Ref	O <sub>2</sub>	8,27	8,15	7,67
	pH	8,10	8,06	7,96
	Cond	527	374	524
impacte	O <sub>2</sub>	2,64	6,17	9,59
	pH	7,59	5,93	8,08
	cond	969	692	543



menor proporció en el punt 2 eren *Rhoicosphenia abbreviata*, *Gomphonema parvulum* i *Achnanthes minutissima*. Algunes espècies tenien una abundància remarcable en ambdós punts, com per exemple *Amphora pediculus* i *Navicula atomus*. En el mostreig del segon any, el número d'espècies es va igualar entre els dos punts (22 i 23 en el punt 1 i 2, respectivament) (annex II).

No va ser fins al tercer any, amb la posada en funcionament de la depuradora de Sant Esteve de Llémena, que el punt inicialment impactat va igualar, en termes de qualitat ecològica, el punt de referència. Els valors d'oxigen i conductivitat s'anivellaven (taula 2) i l'índex IPS era de 17,8 i 17,4 pel punt 1 i 2 respectivament, indicant en ambdós casos una molt bona qualitat ecològica (figura 2). El nombre d'espècies detectat en cada punt es mantenia pràcticament igualat, amb 20 i 24 espècies al punt 1 i 2, respectivament. La composició de comunitat de diatomees va veure reduïda les diferències entre els punts. En el tercer any de mostreig, la mateixa espècie dominava en els 2 punts (*Achnanthes minutissima*), amb un percentatge superior al 65% en ambdós casos, mentre que d'altres apareixien en proporcions similars en els dos punts (*Cymbella minuta* i *Rhoicosphenia abbreviata*) (annex II).

## DISCUSSIÓ

Les diatomees són organismes molt sensibles als canvis ambientals d'origen natural o antròpic. La diversitat d'aquest grup queda ben palesa en l'estudi realitzat on es van identificar més de 80 espècies i subespècies diferents. L'estudi de la font de ferro ens serveix per confirmar la presència de diatomees en ambients molt extrems i alhora exemplificar la resposta de la comunitat als canvis químics que esdevenen aigües avall de la surgència. A la part inicial del canal, la dominància de *Navicula cincta* ens indica que es tracta d'una espècie que tolera elevades concentracions de ferro en contraposició a *Achnanthes minutissima* var. *gracilliana*, que incrementa la seva població al disminuir la concentració de ferro, mostrant la seva sensibilitat al metall.

Per altra banda, l'aplicació d'índexs de diatomees per a la diagnòsi de l'estat ecològic de la riera, permet exemplificar el caràcter indicador d'aquest grup d'organismes i la seva validesa en estudis d'avaluació dels efectes de l'activitat humana en els ecosistemes fluvials. Els índexs biològics es basen en la presència i/o absència de determinades espècies indicadores. En el cas de les diatomees, el coneixement de l'existència d'espècies indicadores de condicions d'eutròfia i/o contaminació orgànica, ha permès desenvolupar índexs molt sensibles a aquest tipus de pertorbació. La variació de l'índex IPS al tram de la riera estudiat confirma aquesta aplicació, i la seva validesa a la zona estudiada. Al llarg dels tres anys de seguiment, el tram impactat passà de patir una forta contaminació orgànica, a mostrar símptomes de recuperació. La contaminació orgànica provocada pels

abocaments portà a valors molt baixos d'oxigen dissolt l'any 2007. La qualitat de l'aigua va mostrar una certa recuperació en tancar l'escorxador (any 2008), amb una certa millora dels nivells d'oxigen l'any 2008. Per altra banda, la posada en funcionament de la depuradora va permetre la recuperació del bon estat químic, mostrant valors similars als obtinguts al punt de referència.

La categorització de l'índex passà de deficient (any 2007) a moderat (l'any 2008), per esdevenir molt bo l'any 2009. La variació observada permet afirmar que la recuperació de la qualitat química va permetre també la recuperació de la qualitat biològica.

## CONCLUSIONS

S'han estudiat dos ambients aquàtics: la font ferruginosa de Can Verdaguer, i el riu Llémena al seu pas pel municipi de Sant Esteve de Llémena. En ambdós casos s'han utilitzat les diatomees per estudiar la resposta de les comunitats naturals a la variabilitat ambiental. Els inventaris presentats mostren la varietat d'espècies de diatomees presents a la vall de Llémena. Per altra banda, els dos estudis permeten confirmar la ubiqüitat i elevada sensibilitat de les diatomees als canvis ambientals d'origen natural o antròpic i la necessitat de conservar-ne el seu estat natural.

## AGRAÏMENTS

XAVIER GARCIA ACOSTA, participà en la presa de mostres i anàlisi de les dades de la Font de Can Verdaguer en el marc de l'assignatura "Pràctiques en empresa" de l'Estudi de Ciències Ambientals de la Universitat de Girona (curs 2006). Agrair a la Dra. ANITA GEISZINGER i la Dra. ENRIQUETA ANTICÓ (investigadores de les àrees d'ecologia i química analítica, respectivament), i als Serveis Científics i Tècnics de la Universitat de Girona la seva contribució a les anàlisis químiques. Els estudiants del màster de "ciència i tecnologia de l'aigua" de la Universitat de Girona dels cursos 2006-2007, 2007-2008 i 2008-2009 participaren en la presa de mostres i paràmetres ambientals com a part del treball pràctic de l'assignatura "Elements per una diagnòsi de la qualitat de l'aigua". Aquest estudi ha rebut finançament del Ministerio de Ciencia y Tecnología (projecte Fluvialmultiestress referència CTM2009-14111-CO2-01) i el sisè programa marc de la Unió Europea (projecte KEYBIOEFFECTS referència MRTN-CT-2006-035695).

## BIBLIOGRAFIA

BATTY, L. C. & YOUNGER, P. L. 2003. Effects of External Iron Concentration upon Seedling Growth and Uptake of Fe and Phosphate by the Common Reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex. Steudel. *Annals of Botany* 92: 801-806.

GARCÍA-ACOSTA, X. 2006. Estudi limnològic de la Font de Can Verdaguer. Memòria de Pràctiques en Empresa al Laboratori d'ecologia de l'Institut d'Ecologia Aquàtica,

Juny-Setembre 2006. Assignatura pràctiques en empresa de l'Estudi de Ciències Ambientals de la Universitat de Girona. Inèdit.

**GUASCH, H.; GARCIA ACOSTA, X.; URREA, G. & BAÑERAS, LL.** Changes in the microbial communities along the environmental gradient created by a small iron spring. Enviat a: *Springs, Journal of the North American benthological Society* (JNABS) special issue.

**KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. 1986-1991.** *Bacillariophyceae I: Naviculaceae*. In: *Susswasserflora von Mitteleuropa* (Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer, editors). Fischer, G., Stuttgart.

**KIMBALL, B. A.; BROSHEARS, R. E.; BENCALA, K. E. & MCKNIGHT, D. M. 1994.** Coupling of hydrologic transport and chemical reactions in a stream affected by acid mine drainage. *Environmental Science and Technology* 28: 2065-2073.

**MARGALEF, R. 1983.** *Limnología*. Editorial Omega, Barcelona.

**RANDALL, S.; HARPER, D. & BRIERLEY, B. 1999.** Ecological and ecophysiological impacts of ferric dosing in reservoirs. In: *The ecological bases for Lake and Reservoir Management* (HARPER, D. M. & BRIERLY, B.) Editorial. p. 355-364.

**VON FUMETTI, S.; NAGEL P. & BALTES, B. 2007.** Where a springhead becomes a springbrook – a regional zonation of springs. *Fundamental and Applied Limnology Archiv für Hydrobiologie* 169: 37-48.

Annex I. Llistat d'espècies identificades a la Font de Can Verdaguer (juny 2006) als 9 punts situats aigües avall de la surgència. Per a cadascuna de les espècies s'indica el nombre de punts on ha estat localitzada (N) i la respectiva mitjana d'abundància.

TÀXON	N (punts)	%
<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. <i>frequentissima</i> Lange-Bertalot	2	0,18
<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>gracillima</i> (Meister) Lange-Bertalot	8	38,05
<i>Achnantheidium biasoletianum</i> (Grunow in Cl. & Grun.) Round & Bukhtiyarova	5	1,35
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kütz.) Czarnecki	9	5,47
<i>Amphora inariensis</i> Krammer	1	0,06
<i>Amphora pediculus</i> (Kutzing) Grunow	4	0,21
<i>Caloneis bacillum</i> (Grunow) Cleve	1	0,03
<i>Caloneis undulata</i> (Gregory) Krammer	6	0,86
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	1	0,03
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	3	0,12
<i>Craticula cuspidata</i> (Kutzing) Mann	1	0,09
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kutzing	1	0,03
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse in Rabh.) D.G. Mann	2	0,12
<i>Encyonopsis microcephala</i> (Grunow) Krammer	2	0,06
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>rumpens</i> (Kütz.) Lange-Bert. ex Bukht.	3	0,21
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (Kutzing) Lange-Bertalot	2	0,09
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch.) Lange-Bertalot	3	0,12
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson	1	0,06
<i>Gomphonema parvulum</i> Kützing	2	0,18
<i>Mayamaea atomus</i> var. <i>permitis</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	2	0,15
<i>Melosira varians</i> Agardh	6	0,83
<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain	2	0,06
<i>Navicula cincta</i> (Ehr.) Ralfs in Pritchard	9	48,74
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	5	0,28
<i>Navicula reichardtiana</i> Lange-Bertalot	1	0,03
<i>Navicula viridulacalcis</i> Lange-Bertalot	1	0,03
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	1	0,03
<i>Nitzschia aurariae</i> Cholnoky	2	0,15
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kutzing) Grunow	2	0,06
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kutzing) Grunow	1	0,09
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow	6	0,46
<i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) W.M.Smith	5	0,21
<i>Nitzschia littoralis</i> Grunow	1	0,03
<i>Nitzschia palea</i> (Kutzing) W.Smith	6	0,40
<i>Pinnularia brebissonii</i> (Kutz.) Rabenhorst	4	0,52
<i>Pinnularia microstauron</i> var. <i>brebissonii</i> (Kutzing) Mayer	1	0,06
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grun.in Van Heurck) Williams & Round	1	0,06
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	1	0,03
<i>Rhopalodia constricta</i> (W.Smith) Krammer	1	0,06
<i>Sellaphora seminulum</i> (Grunow) D.G. Mann	1	0,03
<i>Surirella brebissonii</i> var. <i>kuetzingii</i> Krammer et Lange-Bertalot	3	0,25
<i>Thalassiosira pseudonana</i> Hasle et Heimdal	2	0,06

Annex II. Llistat d'espècies identificades i abundància relativa (en %); diversitat, riquesa i valor de l'índex IPS. Mostres de diatomees del riu Llémena als dos punts estudiats: referència (ref) i impacte (imp) a la primavera (maig) dels anys 2007, 2008 i 2009.

Espècie	2007		2008		2009	
	ref	imp	ref	imp	ref	imp
<i>Achnanthes biasolettiana</i> Grunow var. <i>biasolettiana</i> Grunow in Cleve & Grun.	10,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Amphora inariensis</i> Krammer	5,68	0,49	8,38	5,83	0,00	0,00
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Breb.) Grunow var. <i>lanceolata</i> Grunow	0,00	1,23	0,00	2,27	0,00	0,64
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Breb.) Grun. ssp. <i>frequentissima</i> Lange-Bertalot	0,32	2,72	1,20	2,27	0,00	0,96
<i>Achnanthes minutissima</i> Kutzing v. <i>minutissima</i> Kutzing ( <i>Achnantheidium</i> )	31,86	2,22	14,97	4,85	67,42	64,97
<i>Amphora pediculus</i> (Kutzing) Grunow	1,26	2,22	14,37	22,65	1,61	0,96
<i>Cymbella affinis</i> Kutzing	1,89	0,00	0,00	0,00	0,00	1,91
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kutzing	0,00	1,23	0,00	0,97	0,00	1,27
<i>Cymbella microcephala</i> Grunow	2,52	0,00	0,60	0,00	0,00	0,64
<i>Cymbella minuta</i> Hilse ex Rabenhorst ( <i>Encyonema</i> )	1,58	0,49	2,69	0,00	1,61	3,50
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	0,00	0,00	1,20	0,32	0,00	8,60
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>placentula</i>	0,63	0,74	4,79	0,65	1,61	0,00
<i>Cymbella prostrata</i> (Berkeley) Grunow ( <i>Encyonema</i> )	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Diploneis oblongella</i> (Naegeli) Cleve-Euler	5,99	0,00	0,90	0,00	0,97	0,00
<i>Diploneis ovalis</i> (Hilse) Cleve	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Denticula tenuis</i> Kutzing	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Diatoma vulgare</i> Bory 1824	0,63	0,00	0,00	0,00	4,52	0,00
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres var. <i>capucina</i>	2,21	3,46	0,60	0,65	0,00	1,59
<i>Fragilaria construens</i> (Ehr.) Grunow f. <i>construens</i> (Stausosira)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch.) Lange-Bertalot var. <i>ulna</i>	1,89	4,69	0,00	0,97	0,00	1,27
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kutzing) Rabenhorst	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96
<i>Gomphonema minutum</i> (Ag.) Agardh f. <i>minutum</i>	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Homemann) Brébisson var. <i>olivaceum</i>	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing var. <i>parvulum</i> f. <i>parvulum</i>	0,32	6,67	10,18	2,91	0,32	0,96
<i>Gomphonema pumilum</i> (Grunow) Reichardt & Lange-Bertalot	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kutzing) Rabenhorst	1,58	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00
<i>Melosira varians</i> Agardh	0,00	5,43	0,00	0,00	0,32	0,32
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow f. <i>amphibia</i>	0,63	5,19	0,00	1,94	0,32	0,64
<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00
<i>Navicula atomus</i> (Kutz.) Grunow var. <i>permitis</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	0,00	1,98	11,98	29,13	2,58	0,00
<i>Navicula atomus</i> (Kutz.) Grunow var. <i>atomus</i>	0,00	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Navicula capitata</i> Ehrenberg (= <i>Hippodonta</i> )	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00
<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain	0,63	3,46	0,60	0,65	0,00	0,00
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	10,41	0,00	0,00	0,00	1,94	0,00
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kutzing) Grunow var. <i>dissipata</i>	7,57	0,00	0,60	0,00	2,26	0,96
<i>Nitzschia fonticola</i> Grunow in Cleve et Möller	0,32	3,95	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Navicula gregaria</i> Donkin	0,00	0,00	0,90	4,53	0,00	0,00
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kutzing) Grunow var. <i>frustulum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00
<i>Nitzschia gracilis</i> Hantzsch	0,00	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow	0,00	0,00	0,00	0,32	0,97	0,00
<i>Nitzschia perminuta</i> (Grunow) M. Peragallo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32
<i>Navicula lanceolata</i> (Agardh) Ehrenberg	0,00	0,00	2,69	0,00	0,97	0,00
<i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) W.M. Smith var. <i>linearis</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96
<i>Navicula menisculus</i> Schumann var. <i>menisculus</i>	1,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Navicula minima</i> Grunow	0,32	9,88	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Navicula meniscoides</i> Hustedt	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00
<i>Nitzschia palea</i> (Kutzing) W. Smith	0,00	5,68	0,00	2,91	0,00	0,00
<i>Navicula pelliculosa</i> (Brébisson ex Kutzing) Hilse	0,00	0,00	1,50	6,80	2,58	0,00
<i>Navicula pseudolanceolata</i> Lange-Bertalot	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00
<i>Navicula reichardtiana</i> Lange-Bertalot var. <i>reichardtiana</i>	0,00	3,21	0,00	0,00	0,00	1,91
<i>Navicula subminuscula</i> Manguin	0,00	9,38	0,00	0,00	0,00	0,32
<i>Navicula seminulum</i> Grunow	4,42	9,38	3,59	0,00	0,00	0,00
<i>Nitzschia sociabilis</i> Hustedt	1,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F. Müller) Bory	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96
<i>Navicula veneta</i> Kutzing	0,00	15,80	2,69	7,44	0,97	1,27
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bertalot	0,00	0,00	13,77	0,65	8,06	3,82
<i>Thalassiosira pseudonana</i> Hasle et Heimdal	0,00	0,00	0,00	0,65	0,00	0,00
Diversitat	3,66	4,04	3,68	3,33	2,09	2,31
Riquesa	31	23	22	23	20	24
IPS	16,6	6,1	13,1	9,6	17,8	17,4