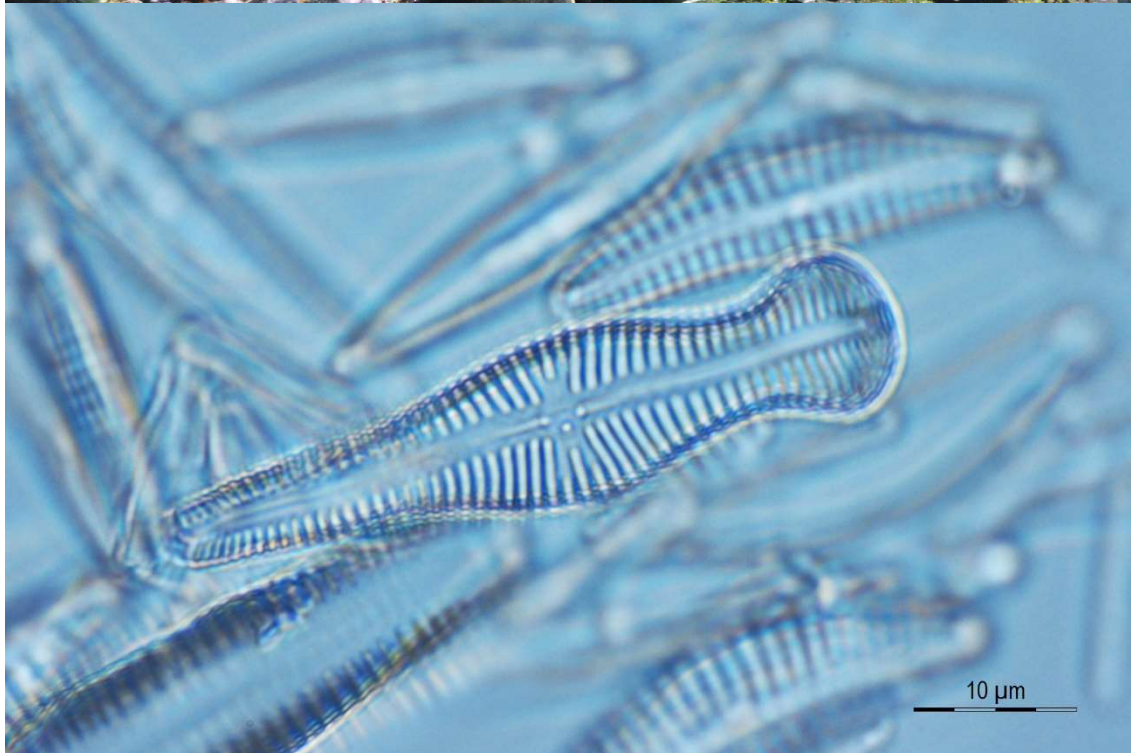
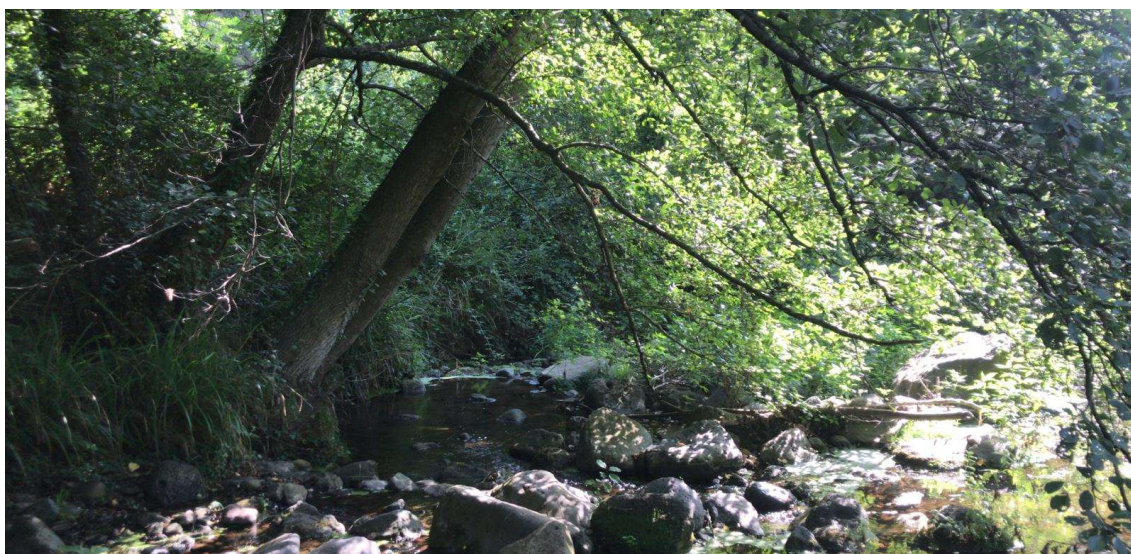


Estudi de la comunitat de diatomees de la Garrotxa

Autors: Joan Blavia i Helena Guasch



Índex

Resum	3
1. Introducció	4
1.1. Ecologia fluvial en el context del canvi global	4
1.2. Biofilms d'aigua dolça	5
1.3. Biologia de les diatomees	5
2. Àrea d'estudi	7
3. Material i mètodes	
3.1. Mostreig al camp	10
3.2. Anàlisi de la biomassa total (AFDM)	11
3.3. Anàlisi de nutrients (Amoni i Fòsfor)	11
3.4. Digestió i preparació de les mostres de diatomees	11
3.5. Identificació, recompte i estima del biovolum	11
3.6. Tractament de dades	12
4. Resultats i discussió	13
4.1. Condicions ambientals	13
4.2. Activitat humana	14
4.3. Diatomees com a indicadores de qualitat ecològica	14
5. Conclusions	21
6. Bibliografia	22
Annexes	24

Resum

La Garrotxa té una gran varietat d'hàbitats d'aigua dolça. En aquest estudi, es van estudiar les diatomees epilítiques en 20 recs, rius i rieres de la Garrotxa per tal de contribuir al coneixement sobre la composició d'aquestes comunitats algals i avaluar la influència dels diferents impactes atribuïts a la pressió antropogènica sobre el seu estat de conservació. Es van identificar 174 espècies diferents, i cinc tipologies de comunitat. Tant les dades de concentració de nutrients com les espècies indicadores de contaminació mostren que hi ha molts cursos d'aigua afectats per la pressió antropogènica, sobretot els de tipologia silícica i les zones més baixes dels rius. Aquest treball posa les bases per futurs estudis de seguiment de les masses d'aigua a la Garrotxa, imprescindibles com a font de coneixement de la seva diversitat biològica, i fonamentals per la seva conservació i restauració.

1. Introducció

1.1 Ecologia fluvial en el context del canvi global

Els rius són ecosistemes molt importants ja que formen part del cicle hídric i acullen una àmplia diversitat d'espècies animals i vegetals. Els sistemes fluvials poden ser perennes o temporals, en funció del nivell dels aqüífers, el cabal superficial i les condicions ambientals específiques. Per consegüent, les comunitats biològiques s'adapten a la variabilitat natural a través de períodes de vida curts, mecanismes de resistència a la dessecació i altes taxes de colonització (Feio *et al.*, 2014).

Els rius també són crítics per als humans, ja que són una font d'aigua dolça, aliments i activitats recreatives, entre altres serveis ecosistèmics. Així, el conflicte entre les necessitats humanes i la funció del sistema fluvial, donada la seva exposició continuada als impactes humans sorgeix la necessitat de comprendre l'estructura i funció dels ecosistemes fluvials, i la seva vulnerabilitat als factors d'estrès antropogènic.

Un mètode sovint utilitzat per analitzar les característiques i la dinàmica dels rius és l'estudi dels seus components estructurals biòtics i abiòtics, que pot permetre avaluar la seva integritat ecològica i la qualitat de l'aigua (Hopkins *et al.*, 2011). Aquest enfocament consisteix en descriure l'heterogeneïtat ambiental i la seva capacitat selectiva a diferents escales naturals en una distribució jeràrquica (López-de Sancha, 2022).

Tot i trobar-se entre els ecosistemes més vulnerables (Loh *et al.*, 2005), els ecosistemes fluvials estan contínuament afectats pels efectes de la pressió antropogènica. Alguns d'aquests fenòmens són la canalització, l'augment de la salinitat, la contaminació i la introducció d'espècies invasores (Bona *et al.*, 2008; López-de Sancha, 2022; Feio *et al.*, 2014). Aquestes alteracions provoquen canvis en la composició de la comunitat biòtica de la riera, generalment amb una simplificació i empobriment de la seva biodiversitat, afectant així el funcionament de l'ecosistema (Maddock, 1999).

Per a poder fer un seguiment a llarg termini i avaluar els efectes del canvi climàtic i pressió antropogènica creixent sobre el medi, és necessari tenir inventaris de la seva

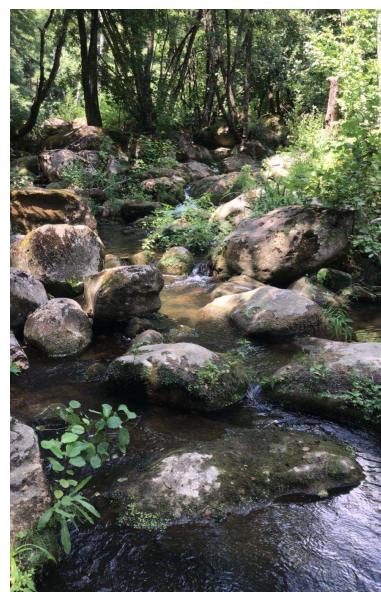


Figura 1. Fotografia dels Gorgs de Santa Margarida a les Planes d'Hostoles (HOS)

biodiversitat. Aquesta aproximació s'està aplicant a terme a molts observatoris, com ara, en molts llacs dels Pirineus. Tanmateix, encara no s'ha estudiat la comunitat algal de les rieres de la comarca de la Garrotxa en profunditat.

1.2. Biofilms d'aigua dolça

Els biofilms fluvials, també coneguts com a fitobentos o perifiton, són comunitats formades per diferents components: algues, cianobacteris, bacteris, protozous i fongs immersos en una matriu de polisacàrids (Guasch *et al.*, 2012). Les comunitats de biofilm són essencials per a la producció primària dels rius, consegüentment, són crucials per al bon funcionament i resiliència de l'ecosistema. Alhora, cal destacar la seva capacitat de degradar i transformar contaminants (Barral-Fraga 2017).

L'habilitat que tenen els biofilms de captar substàncies dissoltes o particulades es basa en la seva capacitat d'adsorció. La matriu ofereix punts d'unió per a diferents compostos (Flemming & Wingender, 2010) que poden ser posteriorment assimilades per altres organismes.

Els biofilms tenen una gran variabilitat de composició i estructura, podent-se desenvolupar en substrats i ambients molt diversos. Poden viure en substrats inerts com serien la sorra, grava i roques; o sobre de matèria orgànica. Mentre que els biofilms que es desenvolupen sobre roques, anomenats epilítics, desenvolupen una estructura amb més biomassa algal i presenten una major independència a les fluctuacions estacionals (Romaní & Sabater, 2001). La complexitat i diversitat dels biofilms, a més de la seva gran capacitat d'adsorció, ha motivat el seu ús com a indicadors de toxicitat del medi (Sabater, 2009).

1.3. Biologia de les diatomees

Les diatomees o bacil·lariofícies són microalgues unicel·lulars i formen part d'un dels grups d'organismes fotosintètics més abundants i diversos del planeta, presents a la zona fòtica de tots els ecosistemes aquàtics i alguns hàbitats subaeris humits (Malviya *et al.* 2016). Aquesta classe compren un grup monofilètic d'organismes amb aparença i formes de vida extremadament diverses (Round *et al.* 1990). Les diatomees pertanyen al superfílum dels heterokonts. Els heterokonts van ser situats al regne vegetal, però posteriorment es van moure al regne dels protists, un grup parafilètic d'organismes eucariotes que no són fongs, animals o plantes. Les diatomees són algues unicel·lulars

d'entre 5 i 200 µm de llargada tot i que n'hi pot haver de més grans. S'estima que hi ha al voltant de 10 000 espècies de diatomees però hi ha qui planteja la possibilitat de que en siguin moltes més (Sabater, 2009). Estan classificades en dos ordres. Les centrals que presenten simetria radial i estan encapsulades en valves circulars i les pennals que solen tenir forma allargada i simetria bilateral. Les diatomees presenten diverses formes de vida: associades en filaments, formant cadenes cel·lulars, en tubs de secrecions mucilaginoses, lliures a la columna d'aigua o ancorades a qualsevol substrat. La paret cel·lular de sílice, caracteritzada per la presència d'ornamentacions protegeix els òrgans cel·lulars interns. Aquesta estructura, anomenada frústul, està formada per dues unitats, la epiteca i la hipoteca. Aquestes estan disposades com una càpsula de petri (la hipoteca dins la epiteca). Les característiques més destacables de la paret de sílice són la seva transparència, la qual permet l'arribada de la llum als cloroplasts i la presència de porus que permeten l'intercanvi de gasos amb l'exterior (Sabater, 2009).

Algunes diatomees posseeixen rafe, una escletxa no uniforme que permet que el flux o moviment ondulatori del plasma cel·lular es transmeti a l'exterior, proporcionant moviment a una velocitat d'entre 2 i 30 µm/seg. (naviculàcies, nitzschiàcies) (Margalef, 1983). Altres diatomees produeixen diferents tipus de secrecions a través de porus que en alguns casos permeten l'ancoratge al substrat o la formació de colònies. Alguns gèneres combinen la producció de filaments mucilaginosos amb la possessió de rafe (*Cymbella*, *Gomphonema*).

Les diverses característiques estructurals que presenten les diatomees, faciliten la seva identificació. Com a autòtrofes, les diatomees contribueixen significativament a la producció primària de molts ecosistemes, constituint la base de la xarxa tròfica. Degut al seu rol dominant, se'ls hi atribueix d'un 20 a un 25% de la producció primària neta mundial, generant més oxigen a escala global que les selves tropicals (Falkowski & Godfrey 2008). Hi ha diversos factors ambientals que condicionen i limiten el desenvolupament de les diatomees. Alguns dels factors més importants són la llum, temperatura de l'aigua, el tipus de substrat, la velocitat de l'aigua, la disponibilitat de nutrients, el contingut mineral i l'herbivoria. La composició i arquitectura de les comunitats és una resposta directe als diferents factors que modulen el seu desenvolupament (Sabater, 2009). Conseqüentment, normalment hi ha una successió d'espècies a nivell estacional i també al llarg dels anys.

Algunes espècies tenen rangs d'hàbitat molt específics, amb especial sensibilitat a algunes de les variables esmentades. Aquesta característica fa que les diatomees siguin indicadors importants dels canvis ambientals. Tanmateix, la Directiva Marc de l'Aigua de

la UE recomana les bacil·lariofícies com a indicador de la qualitat ecològica dels rius (Unió Europea 2000).

Els objectius d'aquest estudi són:

- Contribuir al coneixement sobre la composició de la flora de diatomees epilítiques dels rius i rieres de la Garrotxa.
- Explorar la influència dels diferents impactes atribuïts a la pressió antropogènica sobre l'ecosistema fluvial de la Garrotxa, utilitzant les diatomees com a bioindicador.
- Proposar possibles espècies de diatomees que puguin ser utilitzades com a indicadores de l'estat ecològic fluvial de la Garrotxa.

2. Àrea d'estudi

L'estudi s'ha realitzat a partir de 20 punts fluvials ubicats dins els límits administratius de la comarca de la Garrotxa.

L'actual paisatge de la Garrotxa respon a la diversitat de característiques geomorfològiques i climàtiques d'aquest territori juntament amb la influència d'una activitat humana present des de temps remots (Jover & Oliver, 2023).

Pel que fa a la seva litologia, la comarca presenta un predomini dels substrats sedimentaris: calcàries, gresos, lutites, margues i conglomerats, originats durant l'Eocè. A l'Alta Garrotxa, les roques sedimentàries formen parts de relleus abruptes on s'intercalen batòlits granítics i esquistos producte dels encavalcaments de l'orogènia alpina. Entre els substrats sedimentaris també s'observen afloraments guixencs, com per exemple a Beuda.

La plana al·luvial creada pel Fluvià se situa sobre substrats sedimentaris eocènics, que el curs alt i mig del riu es troba cobert per roques basàltiques, fruit de l'activitat volcànica ocorreguda durant el Pleistocè i principis de l'Holocè, entre 700.000 i 10.000 anys.

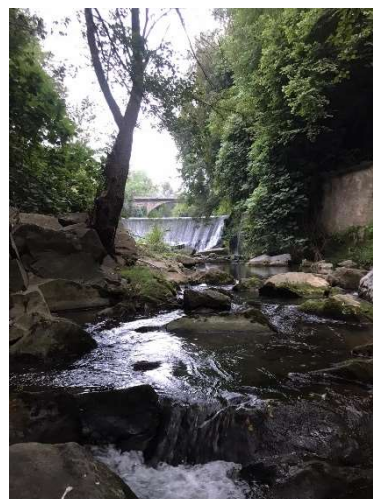


Figura 2. Fotografia del Fluvià passant per la Canya (CAN)

La comarca queda tancada a l'oest per la serralada Transversal, on predominen a les serres i valls meridionals (Oliver & Font, 2008).

La xarxa fluvial de la Garrotxa comprèn la conca del Fluvià i les capçaleres dels rius Brugent i Llémena. L'Alta Garrotxa comprèn la capçalera de la Muga i diversos afluents muntanyencs del marge esquerre del curs mig del Fluvià (conques del Llierca i del Borró).

Aquests cursos fluvials es caracteritzen per la irregularitat del seu cabal. Bona part dels torrents i rieres, com la del Borró i del Llierca, tenen un règim torrencial, amb el llit sec bona part de l'any i avingudes violentes en cas de fortes pluges. D'altres tenen un curs permanent, com la riera de la Vall del Bac, el riu La Muga i alguns trams de la riera d'Hortmoier i de Sant Aniol.

Sovint, l'aigua de pluja i la que circula per la llera, acaba infiltrant-se per les esquerdes i els contactes entre estrats, recarregant els aquífers subterranis. De la mateixa manera, l'aigua subterrània pot tornar a sorgir des del mateix llit de la riera o en forma de fonts, com per exemple la font de la Deu a els Aiguamolls de la Moixina, Olot.

Es van mostrejar un total de 20 punts entre agost i octubre de 2024, en diferents entorns fluvials repartits per la comarca de la Garrotxa. Els punts seleccionats són els següents:

-El Fluvià, es va mostrejar en tres punts. A la Canya, Olot i Besalú.

-El Ser en dos punts. El Sallent, un veïnat a l'est del terme municipal de Santa Pau i el Torn, un veïnat situat a la part sud del municipi de Sant Ferriol.

-Als Aiguamolls de la Moixina d'Olot es va mostrejar dos recs pròxims a la font de la Deu; el rec de la Deu, que està en un entorn de passeig i el rec del Ravell, que està situat en una zona agrícola. També es van agafar variables fisicoquímiques de la pròpia font de la Deu.

-El Brugent es va mostrejar en quatre punts de la vall d'Hostoles (Sant Feliu de Pallarols). La Font Grossa a la Fàbrega, dos punts a prop del Mas la Torra (zona bosc de ribera i zona gorgs) i el gorg de Santa Margarida.

-A pocs metres de l'espai natural de l'Alta Garrotxa, la Riera de Rajolins a Can Grau.

-En plena Alta Garrotxa, El Borró a Sales de Llierca.

-La Riera de St. Aniol (Llierca) en dos punts de Sadernes (zona bosc de ribera a prop de Talaixà i zona gorgs). Aquests punts es troben dins del municipi de Sales de Llierca.

-A l'Alta Garrotxa, pròxim a St.Martí d'Hortmoier, al municipi de Montagut i Oix, la Riera d'Hortmoier.

-La Riera de la Vall del Bac a la Vall del Bac (Alta Garrotxa). Només es va poder mostrejar la zona de bosc de ribera ja que no hi havia suficient aigua corrent per a mostrejar la zona de gorgs.

-La Riera de Rupit, afluent del riu Ter, es va mostrejar en dos punts abans del Salt del Sallent (zona bosc de ribera i zona gorgs just abans del salt).

-La Riera de Salarça, el punt més al nord de l'Alta Garrotxa mostrejat en aquest estudi, situat al veïnat de Salarça (Beget).

Per a poder estudiar la distribució espacial dels 20 punts a la comarca, es van agrupar en 5 grups:

-ALTG: Fa referència als punts de mostreig situats a l'Alta Garrotxa.

-MIGG: Fa referència als punts de mostreig situats a l'est d'Olot i sota l'Alta Garrotxa.

-OLOT: Fa referència als punts de mostreig propers a la ciutat d'Olot.

-HOST: Fa referència als punts de mostreig situats a les Planes d'Hostoles.

-SDS: Fa referència als punts de mostreig situats a la riera de Rupit a el Salt del Sallent.

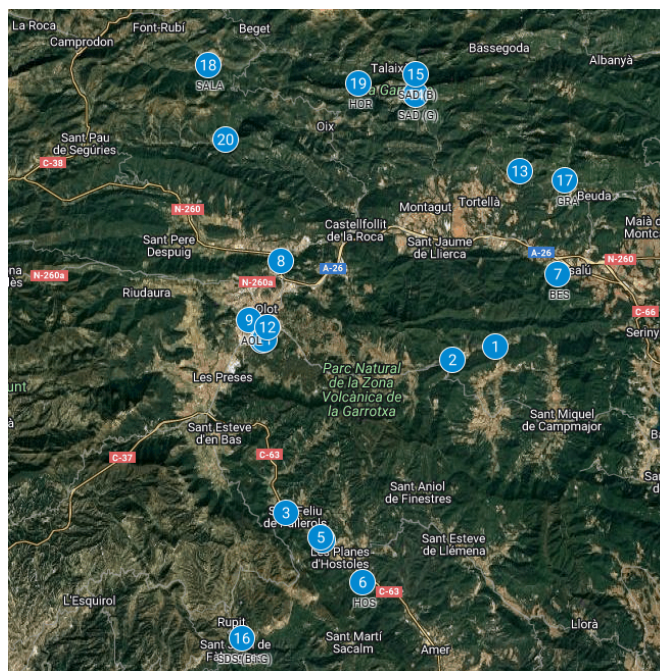


Figura 3. Mapa dels punts de mostreig de la campanya 2024.

3. Material i mètodes

3.1. Mostreig al camp

En cada punt de mostreig es van seleccionar, a l'atzar, diverses pedres del fons del riu. Les pedres van ser rascades sobre una safata mitjançant un "cell scraper" o raspall i es va recollir el biofilm en un volum d'aigua conegut. Per a cada mostra, es van agafar dues rèpliques, una per l'anàlisi de la comunitat de diatomees i una per l'anàlisi de la cendres (Ash Free Dry Mass: AFDM). Les mostres de biofilm destinades a l'observació es van preservar amb Alcohol 90% fins a ser analitzades (Guasch *et al.*, 2009). Mentre que les mostres destinades a AFDM van ser congelades fins al seu anàlisi.

Es van mesurar, in situ, els següents paràmetres fisicoquímics: pH, temperatura, conductivitat (EC), oxigen dissolt (mg/l), saturació d'oxigen (%), velocitat de l'aigua (cabal) i cobertura arbòria.

Per als primers cinc paràmetres, es va utilitzar una multisonda (WTW); per a la velocitat de l'aigua un correntímetre i per a la cobertura arbustiva una aplicació mòbil (Canopy Cover Free).

Addicionalment, es van agafar mostres d'aigua de cada punt de mostreig i es van congelar per al posterior anàlisi de nutrients dissolts (Amoni i Fòsfor).

En cada punt de mostreig es va utilitzar un fluorímetre portàtil de polsos d'amplitud modulada (Mini-PAM-II, HeinzWalz, Effeltrich, Alemanya). Aquest instrument ha resultat el més sensible i pràctic per a la mesura de la estat fisiològic de la comunitat, basat en la seva capacitat fotosintètica (Corcoll, 2011). Per a realitzar les mesures es va col·locar el sensor de llum a una distància constant d'un pot de vidre amb la mostra dins. Cal fer èmfasi en realitzar les lectures en fosc per a no alterar els resultats amb la irradiació externa. El Mini-PAM dona informació sobre el fluorescència base en estat de fosc (F0) i el rendiment quàntic màxim (Ymax). La configuració de l'aparell es va verificar abans de començar cada mostreig i mantenir durant tots els mostrejos. Es va realitzar un total de tres lectures en cada punt de mostreig.

3.2. Anàlisi de la biomassa total (AFDM)

A partir de les mostres de biofilm congelades, es va calcular la AFDM, una mesura utilitzada per expressar la biomassa algal del biofilm respecte la biomassa total del biofilm. Es van filtrar i deshidratar les mostres a l'estufa. Es van pesar els filtres per a obtenir el valor de Dry Mass (DM). A continuació, es va oxidar el material sec a un forn de mufla a alta temperatura i es torna a pesar per a obtenir Ash Free Mass. Seguidament, es va calcular AFDM. $[AFDM (g/cm^2) = (DM-AFM)/superfície]$

3.3 Anàlisi de nutrients (Amoni i Fosfat)

Mitjançant espectrofotometria de plasma induït es va calcular la concentració d'amoni (NH_4) i de fòsfor reactiu soluble (SRP) de cada punt de mostreig.

3.4. Digestió i preparació de les mostres de diatomees

De les mostres de biofilm, es va digerir la matèria orgànica per oxidació àcida utilitzant àcid clorhídric i peròxid d'hidrogen (Guasch *et al.*, 2009). Després de la digestió, es van eliminar els reactius per filtració. El contingut del filtre es va resuspendre en aigua destil·lada. Es van deshidratar 150µl en un portaobjectes i es va procedir al muntatge d'una preparació permanent amb medi de muntatge Naphrax (r.1. 1.74) (Guasch *et al.*, 2009).

3.5. Identificació, recompte i estima del biovolum

Les mostres van ser observades amb microscopi òptic a 1000x augments i en camp clar (Zeiss Axioplan) i van ser fotografiades. Posteriorment, es van comptar i identificar a nivell d'espècie un mínim de 400 individus per cada mostra. Per a la identificació taxonòmica, es va utilitzar la guia de Lange-Bertalot *et al.* (2017).

A partir de la mida mitjana de cada espècie (Lange-Bertalot *et al.* 2017) i les equacions de forma proposades per Hillebrand *et al.* (2019); es va estimar el biovolum (μm^3) mitjà de cada espècie. A partir de l'abundància relativa i el biovolum mitjà de cada espècie es va calcular el biovolum relatiu de cada espècie en cada mostra. També es va calcular la riquesa, índex de Shannon i Simpson.

3.6. Tractament de dades

3.6.1. Inventari

A partir de les mostres de biofilm epilític preses entre agost i octubre de 2024 a la Garrotxa, es va realitzar un inventari d'espècies de diatomees del biofilm. Es van calcular dos índexs de diversitat, la riquesa específica (número d'espècies) i l'índex de Shannon, i l'índex biològic IBD (Omnidia 6.1).

3.6.2. Càlcul de Índex d'impacte humà (IIH)

A partir de la informació recopilada dels diferents punts de mostreig, es va calcular un índex que pretén avaluar el nivell de pressió antropogènica a la que cada punt està sotmès.

Per a calcular l'índex, es va quantificar la intensitat de diversos factors amb un valor de 0, 0,5 o 1. A continuació es va multiplicar cada valor per a tenir en compte la importància de cada factor en l'índex i es va realitzar el sumatori mitjançant la fórmula que hi ha a continuació:

$$[IIH = 3 * DEP + 2 * NUC + HUM + RAM]$$

Els factors analitzats són els següents:

- La proximitat a una depuradora (DEP)
- La presència humana (HUM)
- La proximitat a un nucli urbà (NUC)
- La presència de ramats de pastura (RAM)

Per a interpretar el valor de l'IIH, s'utilitzen els següents factors:

- -ZERO o MIN de 0 a 0,5.
- -BAIX de 0,5 a 1,75.
- -MITJÀ de 1,75 a 3,5.
- -ALT superiors a 3,5.

3.6.3. Anàlisi estadística d'ordenació

Per avaluar les diferències en la composició de la comunitat de biofilm i com s'ordenen entre sí, es va utilitzar un anàlisi no-paramètric multidimensional (NMDS) amb les dades del percentatge de biovolum de cada espècie (les 44 espècies amb major percentatge de biovolum) per examinar quines variables ambientals influïen més en la composició

de la comunitat. NMDS es basa en distàncies classificades i és molt adequat per a dades ecològiques que contenen nombrosos zeros a la base de dades. Per a realitzar l'anàlisi estadístic es va utilitzar el paquet R Vegan (Rcmdr).

4. Resultats i Discussió

4.1 Condicions ambientals

El conjunt de cursos d'aigua estudiats abasteixen un ampli ventall de condicions, rius de muntanya alta, mitja i baixa; amb un ampli rang de mineralització de les aigües; de cabal i de concentració de nutrients (Figura 4). A les zones més elevades (>700 m s.n.m) trobem rius de litologia silícica; amb baixa conductivitat (Salt de Sallent, SDS). A l'alta Garrotxa (ALTG); els punts analitzats son poc cabalosos i es troben entre 500-700 m s.n.m. A la Mitja Garrotxa (MIGG), els punts es situen per sota dels 500 m s.n.m. Al voltant de la ciutat d'Olot les masses d'aigua estudiades son silíciques i estan entre 300-500 m s.n.m. Per altra banda, el Brugent a les Planes d'Hostoles (HOST); es troba en una zona de litologia calcària. Els punts de HOST tenen elevada mineralització i concentració de fòsfor, i cabals < 0,1 m³/seg (Figura 3).

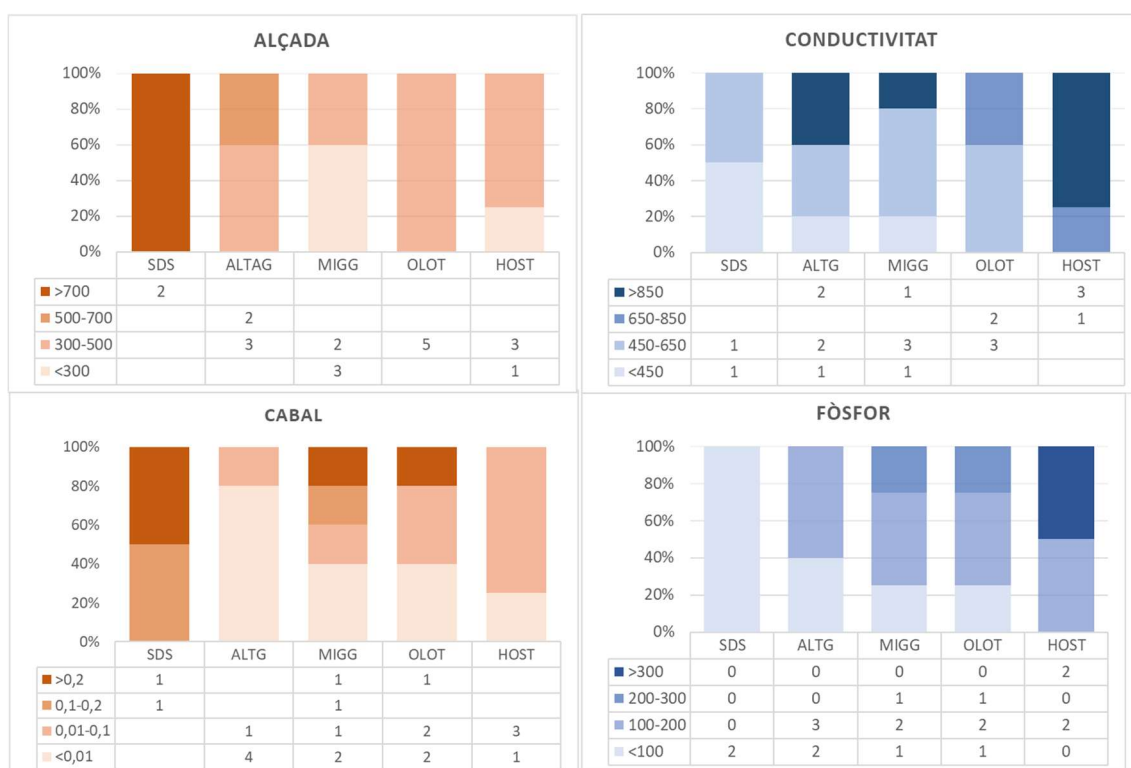


Figura 4. Agrupació dels cursos d'aigua de les cinc zones en diferents categories referents a la seva situació altitudinal (alçada en m s.n.m); la conductivitat elèctrica (en $\mu\text{S}/\text{cm}$); el cabal (en m³/seg) i la concentració de fòsfor ($\mu\text{g P-PO}_4$). La figura de barres mostra la proporció de casos (en %) i la taula inferior la seva quantitat.

4.2 Activitat humana

L'anàlisi de l'activitat humana posa en evidència el seu potencial impacte sobre l'estat de conservació dels cursos fluvials. Hi ha zones amb valors baixos o molt baixos de l'índex d'activitat humana (ALTG i SDS); valors intermitjos (OLOT); i dues zones amb valors elevats a MIGG (el Fluvià a Besalú, BES); i al riu Brugent a les Planes d'Hostoles (Figura 5).

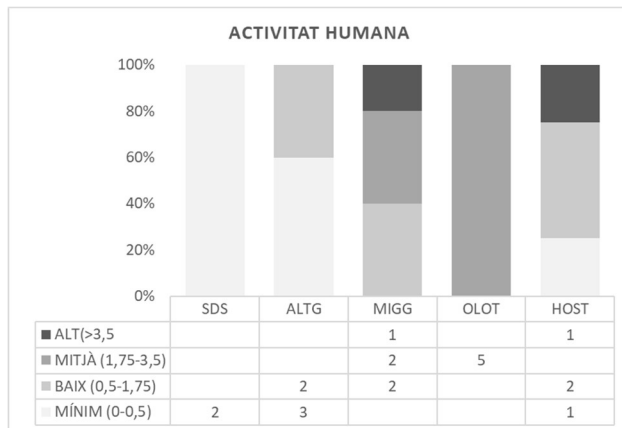


Figura 5. Agrupació dels cursos d'aigua en diferents categories referents a l'índex d'activitat humana. La figura de barres mostra la proporció (en %) de casos de cadascuna de les categories, i la taula inferior la seva quantitat.

4.3 Diatomees com a indicadores de qualitat ecològica

S'han identificat un total de 174 espècies diferents, amb valors de riquesa entre 26 (a SAD (B)) i 47 espècies a AOL (Annex 3). L'anàlisi multivariant NMDS dels 20 cursos d'aigua de la Garrotxa en base a la composició de la comunitat de diatomees, ordena els diferents inventaris al llarg de dos eixos (Figura 6). El primer eix (NMDS1), relacionat positivament amb la concentració d'oxigen, i negativament amb la cobertura arbòria. El segon eix (NMDS2), es relaciona positivament amb l'altitud; i negativament amb l'activitat humana i la conductivitat.

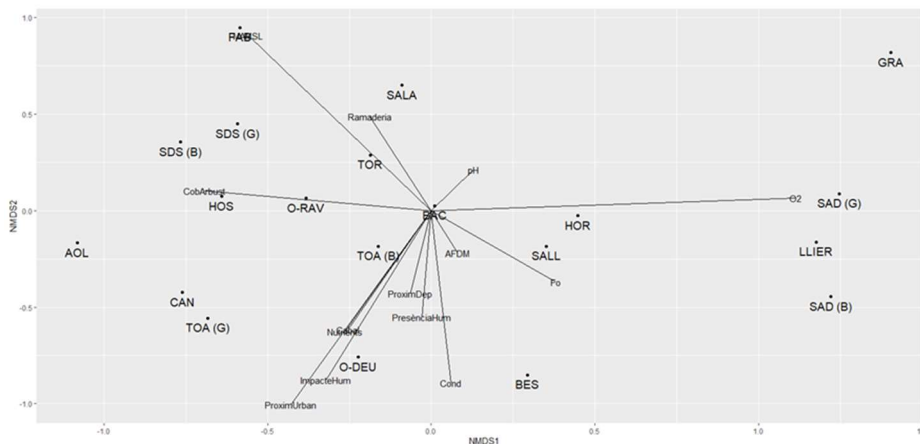


Figura 6. NMDS amb la ordenació dels 20 punts en base a les diatomees mostrant els 20 punts i les variables ambientals relacionades amb la seva ordenació.

L'anàlisi d'ordenació separa diferents zones que difereixen en la composició de la comunitat:

1. Rierols càrstics: **CAR**

A la part dreta de l'anàlisi d'ordenació (Figura 7), hi trobem Sadernes, Sales de Llierca i Can Grau (SAD (G); SAD (B); LLIER; i GRA). Aquests trams fluvials es caracteritzen per trobar-se en una zona càrstica; són cursos d'aigua amb poc cabal i nivells relativament elevats de nutrients dissolts (Annex 2). Les espècies dominants (p.e. *Cymbella lange-bertalotii* i *Delicata delicatula*) són característiques d'aigües bicarbonatades, oligotròfiques o moderadament eutròfiques (Annex 4). El punt situat a la part superior de la figura (GRA), malgrat tenir nivells baixos de nutrients dissolts, la presència *Navicula cryptocephala* (NAVCRY), podria indicar eutrofització. Aquestes comunitats tenen un nombre relativament baix d'espècies. Segons els valors de l'índex biològic IBD, la qualitat de l'aigua és molt bona (Figura 7 i Figura 8).

2. Rius i rierols calcaris de muntanya mitja: **CALmit**

A la part central de l'anàlisi d'ordenació (Figura 7), hi trobem la Torra (TOR), afluent del riu Brugent a les Planes d'Hostoles, i les rieres de Salarça, la Vall del Bac, Hortmoier i el Sallent (SALA, BAC i HOR). Aquests cursos d'aigua es caracteritzen per tenir valors de conductivitat mitjans (400-600 $\mu\text{S}/\text{cm}$) i nivells de fosfat P propers al 100 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Annex 2). Remarcar la presència de *Diploneis krammeri* (DIPKRA), espècie associada a aigües dolces oligotròfiques-mesotròfiques, generalment riques en bicarbonat de calci, i que no es troba mai en ambients eutròfics (Annex 4). Aquestes comunitats tenen un nombre relativament elevat d'espècies i de Ymax, i poca biomassa (Figura 8). Segons els valors de l'índex biològic IBD, la qualitat de l'aigua és molt bona (Annex 2).

3. Rius calcaris de muntanya alta: **CALalt**

A la part superior de l'anàlisi d'ordenació (Figura 7), hi trobem els dos punts de Salt de Sallent (SDS (G) i SDS (B)). Son ambients fluvials de muntanya alta amb poca conductivitat, oberts i amb concentració d'oxigen propera a la saturació, i baixa concentració de nutrients. Els biofilms tenen valors de biomassa relativament baixos amb valors de Ymax i de riquesa relativament elevats. Els valors de l'índex biològic IBD els atorga una qualitat moderada (Figura 8 i Annex 2).

4 Rius i recs silícics de muntanya mitja: **SIL**

A la part inferior esquerra de l'anàlisi d'ordenació (Figura 7), hi trobem els Recs de la Deu (O-DEU) i del Ravell (O-RAV), situats als Aiguamolls de la Moixina i Can Grau (CAN) i el riu Fluvià aigües amunt de la ciutat d'Olot (AOL); diversos trams del riu Brugent: La Torra (TOA B i TOA G) i el gorg de Sta. Margarida (HOS) a les Planes d'Hostoles. Trams la majoria amb poc cabal i nutrients elevats. Trobem diferenciats SALL (a la dreta del grup) i FAB (a sobre del grup). La comunitat de diatomees dominada per *Gomphonema italicum* (GOMITA), *Rhopalodia abbreviata* (RHOABB) i *Melosira varians* (MELVAR) les quals són indicadores d'eutrofització (Annex 4). Els biofilms tenen valors de biomassa, Y_{max} i de riquesa relativament elevats. Els valors de l'índex IBD els atorga una qualitat entre moderada (O-DEU, CAN, TOA B i HOS); bona (O-RAV, TOA-G i FAB); i molt bona a SALL.

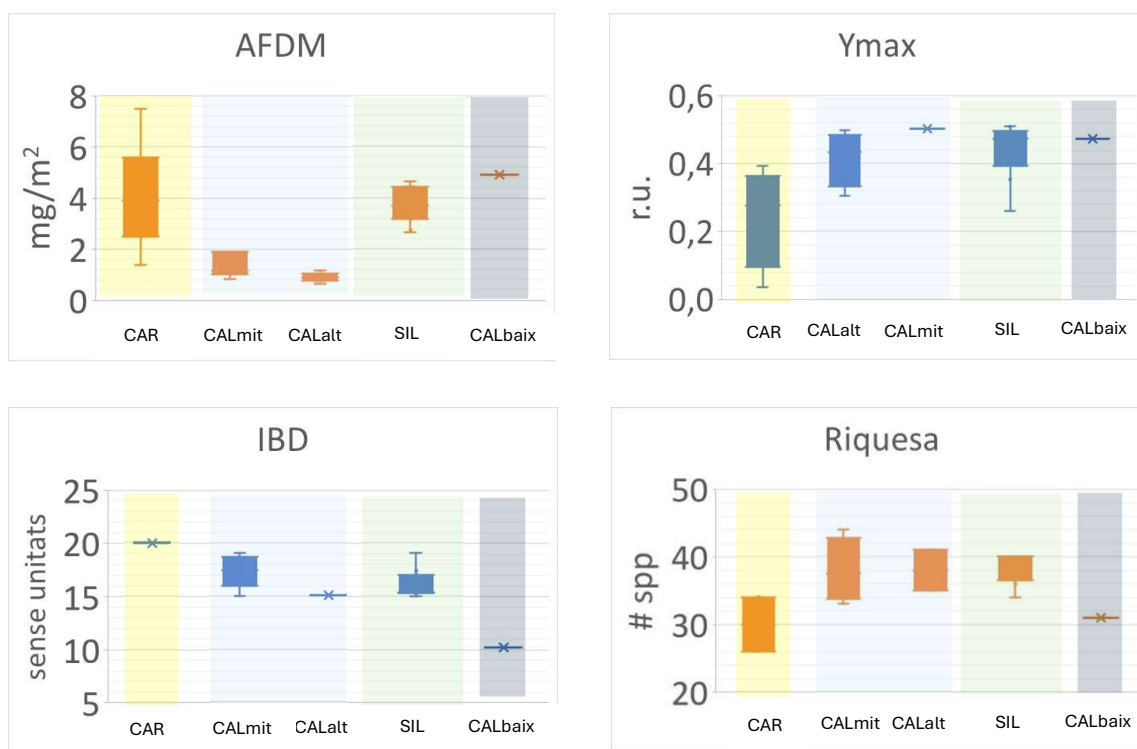


Figura 8. Mediana i rang de variació de la biomassa (AFDM); rendiment fotònic (Y_{max}); índex de biològic de qualitat (IBD) i riquesa d'espècies del biofilm epilític de les 5 comunitats. **CAR:** rius càrstics; **CALmit:** rius calcaris de muntanya mitja; **CALalt:** rius calcaris de muntanya alta; **SIL:** rius silícics; i **CALbaix:** el riu Fluvià a Besalú.

5. Rius calcaris de muntanya baixa: **CALbaix**

A l'extrem inferior del segon eix de l'anàlisi d'ordenació (Figura 7), hi trobem el riu Fluvià a Besalú (BES). Aquest tram està situat a la part baixa del riu, el seu cabal és relativament elevat, amb nivells bastant elevats de nutrients dissolts i elevada conductivitat (Annex 2). La presència de *Mastogloia smithii* (MASSIMI), és característica d'ambients amb contingut d'electròlits mitjà-alt i generalment rics en nutrients (Annex 4). Els biofilms tenen valors de biomassa i Ymax relativament elevats. En aquest tram del riu Fluvià hi trobem el valor més baix de l'index biològic IBD (Annex 2), trobant-se dins la categoria de deficient.

Figura 9. Catàleg de les espècies més influents en la ordenació dels punts, en l'anàlisi NMDS.

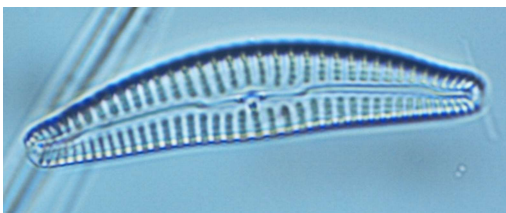
CYM LAB => *Cymbella lange-bertalotii*



CYMNEO => *Cymbella neolanceolata*



CYMVUL => *Cymbella vulgata*



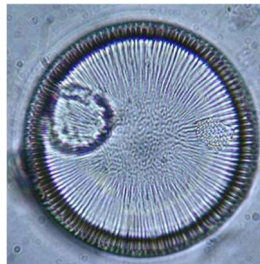
DEL DEL => *Delicata delicatula*



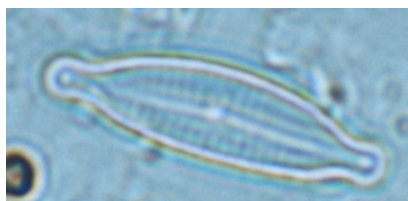
DIPKRA => *Diploneis krammeri*



ELLARE => *Ellerbeckia arenaria*



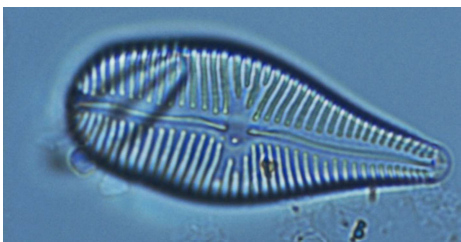
ENCMIN => *Encyonopsis minuta*



EUCFLE => *Eucoconeis flexella*



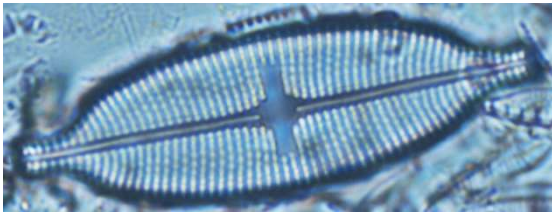
GOMITA => *Gomphonema italicum*



GOMPAR => *Gomphonema parvulum*



MASSMI => *Mastogloia smithii*



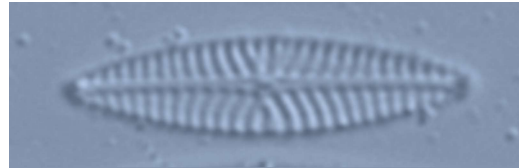
MELVAR=> *Melosira varians*



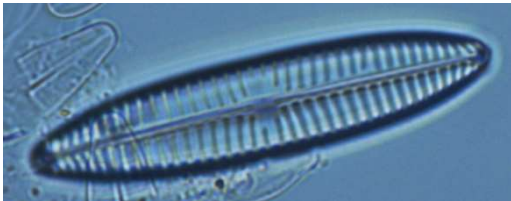
NAVCRY => *Navicula cryptocephala*



NAVCRLL => *Navicula cryptonelloides*



NAVTRIP => *Navicula tripunctata*



RHOABB => *Rhoicosphenia abbreviata*



RHOGIB => *Rhopalodia gibba*



5. Conclusions

A la Garrotxa hi ha una gran varietat de cursos d'aigua, cobrint un ampli ventall de condicions ambientals. Aquest ventall de condicions explica l'elevat nombre de d'espècies de diatomees identificades (174 espècies diferents), en cinc tipologies de comunitat:

- Comunitats de rierols càrstics amb molt bona qualitat
- Comunitats de rius calcaris de muntanya mitja amb molt bona qualitat
- Comunitats de rius calcaris de muntanya alta
- Comunitats de rius i recs silícics
- Comunitats de rius calcaris de muntanya baixa amb mala qualitat

De les cinc categories, n'hi ha dues que en les que es detecten indicis d'eutrofització. En concret al riu Fluvià a la riera de Sallent; a Can Grau i molts cursos d'aigua silícics dels rius Fluvià i Brugent. Destaca el riu Fluvià a Besalú, amb un valor dolent de l'índex biològic. Des d'una perspectiva de conservació, caldria identificar les fonts de nutrients i aplicar mesures per la seva reducció. Possibles fonts puntals, com son els efluents de les depuradores d'aigües residuals, i difoses, provinents de l'escorrentia de terrenys urbans, agrícoles o ramaders.

A nivell comparatiu trobem una major afectació a les zones silíciques, que podríem explicar per la solubilitat del fosfat en aigües pobres en bicarbonat, fent-los més vulnerables a l'eutrofització.

Per acabar, cal remarcar que l'estudi es va realitzar en un episodi de sequera, situació extrema que sol anar associada a una major concentració de nutrients i al major deteriorament de l'estat de conservació dels rius. Si més no, es tracta d'un escenari cada cop més comú i durador, pel que no podem desestimar la seva representativitat en el context del canvi global.

Aquest treball posa les bases per futurs estudis de seguiment de les masses d'aigua a la Garrotxa, imprescindibles com a font de coneixement de la seva diversitat biològica, i fonamentals per la seva conservació i restauració.

7. Bibliografia

Barral-Fraga L. (2017). Arsenic and fluvial biofilms: biogeochemistry, toxicity and biotic interactions. Tesi doctoral, Universitat de Girona. Barral-Fraga L, Morin S, Rovira MD, Urrea G, Magellan K & Guasch H. (2016). Short- term arsenic exposure reduces diatom cell size in biofilm communities. *Environ Sci Poll Res*, 23(5): 4257-4270.

Bona, F., Falasco, E., Fenoglio, S., Iorio, L. & Badino, G. (2008). Response of macroinvertebrate and diatom communities to human-induced physical alteration in mountain streams. *River Research and Applications* 24: 1068-1081.

Corcoll N. (2011). The use of pulse amplitude modulated fluorescence techniques for metal toxicity assessment in fluvial biofilms. Tesi doctoral, Universitat de Girona.

Falkowski, P. G. & Godfrey, L. V. (2008). Electrons, life and the evolution of Earth's oxygen cycle. *Philos Trans R Soc L. B Biol Sci* 363: 2705–2716 .

Flemming, H. & Wingender, J. (2010). The biofilm matrix. *Nature Reviews Microbiology* 8: 623-633.

Guasch H., Bonet B., Bonnineau C., Corcoll N., López-Doval J. & Munoz C. (2012). How to link field observations with causality? Field and experimental approaches linking chemical pollution with ecological alterations. *The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer Berlin Heidelberg. 181-218.

Guasch, H., Leira, M., Montuelle, B., Geizinger, A , Roulier, J.L., et al. (2009). Use of multivariate analyses to investigate the contribution of metal pollution to diatom species composition: search for the most appropriate cases and explanatory variables. *Hydrobiologia*, Springer. 143 - 158

Hillebrand, Helmut & Dürselen, Claus-Dieter & Kirschtel, David & Pollinger, Utsa & Zohary, Tamar. (1999). Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*. 35. 403–424. 10.1046/j.1529-8817.1999.3520403.x.

Jover, M. & Oliver, X. (2023). Catàleg dels briòfits de la Garrotxa. Catàlegs del Patrimoni Natural, 4. Delegació de la Garrotxa de la Institució Catalana d'Història Natural. Olot. ISBN: 978-84-09-55758-5.

Lange-Bertalot, H., Hofmann, G., Werum, M. & Cantonati, M. (2017). Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe. Over 800 common species used in ecological assessment. Lange-Bertalot, H. (Ed.): 908 pp. 2.

López-de Sancha, A. (2022). Conservation ecology of headwater streams: a case study from the Pyrenees. Tesi doctoral, Universitat de Girona.

Maddock, I. (1999). The importance of physical habitat assessment for evaluating riverhealth. *Freshwater Biology* 41: 373–391.

Malviya, S., Scalco, E., Audic, S., Vincent, F., Veluchamy, A., Poulain, J., Wincker, P., Iudicone, D., de Vargas, C., Bittner, L., Zingone, A., & Bowler, C. (2016). Insights into global diatom distribution and diversity in the world's ocean. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113: 1516–1525.

Margalef, R. (1983) *Limnologia*. Ediciones Omega S. A.

Oliver, X. & Font, J. (2008). *Catàleg de flora vascular de la Garrotxa. Catàlegs de patrimoni natural, 1*. Delegació de la Garrotxa de la Institució Catalana d'Història Natural ISBN 8-84-612-9926-3

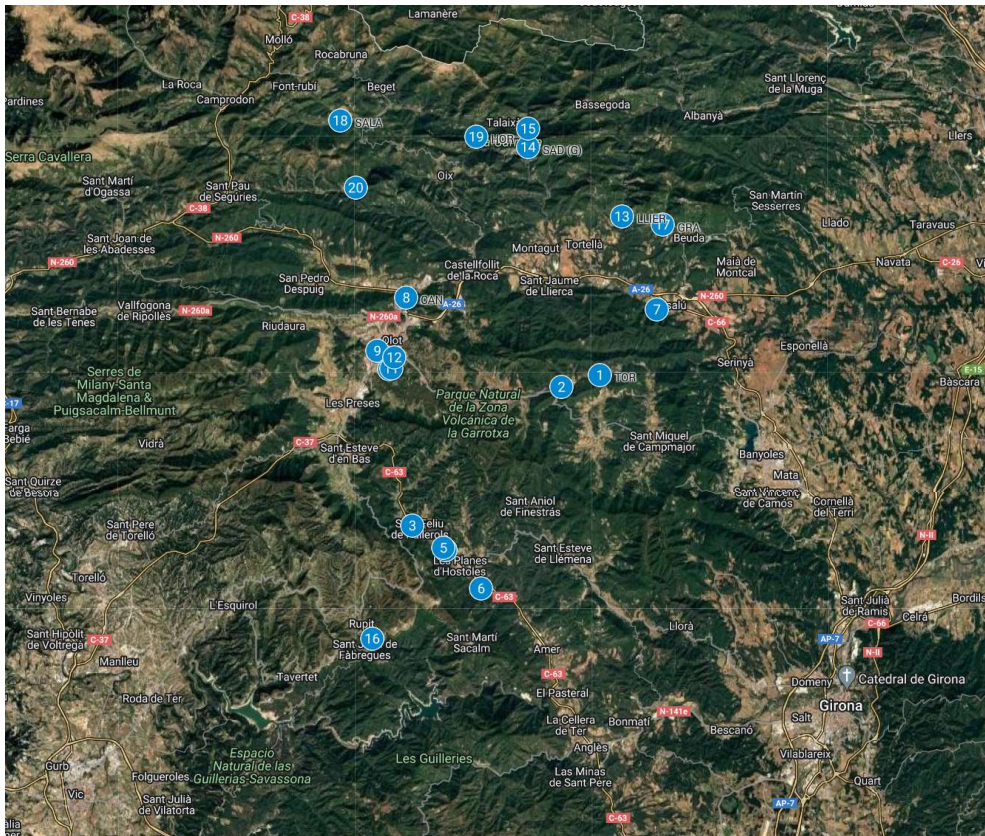
Romaní, A.M. & Sabater, S. (2001). Structure and activity of rock and sand biofilms in a Mediterranean stream. *Ecology* 82:3232-45.

Round, F. E., Crawford, R. M. & Mann, D. G. (1990) *The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, UK.

Sabater, S. (2009) *Diatoms*. Elsevier Inc. Extret de: *Encyclopedia of Inland Waters*; editor: Likens, G. E., Academic Press.

ANNEXES

Annex 1 . Mapa geogràfic



Punts de mostreig:

- | | | |
|---|---|---|
| 1 | 8 | 15 |
| El Torn (El Ser) | La Canya (Fluvià) | Sadernes (Bosc de ribera) |
| 2 | 9 | 16 |
| El Sallent (El Ser) | Olot (Fluvià) | Salt de Sallent, Riera de Sallent
(zona de bosc de ribera i zona de gorgs) |
| 3 | 10 | 17 |
| La Fàbrega, Brugent | Font de la Deu (Aiguamolls de la Moixina) | Can Grau (Rajolins) |
| 4 | 11 | 18 |
| La Torra, Brugent (zona bosc de ribera) | Rec de la Deu (Aiguamolls de la Moixina) | Riera de Salarça |
| 5 | 12 | 19 |
| La Torra, Brugent (zona gorgs) | Rec del Ravell (Aiguamolls de la Moixina) | Riera d'Hortmoier |
| 6 | 13 | 20 |
| Planes d'Hostoles, Brugent (gorg de Sta. Margarida) | Sales de Llierca (El Borró) | Riera de la Vall del Bac |
| 7 | 14 | |
| Besalú (Fluvià) | Sadernes (zona gorgs) | |

ANNEX 2. Taula descriptiva dels punts. Curs d'aigua. Marcador geogràfic: MIGG=Mitja Garrotxa; HOST=Plana d'Hostoles; Olot; ALT=Alta Garrotxa; i SDS=Salt de Sallent. Localitat. Acrònim. Geologia: CAL=Calçària; SIL=Silícia; CAR: Carstíca. Altitud (en m. s. n. m.). Variables físico-químiques: pH; Oxigen dissolt (en % saturació i en mg/L); Temp=temperatura de l'aigua (en °C); Conductivitat (en µS/cm). Cabal (en m³/seg). Nutrients dissolts: amoni i fòsfor del fosfat (en µg/L). Variables del biofilm: AFDM (en mg/cm²); Fo=fluorescència basal (en unitat de fluorescència); Ymax (s.u.). Índexs de diversitat de la comunitat de diatomees: Índex de Shannon; Índex de Simpson i Riquesa. Índex de diatomees segons de Directiva Marc de l'Aigua: Molt bo (blau); Bo (verd); Moderat (groc); Deficient (carbassa).

CURS D'AIGUA	SER			BRUGENT			FLUVIÀ			MOIXINA			BO-RRÒ	LLIERCA		Riera de SALLENT		Riera d'HORT-MOIER	Riera RAJO-LINS	Riera VALL-BAC	Riera SALAR-ÇA
	MIGG	Fà-brega	Torra	Hostoles	La Canya	Olot	Rec Deu	Rec Ravell	Sales de Llierca	Sademes	Salt de Sallent	SDS		ALTG	MIGG	ALTG	MIGG	ALTG	MIGG	ALTG	
Localitat	Torra	TOA (B)	TOA (G)	HOS	CAN	AOL	DEU	RAV	LLIER	SAD (B)	SAD (G)	SDS (B)	SDS (G)	HOR	GRA	BAC	SALA	CAL	CAL	CAL	
Altit	260	320	480	400	400	260	140	340	440	440	440	440	260	360	340	800	760	380	340	580	560
pH	8,27	8,43	7,91	8,30	8,23	8,44	8,44	8,45	7,66	7,67	8,01	8,00	8,09	8,18	8,28	8,23	8,09	8,32	8,23	8,23	8,43
O ₂ %	77	96	82	102	107	101	114	96	67	94	57	139	99	109	97	96	127	121	97	103	103
O ₂ mg/L	6,45	8,46	7,84	9,69	10,14	8,42	8,96	8,75	5,68	6,81	9,1	10,88	9,2	9,61	8,36	8,16	10,4	10,19	8,3	9,53	9,53
Temp	23	19,7	15,3	15,9	16	23	26,9	18,4	14,2	12,6	15,3	26,4	16,9	19,3	16,3	16,2	23,2	22,1	19,9	16	16
Cond	579	581	735	948	924	861	1206	525	664	573	741	500	1031	889	433	454	418	372	487	503	503
Cabal	0,138	0,052	0,003	0,0131	0,045	0,036	0,599	0,234	0,035	0,006	0,056	0,0003	0,005	0,003	0,297	0,145	0,002	0,0007	0,006	0,011	0,011
Cob	60	85	70	70	15	50	10	65	60	85	20	20	40	15	70	20	60	10	80	70	70
NH ₄	82	104	119	287	264	156	156	166	204	063	172	204	130	117	103	101	96	97	81	133	133
P-PO ₄	109	139	159	391	356	211	211	225	277	083	233	277	175	158	137	136	128	130	108	108	180
AFDM	0,830	3,157	4,644	2,654	3,972	3,689	4,908	4,425	3,626	2,714	9,848	7,485	1,404	4,927	1,187	0,645	1,311	2,863	1,077	1,077	3,676
Fo	1450	850	750	956	2845	850	1227	880	1309	854	439	2359	2788	2788	1647	2969	1952	530	1576	1250	1250
Ymax	0,420	0,354	0,483	0,474	m.v.	0,433	0,474	0,482	0,511	0,431	0,510	m.v.	m.v.	m.v.	m.v.	m.v.	0,303	0,036	0,444	0,496	0,496
Shannon	3,09	3,01	2,78	3,18	3,00	3,07	2,72	3,07	3,18	3,18	3,17	2,69	2,74	2,90	3,10	2,99	2,88	2,91	3,12	2,75	2,75
Simpson	13,05	14,91	8,87	16,03	14,27	16,31	9,98	14,01	15,26	19,28	17,73	11,69	12,68	12,90	14,84	13,63	12,51	14,43	16,98	10,35	10,35
Riquesa	44	40	36	40	37	37	31	40	47	34	40	26	26	34	41	35	36	34	39	33	33
IBD	16,3	19,1	16,6	15,0	17,4	15,3	10,2	15,2	15,4	15,3	17	20	20	20	15,1	15,1	19,8	15,0	19,1	18,6	18,6

Annex 3 Inventari d'espècies identificades

<i>Achnanthydium caledonicum</i>	<i>Cymbopleura amphicephala</i>	<i>Gomphonema capitatum</i>
<i>Achnanthydium exiguum</i>	<i>Cymbopleura austriaca</i>	<i>Gomphonema elegantissimum</i>
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	<i>Delicata delicatula</i>	<i>Gomphonema exilissimum</i>
<i>Achnanthydium rosenstockii</i>	<i>Denticula subtilis</i>	<i>Gomphonema italicum</i>
<i>Achnanthydium staubianum</i>	<i>Diademsis confervacea</i>	<i>Gomphonema lateripunctatum</i>
<i>Achnanthydium trinodis</i>	<i>Diatoma vulgare</i>	<i>Gomphonema minusculum</i>
<i>Achnanthydium pyrenaicum</i>	<i>Diploneis calcicolafrequens</i>	<i>Gomphonema occultum</i>
<i>Amphora copulata</i>	<i>Diploneis krammeri</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>
<i>Amphora indistincta</i>	<i>Diploneis oblongelopsis</i>	<i>Gomphonema saprophilum</i>
<i>Amphora ovalis</i>	<i>Diploneis pratermissa</i>	<i>Gomphonema vibrio</i>
<i>Amphora pediculus</i>	<i>Diploneis separanda</i>	<i>Gomphosphenia holmquistii</i>
<i>Bacillaria paxillifera</i>	<i>Ellerbeckia arenaria</i>	<i>Gyrosigma acuminatum</i>
<i>Brachysira vitrea</i>	<i>Encyonema caespitosum</i>	<i>Halamphora veneta</i>
<i>Caloneis lancettula</i>	<i>Encyonema lange-bertalotii</i>	<i>Hantzschia amphioxys</i>
<i>Caloneis silicula</i>	<i>Encyonema leibleinii</i>	<i>Hippodonta capitata</i>
<i>Campylodiscus hibernicus</i>	<i>Encyonema minutum</i>	<i>Kolbesia ploenensis</i>
<i>Cocconeis euglypta</i>	<i>Encyonema silesiacum</i>	<i>Lemnicola hungarica</i>
<i>Cocconeis lineata</i>	<i>Encyonema ventricosum</i>	<i>Luticola goeppertiana</i>
<i>Cocconeis pediculus</i>	<i>Encyonema vulgare</i>	<i>Mastogloia smithii</i>
<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Encyonopsis kramerii</i>	<i>Melosira varians</i>
<i>Craticula buderi</i>	<i>Encyonopsis minuta</i>	<i>Meridion constrictum</i>
<i>Craticula cuspidata</i>	<i>Epithemia goeppertiana</i>	<i>Navicula antonii</i>
<i>Crenotia thermalis</i>	<i>Epithemia smithii</i>	<i>Navicula capitatoradiata</i>
<i>Cyclostephanos dubius</i>	<i>Eucoconeis flexella</i>	<i>Navicula caterva</i>
<i>Cymatopleura elliptica</i>	<i>Eunotia arcubus</i>	<i>Navicula cryptocephala</i>
<i>Cymatopleura solea</i>	<i>Fallacia lenzii</i>	<i>Navicula cryptotenella</i>
<i>Cymbella affinis</i>	<i>Fragilaria amphicephaloides</i>	<i>Navicula cryptotenelloides</i>
<i>Cymbella cymbiformis</i>	<i>Fragilaria dilatata</i>	<i>Navicula kotschy</i>
<i>Cymbella excisiformis</i>	<i>Fragilaria gracilis</i>	<i>Navicula leptostriata</i>
<i>Cymbella hustedtii</i>	<i>Fragilaria mesolepta</i>	<i>Navicula oblonga</i>
<i>Cymbella laevi</i>	<i>Fragilaria perdelicatissima</i>	<i>Navicula radiosa</i>
<i>Cymbella lancettula</i>	<i>Fragilaria rumpens</i>	<i>Navicula reinhardtii</i>
<i>Cymbella lange-bertalotii</i>	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	<i>Navicula salinarum</i>
<i>Cymbella neolanceolata</i>	<i>Frustularia vulgare</i>	<i>Navicula subalpina</i>
<i>Cymbella subhelvetica</i>	<i>Gomphonema acuminatum</i>	<i>Navicula tripunctata</i>
<i>Cymbella tumida</i>	<i>Gomphonema amoenum</i>	<i>Navicula trophicatrix</i>
<i>Cymbella vulgata</i>	<i>Gomphonema augur</i>	<i>Neidium longiceps</i>

<i>Nitzschia alpina</i>	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>
<i>Nitzschia alpinobacillum</i>	<i>Rhopalodia gibba</i>
<i>Nitzschia amphibia</i>	<i>Sellaphora absoluta</i>
<i>Nitzschia bulnheimiana</i>	<i>Sellaphora mutata</i>
<i>Nitzschia dealpina</i>	<i>Sellaphora pupula</i>
<i>Nitzschia denticula</i>	<i>Stauroneis reichardtii</i>
<i>Nitzschia dissipata</i>	<i>Stauroneis separanda</i>
<i>Nitzschia dubia</i>	<i>Stauroneis smithii</i>
<i>Nitzschia fonticola</i>	<i>Stausosira binodis</i>
<i>Nitzschia fossilis</i>	<i>Stausosira subsalina</i>
<i>Nitzschia hamburgensis</i>	<i>Surirella amphioxys</i>
<i>Nitzschia lacuum</i>	<i>Surirella biseriata</i>
<i>Nitzschia linearis</i>	<i>Surirella brebissonii</i>
<i>Nitzschia palea</i>	<i>Surirella helvetica</i>
<i>Nitzschia paleacea</i>	<i>Surirella ovalis</i>
<i>Nitzschia pura</i>	<i>Surirella visurgis</i>
<i>Nitzschia recta</i>	<i>Tabellaria fasciculata</i>
<i>Nitzschia sigmoidea</i>	<i>Tabularia tabulata</i>
<i>Nitzschia solgensis</i>	<i>Tryblionella angustata</i>
<i>Nitzschia tabellaria</i>	<i>Tryblionella angustatula</i>
<i>Nitzschia tenuis</i>	<i>Tryblionella apiculata</i>
<i>Nitzschia vermicularis</i>	<i>Tryblionella brunoii</i>
<i>Odontidium mesodons</i>	<i>Tryblionella calida</i>
<i>Pinnularia gibba</i>	<i>Tryblionella levidensis</i>
<i>Pinnularia rupestris</i>	<i>Ulnaria ulna</i>
<i>Pinnularia subgibba</i>	
<i>Pinnularia viridiformis</i>	
<i>Pinnularia viridis</i>	
<i>Planothidium delicatulum</i>	
<i>Planothidium frequentissimum</i>	
<i>Planothidium lanceolatum</i>	
<i>Planothidium minutissimum</i>	
<i>Platessa conspicua</i>	
<i>Psammothidium ventrale</i>	
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	
<i>Pseudostaurosira parasitica</i>	
<i>Pseudostaurosira robusta</i>	
<i>Reimeria uniseriata</i>	

Annex 4 Autoecologia de les espècies de diatomees més influents en l'anàlisi NMDS

-Delicata delicatula: Associada a hàbitats oligotròfics rics en bicarbonat de calci. Indicador de molt bona qualitat ecològica.

Cymbella lange-bertalotii: Associada a hàbitats d'aigua dolça poc pertorbats, rics en bicarbonat de calci, oligo a moderadament eutròfics. Oligosaprobis amb un contingut moderat d'electròlits.

Cymbella vulgarata: Associada a hàbitats d'aigua dolça amb un contingut d'electròlits baix-mitjà.

Encynopsis minuta: Preferències ecològiques difícils d'especificar degut a que abans no es diferenciava d'altres espècies dins del complex *Cymbella microcephala*. Tot i així, sembla estar associada a hàbitats relativament pristins.

Navicula tripunctata: Associada a tots els tipus d'aigües corrents i llacs amb nivell tròfic mitjà-alt, tolerància sapròbica fins al nivell Beta-alfa.

Navicula cryptocephala: Àmplia distribució ecològica; particularment en hàbitats d'aigua dolça alcalins, hàbitats eutròfics i politròfics, tolerants a nivells sapròbics superiors al nivell Beta-alfa, tot i que també en rierols amb nivells baixos d'electròlits (encara que rarament amb gran nombre).

Eucocconeis flexella: Associada a hàbitats d'aigua dolça oligotròfics, rics en bicarbonat de calci. Present en condicions mesotròfiques només esporàdicament, per tant, indicador de molt bona qualitat ecològica.

Rhopalodia gibba: Associada a llacs alcalins i aigua corrent, generalment es solen trobar en nombres reduïts.

Mastogloia smithii: Associada principalment a aigües salobres, però també pot trobar-se en hàbitats d'aigua dolça amb contingut d'electròlits mitjà-alt i generalment rics en nutrients.

Ellerbeckia arenaria: Associada a hàbitats subaeris. Sediments sorrencs d'hàbitats oligotròfics d'aigua dolça.

Melosira varians: Associada a hàbitats d'aigua dolça moderadament rics en electròlits amb nivells tròfics elevats. Àmpliament distribuït en el bentos d'aigües corrents

Gomphonema parvulum: Associada a hàbitats d'aigua dolça oligosaprobis i mesosaprobis, sovint independent de l'estat tròfic.

Navicula cryptonelloides: Associada a llacs i rius rics en bicarbonat de calci. Distribució encara poc coneguda degut a que abans no es distingia de *N. cryptotenella*.

Cymbella neolanceolata: Associada a hàbitats d'aigua dolça oligo a moderadament eutròfics sobre substrats carbonatats amb contingut moderat d'electròlits.

Diploneis krammeri: Associada a aigües dolces oligotròfiques-mesotròfiques, generament riques en bicarbonat de calci, mai presents en ambients d'eutròfia.

Gomphonema italicum: Associada a hàbitats d'aigua dolça de meso- a eutròfics, però també en llacs que van recuperar un estatus oligotròfics degut a projectes de restauració. Distribució encara poc coneguda degut a que abans no es distingia de *G. Truncatum*.

Rhoicosphenia abbreviata: Una de les espècies més freqüents en hàbitats alcalins d'aigua dolça amb concentracions de nutrients de moderadament altes a altes. Particularment freqüent en aigües corrents naturalment riques en electròlits i/o salinitzades. Tolerant a nivells sapròbics fins a Beta-alfa-mesosapròbi.