

L'hàbitat hidràulic i els trets biològics dels insectes aquàtics a la Riera de Santa Fe (Montseny)

Maria Soria Extremera (2013). Departament d'Ecologia, Universitat de Barcelona.

Tutora: Núria Bonada

Data entrega: 4 de setembre del 2013

Grau de Ciències Ambientals, UB

ÍNDEX:

ABSTRACT / RESUM.....	2
INTRODUCCIÓ.....	3
Objectiu general del projecte	
Hipòtesis	
METODOLOGIA I MATERIAL EMPRAT.....	7
Parc Natural del Montseny	
Zona d'estudi: Riera de Santa Fe	
Obtenció i separació de mostres	
Anàlisi estadístic	
RESULTATS.....	15
Paràmetres fisicoquímics i geomorfològics del tram de la Riera de Santa Fe.	
Composició taxonòmica (estructura)	
Composició dels trets biològics (funció)	
Hemisferis FST vs mides dels 5 gèneres escollits	
DISCUSSIÓ.....	27
CONCLUSIONS.....	30
BIBLIOGRAFIA.....	31
ANNEX.....	34

ABSTRACT:

Physical characteristics of flow are the most important environmental factor governing lotic ecosystems. In particular, the hydraulic habitat, determines the distribution of benthic organisms, such as macroinvertebrates. These, play an important role in lotic ecosystems, as fish prey and processors of organic matter. Therefore, it is essential to understand their hydraulic preferences and habitats. This study analyzes how hydraulic habitat determines the structure and function of macroinvertebrates and whether there is a variation in the hydraulic preference across their ontogeny.

Hydraulic preferences and corresponding adaptations of their biological features of 29 families of macroinvertebrates collected in a reach of the Riera de Santa Fe (Montseny, Catalonia) were examined using Fliesswasserstammtisch (FST) hemispheres as hydraulic parameters and a Surber net. Standard FST hemispheres of identical size and surface but different densities were exposed on a horizontal plate on the benthos. This method is an easily applicable and integrates indicator of key hydraulic characteristics. Then, the preferences of eight genera of 5 families found were studied: *Amphinemura*, *Nemoura*, *Siphonoperla* and *Leuctra* (Plecoptera), and *Habroleptoides*, *Rhithrogena*, *Ecdyonurus* and *Epeorus* (Ephemeroptera). Statistical analysis and data processing was carried out with the programs Excel and Rstudio.

Our results (1) confirm that hydraulic differences determine richness, diversity, structure and function of macroinvertebrate communities, (2) provide support to the River Habitat Templet, because of the existence a close relationship between hydraulic conditions and biological traits of organism who live in specific FST hemispheres and (3) the ontogeny also plays an important role in macroinvertebrates distribution that is related to the distribution of the feeding source and the presence of adaptations to avoid being drift.

RESUM:

Les característiques físiques del flux d'un ecosistema fluvial, i en particular l'hàbitat hidràulic, són el factor ambiental més important que determina la distribució dels organismes bentònics, com ara els macroinvertebrats. Aquests tenen un paper important en l'ecosistema fluvial com aliment pels peixos i processadors de matèria orgànica, així que conèixer les seves preferències hidràuliques i d'hàbitats és vital. És per això que en aquest estudi s'analitza com l'hàbitat hidràulic determina l'estructura i funció dels macroinvertebrats i si hi ha variació de les preferències hidràuliques al llarg de la seva ontogènia.

Concretament, s'observen les preferències hidràuliques i les corresponents adaptacions dels seus trets biològics de 29 famílies de macroinvertebrats recollides en la Riera de Santa Fe (Montseny, Catalunya) utilitzant mesures d'hemisferis Fliesswasserstammtisch (FST) com a paràmetres hidràulics i la xarxa Surber per mostrejar-los. Els hemisferis FST estàndards de mida i superfície idèntica, però diferents densitats, van ser exposats en un pla horitzontal a la part inferior de la riera. Aquest mètode és un indicador de fàcil aplicació i integra les característiques hidràuliques principals. Posteriorment, també es varen analitzar les preferències de 8 gèneres de 5 de les famílies trobades en funció de la mida: *Amphinemura*, *Nemoura*, *Siphonoperla* i *Leuctra* (Plecoptera) i *Habroleptoides*, *Rhithrogena*, *Ecdyonurus* i *Epeorus* (Ephemeroptera). L'anàlisi estadístic i el tractament de les dades s'ha efectuat amb els programes Excel i Rstudio.

Els nostres resultats (1) confirmen que els diferents hàbitats hidràulics d'un tram determinen la riquesa, diversitat, estructura i funció de les comunitats de macroinvertebrats, (2) donen suport a la teoria del "River Habitat Templet", ja que existeix una estreta relació entre les condicions hidràuliques i els trets biològics dels organismes (adaptacions) que viuen en un hemisferi FST determinat i (3) la ontogènia també té un paper clau en la distribució dels macroinvertebrats i està lligat a la distribució del recurs i a la presència d'adaptacions per evitar ser arrossegats.

INTRODUCCIÓ

En un riu o riera, els processos abiòtics (dinàmica fluvial) són més importants que els biòtics, de manera que el flux és el vector organitzador horitzontal de l'espai (velocitat, tipus i heterogeneïtat de substrat, etc) (Allan, 1995).

Al mateix temps, les característiques físiques del flux ("stream hydraulics") i en particular l'hàbitat hidràulic, influencien de manera notable als organismes bentònics a escala mundial (Statzner & Higler, 1986; Statzner, 1988). Això és degut a què l'hàbitat hidràulic és el responsable de l'arrossegament d'organismes (deriva) aigües avall i per tant ha actuat com a pressió de selecció que ha permès l'aparició d'adaptacions per evitar l'arrossegament (Allan, 1995).

Entre els organismes bentònics, els macroinvertebrats representen un grup molt divers i inclouen grups taxonòmics com els insectes, els turbel·laris, els mol·luscs, els anèlids, els crustacis i els hidracarins (Allan, 1995).

Els macroinvertebrats juguen un paper clau com a aliment pels peixos i processadors de matèria orgànica pel que, conèixer les seves preferències hidràuliques i d'hàbitats és vital per entendre el funcionament de l'ecosistema fluvial (Sagnes et al., 2008).

Segons la teoria de "river habitat templet" existeix una estreta relació entre les condicions ambientals i els trets biològics dels organismes (adaptacions) que viuen en un hàbitat determinat (Townsend et al., 1994).

Per tant, si l'hàbitat canvia (per exemple, incrementant o disminuint la velocitat) hauríem de trobar organismes amb adaptacions específiques a les noves condicions ambientals. En aquest sentit, els trets biològics es poden utilitzar per predir canvis en la comunitat en gradients ambientals (naturals o antròpics) (Statzner et al., 2005).

No obstant, les adaptacions a una única condició ambiental poden ser múltiples, el que s'anomena "equivalència ecològica" ("ecological equivalence") i que, en principi, correspon al que actualment es coneix com a "compensacions entre els trets".

Per un altre banda, el número d'espècies s'incrementa amb la diversitat de l'hàbitat i els trets biològics de les espècies en una comunitat esdevenen més similars si viuen en hàbitats amb condicions extremes (Statzner et al., 2001).

Pel que fa als macroinvertebrats, es coneix que algunes espècies viuen en àrees amb limitacions hidràuliques baixes, mentre que altres colonitzen les zones amb flux ràpid. Aquestes diferències poden ser provocades per adaptacions a l'alimentació, la

demanda d'oxigen, les interaccions biòtiques, etc, és a dir, relacionat amb els trets biològics (Allan, 1995).

A més, és probable que aquestes preferències d'hàbitat hidràulic dels macroinvertebrats canviïn durant el creixement. De fet, Statzner i Borchardt (1994) van mostrar que l'augment de la longitud del cos durant el desenvolupament implicava que els organismes aquàtics havien d'estar successivament en diferents hàbitats físics. Així, algunes espècies realitzen canvis graduals des dels hàbitats d'altres velocitats fins la zona riberenca abans de sortir de l'aigua i/o canvien la seva dieta durant el seu creixement, fet que implica canvis en el microhàbitat (Sagnes et al., 2008).

Identificar i caracteritzar les comunitats d'invertebrats pels seus trets biològics ens permet doncs, obtenir informació de tipus funcional, utilitzar-los en estudis a diferents escales espacials i establir hipòtesis simples que ens permetin predir canvis en les comunitats dels macroinvertebrats degut a canvis en l'ambient (Bonada et al, 2006).

Objectiu general del projecte:

Estudiar la relació entre l'hàbitat hidràulic d'un tram de la Riera de Santa Fe (Montseny, Catalunya) i la composició estructural i funcional dels macroinvertebrats aquàtics que hi habiten.

En concret, es tracta d'analitzar com les preferències hidràuliques canvien entre famílies i al llarg de l'ontogènia de determinats gèneres sotmesos a tres intensitats o condicions hidràuliques (mesurades amb hemisferis de "Fließwassertammtisch" o FST): alta (hemisferis A), mitjana (hemisferis M) i baixa (hemisferis B).

Com a estructura, s'entén la composició taxonòmica (en el nostre cas, majoritàriament es tracta de famílies de macroinvertebrats) mentre que com a funció s'entén la composició de trets biològics relacionats amb les funcions de l'ecosistema fluvial.

Així, per exemple, els organismes trituradors ens indiquen processos de descomposició de fullaraca, mentre que la mida corporal és indicadora de la biomassa.

Per tal d'assolir aquest objectiu general s'ha necessitat:

- Establir hipòtesis sobre la possible diferenciació estructural i funcional dels macroinvertebrats segons l'hàbitat hidràulic.

- Familiaritzar-se amb els mètodes de mostreig de macroinvertebrats aquàtics i l'ús d'un equip especial que ajuda a determinar les condicions hidràuliques de les diferents zones del riu on es prendran les mostres (hemisferis de "Fließwassertammtisch" o FST).
- Emprar claus taxonòmiques per identificar els macroinvertebrats recol·lectats, així com lupes per prendre les mesures desitjades.
- Obtenir informació de trets biològics que indiquin directa o indirectament funcions ecològiques.
- Utilitzar les eines estadístiques, informàtiques i bibliogràfiques necessàries per a la execució del projecte.
- Aplicar conceptes i mètodes relacionats amb altres assignatures del Grau d'Ambientals.

Hipòtesis:

Referent a la riquesa d'espècies i a la diversitat (estructural i funcional), esperaríem observar valors més alts en hemisferis M que en hemisferis A o B, per la presència de taxons típics de A i de B en M.

Pel que fa a la composició taxonòmica i de trets biològics, esperaríem trobar una diferenciació entre els diferents hàbitats hidràulics, ja que aquesta és una variable important en els rius (Statzner & Higler, 1986; Statzner, 1988). Així, zones amb hemisferis A haurien de tenir una composició de famílies i de trets biològics diferent a zones amb hemisferis M o B.

Pel que fa als trets biològics en particular, esperaríem trobar una comunitat d'organismes adaptats a la corrent en zones amb hemisferis A, evitant-la o beneficiant-se. Per exemple, esperaríem trobar macroinvertebrats amb formes planes i amb ganxos que evitarien ser arrossegats aigües avall, així com macroinvertebrats que s'alimenten de perífiton o filtradors de material en suspensió per ser aquest material el més dominant en aquestes condicions (Allan, 1995).

En canvi, en les mostres amb hemisferis B esperaríem trobar una comunitat d'organismes adaptats a condicions sense corrent. Per exemple, hi podrien predominar macroinvertebrats amb forma cilíndrica (no els cal adherir-se per

contrastar la corrent), així com aquells que s'alimenten de fulles, ja que aquestes s'acumulen en les zones amb poca velocitat o nul·la (Allan, 1995).

Finalment, s'espera trobar una diferenciació respecte les mides (indicadora de l'ontogènia) en els gèneres seleccionats en funció del seu tipus d'alimentació (*Amphinemura*, *Nemoura*, *Siphonoperla*, *Leuctra*, *Habroleptoides*, *Rhithrogena*, *Ecdyonurus* i *Epeorus*).

Així, per exemple, les mides grans dels gèneres que s'alimenten de perifiton haurien de ser més abundants en hemisferis A, mentre que les mides petites podrien ser més abundants en hemisferis M o B ja sigui perquè són més susceptibles de ser arrossegades pel corrent com perquè es vegin desplaçades per les mides grans cap a zones més desfavorables pel que fa als recursos.

El contrari podria passar en el cas dels organismes que s'alimenten de fullaraca. Mides més gran haurien de ser abundants en hemisferis B que en A, mentre que les mides petites podrien també ser-ho en B si es veuen desplaçades per mides grans.

METODOLOGIA I MATERIAL EMPRAT

Parc Natural del Montseny:

El Parc Natural del Montseny va ser declarat per la UNESCO (programa MAB) com a reserva de la biosfera l'any 1978. A partir del 2006, i d'acord amb la decisió de la Comissió Europea 200/613/CE del 19 de juliol del 2006, va ser declarat lloc d'importància comunitària de la regió biogeogràfica mediterrània, amb la qual cosa va entrar a formar part de la *XARXA NATURA 2000*.

El *Pla especial de protecció* del medi físic i el paisatge del Parc Natural del Montseny estableix que un dels objectius és la conservació de la diversitat biològica i dels processos ecològics, així com l'establiment de directrius per garantir-ne la conservació (Terradas, 2007).

Zona d'estudi: Riera de Santa Fe:

La Riera de Santa Fe correspon a un afluent de segon ordre de la conca de la Tordera i està situada dins del Parc Natural del Montseny, al nord-est de la Península Ibèrica (Figura 1) i aproximadament a 50 km al nord de Barcelona. La conca té una geologia silícica i presenta una cobertura vegetal dominada per *Fagus sylvatica* en elevacions més baixes i *Abies alba* en les més altes (Argerich et al, 2008).

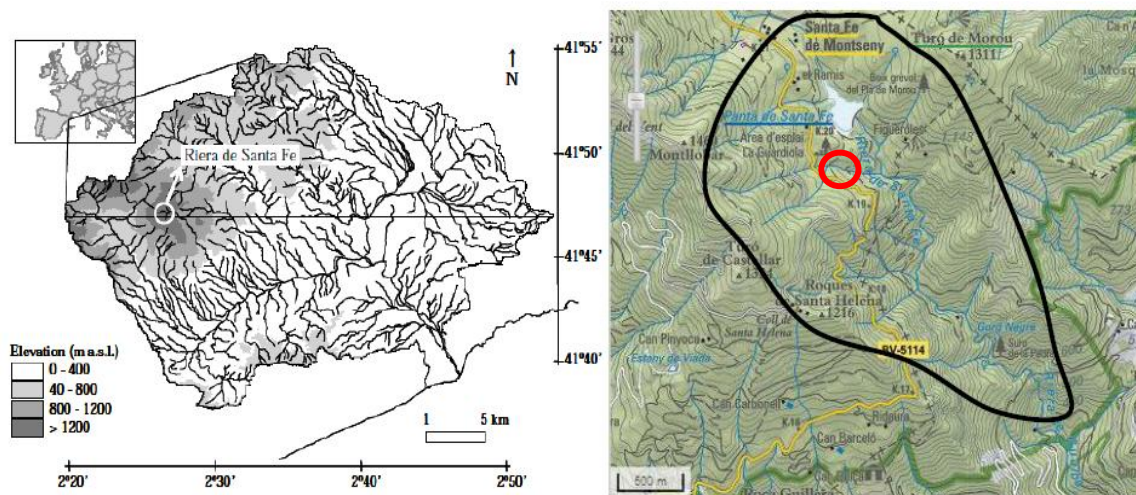


Figura 1: Mapes amb la situació geogràfica de la conca de la Riera de Santa Fe (Montseny) i la seva conca de drenatge. Argerich et al. (2008) (esquerra) i de l'Institut Cartogràfic de Catalunya o ICC (www.icc.es) (dreta). En vermell mostra el punt de mostratge de l'estudi.

La riera drena una conca de 2.15 km i té una mitjana anual de precipitacions de 1200mm (Figura 1). El cabal mitjà és de 16.2 l/s i permanent (Argerich et al, 2008). Durant les crescudes, que es produeixen sobretot durant la primavera i la tardor, la

descàrrega de la riera pot augmentar en més de dos ordres de magnitud (Argerich et al., 2008).

Obtenció i separació de mostres

El mostratge per a l'obtenció de mostres de macroinvertebrats es va realitzar el 17 de gener del 2013 en un tram de 75m de la Riera de Santa Fe ubicat a les coordenades E(X)456498m-N(Y)4623498m UTM 31N (Figura 1). En el moment del mostratge d'aquest tram, al tractar-se d'una zona de capçalera o de producció, la riera no era gaire ample ni profunda, i predominava la deposició de materials de forma escalonada gràcies a l'alta potència hidrològica, de manera que els més grollers quedaven retinguts a les parts més altes i els més fins són transportats aigües avall. Degut a l'acumulació de materials es produeix un relleu al llit de la riera consistent en ràpids i basses que es van intercalant (Figura 2).

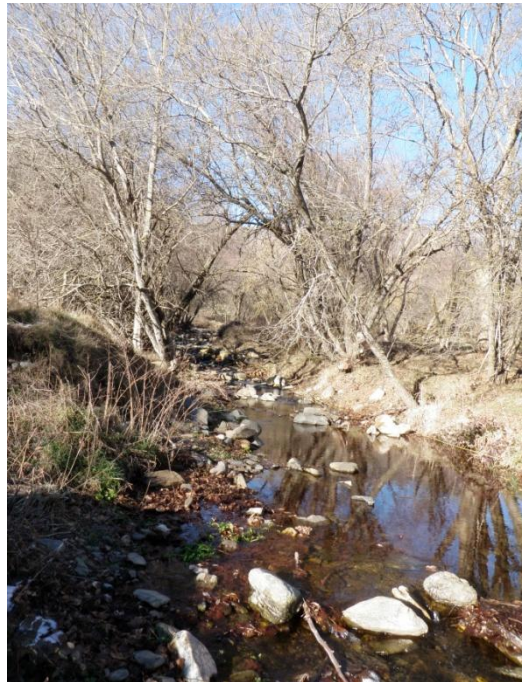


Figura 2: Fotografia del tram de la Riera de Santa Fe el dia del mostratge.

Paràmetres fisicoquímics i geomorfològics:

La geomorfologia fluvial fa referència a la forma que resulta de l'acció de l'aigua i de les partícules que transporta un ecosistema fluvial (Munro, 2010). En particular descriu la velocitat, profunditat i substrat del riu, que formen l'ambient físic en el qual es desenvolupen els organismes fluvials. Per tal de determinar la geomorfologia del nostre tram de mostratge, aquest es va dividir en 16 transsectes equidistants i, per cadascun, es va mesurar l'amplada total i la granulometria i la profunditat cada 30 cm

(Taula 2B de l'Annex). El material emprat consistia en un regle de 1.5 m, un granulòmetre (una placa de plàstic amb 9 orificis de mida estàndard per on es fan passar les pedres i còdols que volem quantificar, Figura 3) i una cinta mètrica (a més de la cinta posada per indicar els 75 m del tram de la riera a mostrejar).



Figura 3: Granulòmetre emprat per quantificar la granulometria dels 16 transsectes i els 9 punts de mostreig. Les mesures exactes dels diferents orificis s'exposen a la Taula 2B de l'Annex.

A continuació, es va mesurar el cabal a partir de l'addició de l'ió no conservatiu. Aquest mètode consisteix en preparar un traçador (150 g de NaCl) en un recipient amb 2l d'aigua, remenar-ho i abocar-ho en un punt turbulent de la Riera de Santa Fe (a 53 m del punt d'inici del tram mostrejat). En el punt de monitorització, situat aigües avall, es registren els canvis de conductivitat generats i s'obté una gràfica de la dinàmica temporal del traçador (Elosegi et al, 2009).

Hemisferis de Fliesswasserstammtisch o FST:

Existeixen molts mètodes per determinar la força o hàbitat hidràulic. Statzner & Müller (1989) suggereixen l'ús dels hemisferis de Fliesswasserstammtisch o FST davant de mesures més senzilles com la velocitat, atès que integren les característiques hidràuliques principals com la velocitat mitjana, la profunditat, la turbulència, la viscositat i la densitat de l'aigua. A més, permeten mesurar la força hidràulica a la que estan sotmesos els organismes bentònics, com ara els macroinvertebrats atès que és aplicable en àrees petites (Statzner et al., 1989).

El mètode consisteix en l'ús de 24 hemisferis estàndards d'identica mida (diàmetre=7,8cm) i textura de la superfície, però de diferents densitats, els quals s'exposen en un pla horitzontal a la part inferior de la riera sobre una petita placa de plexiglàs (Statzner et al., 1989). Es mouran o no segons la força del flux i definirem així les condicions d'aquest prop de la corrent del fons.

Cada hemisferi ofereix una estimació del mínim estrès (MBSS) en N/m^2 causant el moviment d'aquest hemisferi (Figura 4) (Sagnes et al, 2008). Per exemple, l'hemisferi número 0 i 17 indiquen una MBSS de $7,71 \times 10^{-2}$ i $6,34 N/m^2$ respectivament. La velocitat (U^* , en cm/s) a cada mostra es pot calcular, posteriorment, de la manera següent: $U^* = (MBSS \times 10)^{-0,5}$ (Statzner et al, 1991). Per a més informació referent als **hemisferis FST**, consultar l'annex.



Figura 4: Placa de plexiglàs i hemisferi Fließwasserstammtisch o FST (nº10 de les 24 existents) realitzant proves en la Riera de Santa Fe.

Macroinvertebrats:

Per tal de seleccionar el lloc de mostratge dels macroinvertebrats, primer es va determinar el número d'hemisferi Fließwasserstammtisch o FST (Figura 4), sempre intentant cercar les condicions hidràuliques desitjades (alta, mitja i baixa; hemisferi A, M i B respectivament). Per el nostre estudi es va optar per la següent categorització: hemisferis A del número 9 al 13, hemisferis M del número 4 al 8, i hemisferis B del número 1 al 3. No es consideren números d'hemisferis majors de 13 perquè aquesta és la mesura màxima observada, concretament de 0,56m/s i 0,68m/s (punts M4 i M5 respectivament).

Així doncs, es varen prendre 3 mostres en cada categoria hidràulica (A, M, B), 9 mostres en total. A més, en cada punt de mostratge es va mirar la velocitat (amb un velocímetre), la fondària i la granulometria (amb el granulòmetre: Figura 3). En aquesta última es varen considerar només les 5 pedres i còdols més grans.

A continuació, es va efectuar el mostratge de macroinvertebrats amb una xarxa Surber (Figura 5) en els 9 punts esmentats. Aquesta xarxa permet recol·lectar els macroinvertebrats bentònics quantitativament atès que es mostreja una superfície coneguda de $0.1 m^2$ (és a dir, $31 \times 33 cm^2$).



Figura 5: Xarxa Surber emprada pel mostreig de macroinvertebrats (superfície de 0.1 m^2).

La xarxa Surber es col·loca a contracorrent i amb el peu o la mà es neteja i remou tot el substrat comprès en l'àrea determinada pel Surber, fins a una profunditat d'uns 10-15 cm, assegurant que els macroinvertebrats i el sediment fi alliberats acaben dins la xarxa (Elosegi et al, 2009). Amb les mostres dels organismes recollits a la xarxa Surber per agitació i moviment de pedres, còdols i sediments superficials, s'introdueixen en pots de plàstics de boca ample i es fixen amb formaldehid al 4% (Elosegi et al, 2009).

Un cop a la sala de lupes del Departament d'Ecologia de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona, es varen separar i identificar els macroinvertebrats a nivell taxonòmic de família emprant les claus: *Invertébrés d'Eau Douce* (Tachet et al, 2002) i *Identifications Guide of Freshwater Macroinvertebrates of Spain* (Oscos et al, 2011). La identificació esmentada es va realitzar amb el model de lupa *Olympus KL 1500 LCD*.

Després de separar els macroinvertebrats, es va calcular la quantitat de FPOM i CPOM de cada mostra. El FPOM o "Fine Particulate Organic Matter" inclou partícules amb mides de $>0.45 \mu\text{m}$ a $<1000 \mu\text{m}$ (1 mm) que estan en suspensió en la columna d'aigua o dipositades sobre els sediments. Mentre que el CPOM o "Coarse Particulate Organic Matter" consisteix en qualsevol partícula orgànica superior a 1 mm (Hauer et al, 1996). Amb aquestes dades podrem saber la fracció orgànica existent en cada condició hidràulica (A, M, B) i relacionar-ho amb les famílies i gèneres que esperàriem trobar segons la quantitat d'aquesta. Per fer-ho, es van filtrar els sediments i fullaraca

de cada mostra en 2 tamisos amb malles diferents; un de 1000 µm per deixar retingut el CPOM i un segon de 0.45 µm per retenir el FPOM.

Per poder calcular ambdós, s'emboliquen en paper de plata (obtenint 9 paquets de FPOM i 9 de CPOM) i es deixen a l'estufa 2 dies a 70°C. Després es pesen els paquets sense el paper de plata amb una balança, es tornen a embolicar i es deixen a la mufla durant 4h a 600°C. Totes les dades obtingudes es troben a la Taula 12 de l'Annex. Un cop disposem de totes les dades de l'estufa i la mufla, es resten: ($CPOM_{final} = CPOM_{estufa} - CPOM_{mufla}$), i amb FPOM el mateix, així obtenim dades reals (ja que abans també s'havien pesat còdols, etc). Amb les dades de CPOM i FPOM finals de cada mostra es calcula la fracció orgànica (g/m^2) aplicant: $[FPOM_{final} / superf_{surber}]$ i amb CPOM igual (Figura 18).

Finalment, algunes famílies representatives de les 9 mostres i relativament abundants es varen identificar a nivell de gènere. De Plecoptera van ser Nemouridae i Chloroperlidae, Leuctridae, i d'Ephemeroptera van ser Leptophlebiidae i Heptageniidae. Aquests gèneres, es mesuren per tal de fer un estudi comparatiu entre les mides de cada individu (que ens indiquen l'ontogènia) i els hemisferis FST on es trobaven. Les guies per a efectuar les identifications són les mateixes que les emprades a nivell de famílies. Respecte la lupa emprada, és el mateix model, ja que disposa de micròmetre en l'ocular per a poder-los mesurar. Per cada gènere se'n va cercar l'estratègia tròfica (Tachet et al., 2000) per poder determinar l'efecte de l'hàbitat hidràulic i els recursos sobre l'ontogènia.

Anàlisi estadística:

Per a poder comparar i descriure com l'hàbitat hidràulic determina l'estructura i funció dels macroinvertebrats i els canvis en les preferències hidràuliques entre espècies (tant entre famílies com gèneres) i al llarg de l'ontogènia dels macroinvertebrats, es va analitzar la composició taxonòmica (estructura), la composició dels trets biològics (funció) i la relació dels hemisferis FST amb les mides dels 8 gèneres escollits (citats anteriorment). Tots els índexs i corresponents gràfics/boxplots esmentats es varen dur a terme amb el programa Rstudio i l'Excel (amb aquest últim només algun gràfic puntual). A continuació s'exposen els índexs, funcions i paquets emprats amb el programa Rstudio.

Estructura (composició taxonòmica):

Amb les dades obtingudes de la identificació dels macroinvertebrats es va crear una matriu d'abundàncies de cada família de macroinvertebrats trobada en cada punt de

mostratge (Matriu A de la Figura 6). Amb aquesta matriu es varen calcular les abundàncies totals, la riquesa (S) i els índexs de diversitat (Shannon i Simpson) per a cada mostra, agrupant-les o no per condicions hidràuliques dels hemisferis (A, M, B), segons cada cas. Pel que fa a la riquesa d'espècies es va aplicar el mètode de rarefacció per poder comparar la riquesa entre mostres independentment de les diferències en abundància que hi hagi (Heck et al, 1975). Aquest mètode consisteix en calcular el número esperat d'espècies $E(S/n)$ i la variància de (S/n) en una mostra aleatòria de n individus a partir d'una col·lecció que conté N individus i espècies S (Heck et al, 1975).

Els resultats es varen presentar mitjançant gràfics boxplots on les caixes indicaven els percentils 25 (límit inferior) i 75 (límit superior) i la línia de l'interior de la caixa feia referència a la mediana. Finalment, tant per S com per Shannon i Simpson es va aplicar el test Kruskal Wallis per avaluar l'existència o no de diferències significatives entre les tres categories d'hemisferis. Per altra banda, per saber si hi havia diferències en la composició de taxons de la comunitat es va analitzar amb més detall quins hemisferis s'assemblen més a quins altres (A, M, B) pel que respecte a les famílies de macroinvertebrats. A més, es va utilitzar un Anàlisi de Correspondència (Correspondence Analysis o CA) amb l'ajut del paquet "ade4" i es va aplicar un test de Randomització per saber si hi havien diferències significatives entre la composició dels hemisferis. Els codis emprats en Rstudio per dur a terme tots aquests càlculs estan a l'Annex: "*Procediment Rstudio*".

Funció (composició dels trets biològics):

Un *tret biològic* és qualsevol característica d'un organisme que fa referència a la seva morfologia, cicle vital, reproducció, dispersió, fisiologia o comportament. Cada família de macroinvertebrats està caracteritzada per un conjunt de trets biològics en una matriu.

Aquestes matrius de trets biològics es troben a la bibliografia i recullen la informació obtinguda de molts estudis d'investigació realitzats a Europa (Tachet et al., 2000). La matriu utilitzada consta de 11 trets amb 51 categories (Taula 12 de l'Annex) i per cada família hi ha assignat un valor de 1 o 0 en funció si la categoria de tret és present o no en la família (1 = presència i 0 = absència). Un cop seleccionats els trets de les famílies trobades en aquest estudi i construïda la matriu de trets (Matriu B de la Figura 6) s'obté una nova matriu de multiplicar la matriu de macroinvertebrats amb la de trets (Matriu C de la Figura 6). Aquesta nova matriu inclou informació de la proporció de

cada categoria de tret en cada estació, tenint en compte al tret que pertany cada categoria.

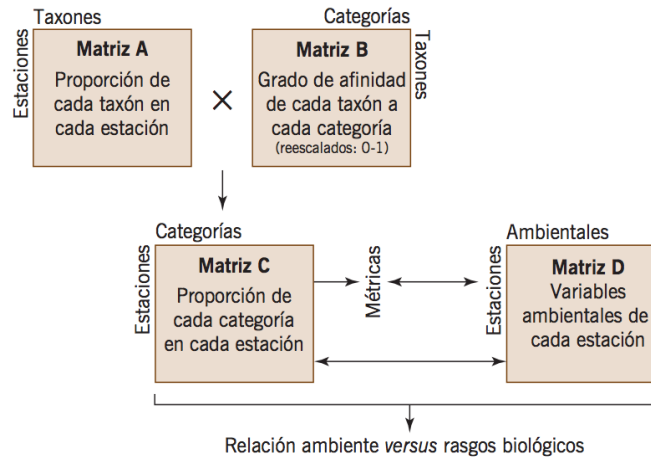


Figura 6: Estructura de la base de dades (Elosegi et al, 2009).

Aquesta nova matriu es va utilitzar per calcular, per cada mostra, l'índex de Rao (un índex de diversitat de trets, relacionat amb l'índex de Simpson). De la mateixa manera com vàrem fer amb l'estructura, es va aplicar el test Kruskal Wallis per determinar si hi havia o no diferències significatives entre les categories d'hemisferis. Finalment, per saber si hi ha diferències funcionals en la composició de trets de la comunitat es va utilitzar un Anàlisi de Correspondència Difós (Fuzzy Correspondence Analysis o FCA) (Tomanova et al, 2008) amb l'ajut del paquet "ade4" i es va aplicar el test de Randomització per saber si hi havien diferències significatives entre la composició dels hemisferis. Els codis emprats en Rstudio per dur a terme tots aquests càlculs estan a l'Annex.

Hemisferis FST vs les mides dels 8 gèneres:

Les mesures de cada gènere es varen graficar segons les categories d'hemisferis amb boxplots i separant els gèneres de Plecoptera dels Ephemeroptera. Finalment, es va aplicar el test de Kruskal Wallis per a cada gènere per determinar si hi havia o no diferències significatives entre les categories d'hemisferis. Els codis emprats en Rstudio estan a l'Annex.

RESULTATS

Paràmetres físicoquímics i geomorfològics:

L'amplada del tram de la Riera de Santa Fe escollit oscil·la de 1.47 a 4.80m, pel que la mitjana de totes les amplades del tram és de 3.01m. Les mitjanes de les profunditats en cadascun d'ells van de 2.33 a 13.81 cm, amb una mitjana del tram de 7.37 cm. Finalment, la mitjana dels diàmetres màxims de les pedres mostrejades per a cada transsecte (valors obtinguts considerant les pedres $<3 = 2$ i les $>7 = 8$) van de 7.71 a 10.63 cm, amb una mitjana del tram de 8.8 (Taula 1).

Taula 1: Amplada, profunditat i granulometria del tram mostrejat de la Riera de Santa Fe:

	Amplada (m)	Mitjana profunditat (cm)	(*) Mitjana del diàmetre màxim de la partícula (cm)
TRANSSECTE 1	4,8	7,85	8,42
TRANSSECTE 2	3,83	12,54	8,39
TRANSSECTE 3	3,07	10,35	8,50
TRANSSECTE 4	1,47	2,33	10,15
TRANSSECTE 5	2,6	5,28	7,71
TRANSSECTE 6	4,44	4,53	8,59
TRANSSECTE 7	4,8	4,58	8,01
TRANSSECTE 8	2,87	5,00	9,14
TRANSSECTE 9	1,68	2,67	10,63
TRANSSECTE 10	2,39	3,96	8,60
TRANSSECTE 11	3,8	13,81	8,01
TRANSSECTE 12	2,1	13,44	7,88
TRANSSECTE 13	2,1	13,56	8,41
TRANSSECTE 14	2,02	5,50	9,12
TRANSSECTE 15	2,9	8,20	9,14
TRANSSECTE 16	3,35	4,36	10,05

(*) Valors de la mitjana obtinguts considerant les pedres $<3 = 2$, i les $>7 = 8$ (trobareu totes les dades a la Taula 2A de l'Annex) , i aplicant conversions dels números del granulòmetre a centímetres de la Taula 2B de l'Annex.

Respecte les dades físicoquímiques i geomorfològiques dels 9 punts de mostreig, s'observa com els valors de granulometria (on només es mostregen les 5 pedres o còdols més grans de cada punt) oscil·len entre 5.5 i >7 .

Pel que fa a les mitjanes de velocitats mostrejades amb el velocímetre, es troben valors de 0.01 a 0.74, on les majors corresponen als punts amb els hemisferis A (mostres 4, 5 i 6, amb números d'hemisferis 13, 13 i 12 respectivament). Les fondàries mesurades van de 7 a 23 cm, essent superiors on es troben hemisferis B (mostres 1, 8 i 9, amb números d'hemisferis 1, 1 i 3 respectivament) (Taula 3).

Taula 3: Perfil del tram de la Riera de Santa Fe.

Mostra	Granulometria(*)	Mitjana de les velocitats (m/s)	Nº Hemisferi	Fondària (cm)
1	7 / 6 / 6,5 / 6 / 6	0,01	1	13; 11; 13
2	7 / >7 / 6,5 / 6 / 6	0,17	4	12; 10; 11
3	7 / 6,5 / 6,5 / 7 / >7	0,21	6	10; 12; 9,5
4	6,5 / 6,5 / 6 / 6 / 5,5	0,56	13	7; 10; 11
5	6,5 / 7 / 6,5 / 6,5 / 7	0,68	13	14; 13; 10
6	6,5 / 6,5 / 6,5 / 6,5 / >7	0,74	12	8; 9,5; 10
7	7 / 7 / 7 / 6 / 5,5	0,27	7	11; 13; 10
8	7 / 6,5 / 6,5 / 6,5 / 5,5	0,01 / 0,01 / 0,01	1	23; 21; 20
9	6,5 / >7 / 5,5 / 6 / 6	0,08 / 0,1	3	14,5; 15; 13,5

Granulometria(*): es mostregen les 5 pedres més grans trobades en cada punt. Considerem baixos(B) els hemisferis FST de 1 a 3, mitjos (M) de 4 a 8 i alts (A) de 9 a 13. No es consideren hemisferis superiors a 13 perquè aquesta va ser la mesura màxima trobada.

El cabal (Q) de la Riera de Santa Fe calculat a partir de la conductivitat mesurada és de 9,59 l/s (amb 28145,5 $\mu\text{S/cm}$ recollits i 134900 $\mu\text{S/cm}$ abocats) (Figura 7). La temperatura de l'aigua en el moment de l'estudi va ser de 4.9 °C.

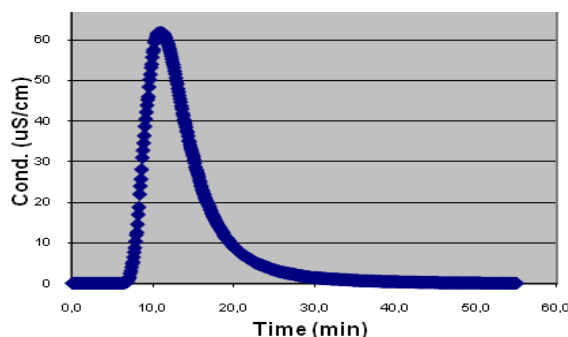


Figura 7: Perfil de conductivitats mesurades després de l'addició de l'ió no conservatiu mostrejat a la Riera de Santa Fe.

Finalment, observem valors superiors de matèria orgànica tant en FPOM com CPOM (Figura 8 i Taula 4) en hemisferis B, que no pas en A i M.

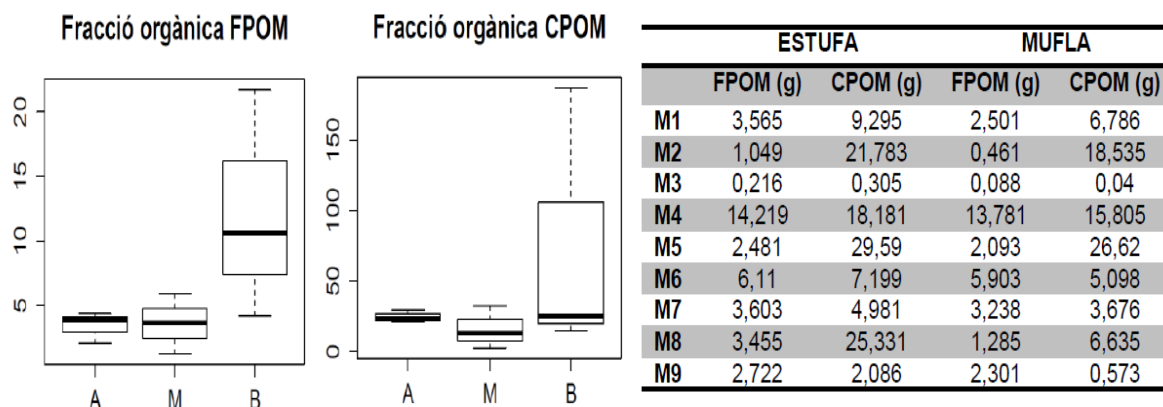


Figura 8: Fracció orgànica (g/m^2) en FPOM (esquerre) i CPOM (dreta) de les mostres agrupades per hemisferis FST (A, M, B).

Taula 4: Valors originals de FPOM i CPOM després de l'estufa i la mufla. Pesats en una bàscula (g) del laboratori del Departament d'Ecologia.

Estructura (composició taxonòmica):

Amb un total de 7 ordres i 29 famílies en els 9 punts de mostratge de la Riera de Santa Fe, dels Díptera es varen trobar exemplars de Chironomidae, Athericidae, Ceratopogonidae, Limoniidae, Syrphidae, Empididae, Dixidae, Simuliidae i Tipulidae. Dels Trichoptera exemplars de Limnephilidae, Odontoceridae, Sericostomatidae, Philopotamidae, Hydropsychidae, Rhyacophilidae i Psychomyiidae. Dels Plecoptera es varen observar exemplars de Chloroperlidae, Nemouridae, Leuctridae, Perlidae i Perlodidae. Dels Ephemeroptera exemplars d'Heptageniidae, Leptophlebiidae, Ephemerellidae i Baetidae. Dels Coleoptera només Elmidae i Hydraenidae, mentre que de Tricladida es van trobar Planariidae i de Mollusca exemplars d'Ancylidae (Taula 5 de l'Annex).

El número total d'individus recol·lectats és de 6690 amb una mitjana de 743.33 per mostra. En l'abundància total (Figura 9) es troben valors superiors en la mostra 8 (hemisferi B), 2 (M) i 4 (A). Tot i que la mediana de B és lleugerament superior a la de A i M, el test de Kruskal Wallis no va mostrar diferències significatives ($p=0.9565$ en el test general i $p=0.8273$ en les comparacions per parelles de condicions hidràuliques AB, AM i BM).

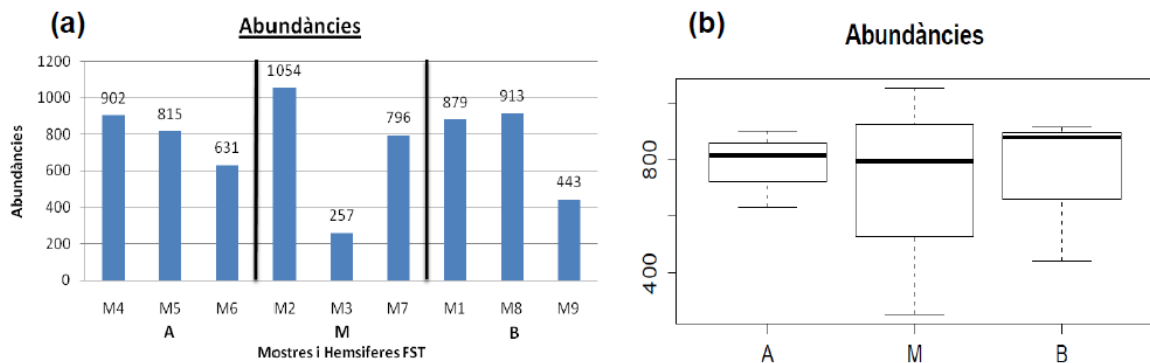


Figura 9: Abundància (a) per cadascuna de les 9 mostres agrupades per línies verticals segons corresponguin a hemisferis de FST alts, mitjos o baixos (A,M,B). Boxplot de les abundàncies totals (b) agrupades per A,M,B. La línia negra de cada caixa indica la mediana

Atesa l'elevada variabilitat en l'abundància de les mostres, i al fet que la riquesa depèn de la mida mostral, es fan comparables les estimes d'aquesta mitjançant la tècnica de rarefacció.

Així, segons els valors de riquesa rarificada dels macroinvertebrats en les 9 mostres (Figura 10) s'observa que les 3 condicions hidràuliques dels hemisferis (A,M,B) queden molt diferenciades entre elles, amb p-valors del test de Kruskal Wallis

significatius tant en la comparació general ($p=0.0273$) com entre parelles, amb ($p<0.05$; AB, AM i BM).

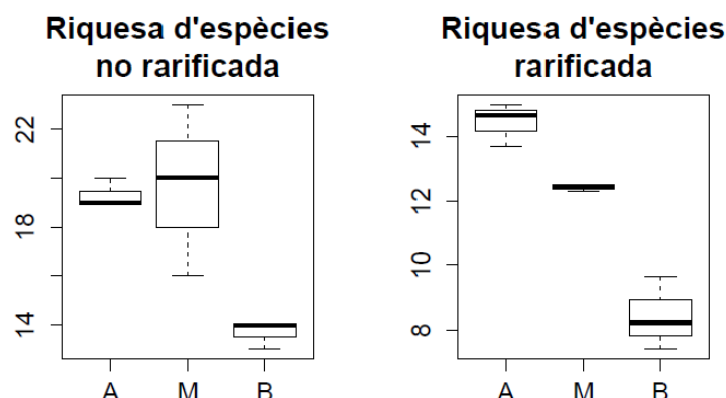


Figura 10: Boxplots de la Riquesa d'espècies no rarificada vs la Riquesa rarificada de les 9 mostres (per a una abundància total de 100 individus), agrupades segons els hemisferis de FST alts, mitjos o baixos (A,M,B). La línia negra de cada caixa indica la mediana.

En canvi, en la riquesa no rarificada es solapa la riquesa de A i M, amb Kruskal Wallis per la parella AM no significatius ($p=0.6531$). Analitzant la riquesa rarificada punt per punt, s'observa que hi ha una estreta i significativa relació amb els valors d'hemisferis i la riquesa (Figura 11 i Taula 6).

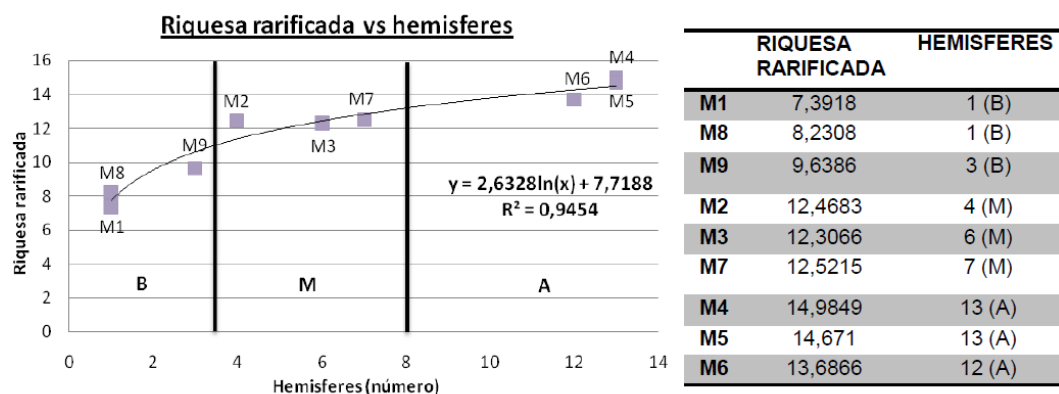


Figura 11: Riquesa rarificada segons el número d'hemisferi FST de cada mostra, agrupades per baixos, mitjos i alts (d'esquerra a dreta). Valor R^2 i funció (y) inclòs.

Taula 6: Valors de les riqueses rarificades en cada mostra i els corresponents números d'hemisferis FST. Separat per baixos, mitjos i alts (B, M, A).

Respecte els índexs de diversitat biològica de Shannon i Simpson obtinguts (Figura 12 i Taula 7), s'observen valors més elevats de diversitat en els hemisferis A. En el cas de Shannon, a més, no es solapen entre els hemisferis A, M i B, però en Simpson sí (entre M i B).

Aplicant el test de Kruskal Wallis per comparar entre les 3 condicions hidràuliques s'observa que no són significatius al $p<0.05$, amb valors de 0.0794 (Shannon) i 0.4298 (Simpson). En les comparacions per parelles (AB, AM i BM) sí és significatiu ($p<0.05$)

per AB en Shannon amb un p-valor de 0.0495, però les altres comparacions no ho són: 0.1266 (AM Shannon), 0.2752 (AM Simpson), 0.2752 (AB Simpson), 0.2752 (MB Shannon) i 0.8273 (MB Simpson).

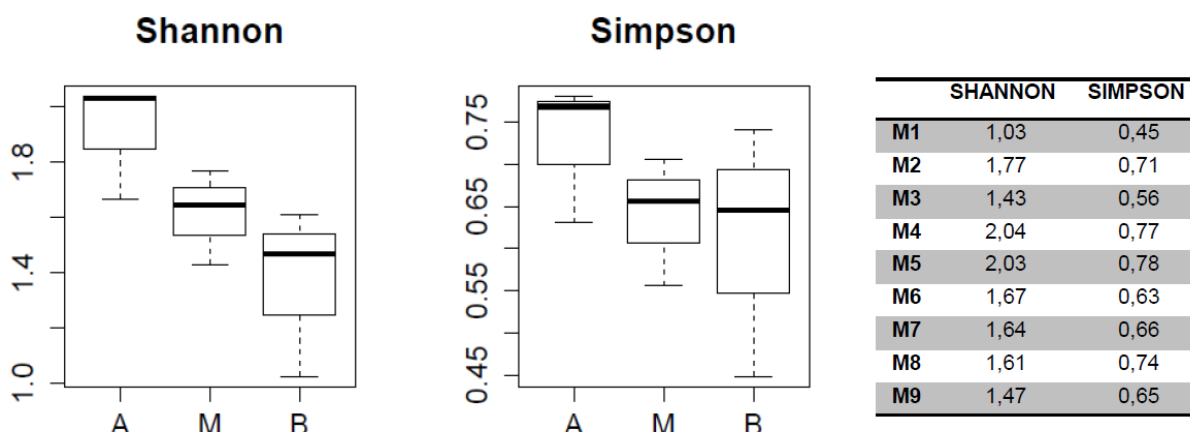


Figura 12: Boxplots dels índexs de diversitat biològica de Shannon (H') i Simpson agrupat per condicions hidràuliques (A, M, B). La línia negra de cada caixa indica la mediana.

Taula 7: Índexs de diversitat de Shannon (H') i Simpson de les 9 mostres.

En l'Anàlisi de Correspondència (CA) per cercar les similituds entre la composició taxonòmica de les famílies de macroinvertebrats de les 9 mostres s'observa com les condicions hidràuliques M i B es solapen (Figura 13), mentre que les A queden diferenciades, pel que es pot dir que les comunitats són diferents en funció de les característiques dels hàbitats hidràulics de cada mostra (Test de Randomització amb 999 permutacions, $p=0.028$). La composició de M apareix com a barreja d'A i de B.

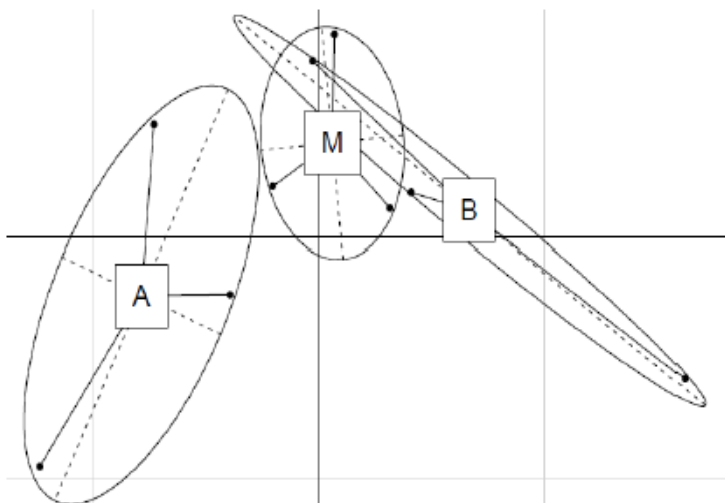


Figura 13: Anàlisi de correspondència (Correspondence Analysis, CA) per cercar les similituds entre la composició taxonòmica de les famílies trobades en les 9 mostres. Agrupades segons les 3 condicions hidràuliques (A,M,B).

L'eix de la "x" ens explica el 71.74% de la variabilitat (extret de $[(0.2683/\text{sum}) \cdot 100]$; on $\text{sum} = 0.374$), el qual és degut a les diferències de les condicions hidràuliques.

En la matriu d'abundàncies de les famílies de macroinvertebrats en les 9 mostres es troben famílies exclusives de certes condicions hidràuliques que poden justificar la diferenciació observada en el gràfic CA.

Així, Simuliidae, Limoniidae, Rhyacophilidae, Philopotamidae, Hydropsychidae, Perlodidae, Perlidae, Ancyliidae, Planariidae, Ephemerellidae, Baetidae i Hydraenidae són famílies exclusives dels hemisferis A (i alguns exemplars també en els M) o dels Odontoceridae, que només es troben en els hemisferis B (Taula 5 de l'Annex).

Funció (composició dels trets biològics):

Pel que fa a la composició dels trets biològics, els resultats de l'índex de Rao (Figura 14 i Taula 8) mostren que a hemisferis elevats hi ha més diversitat de trets.

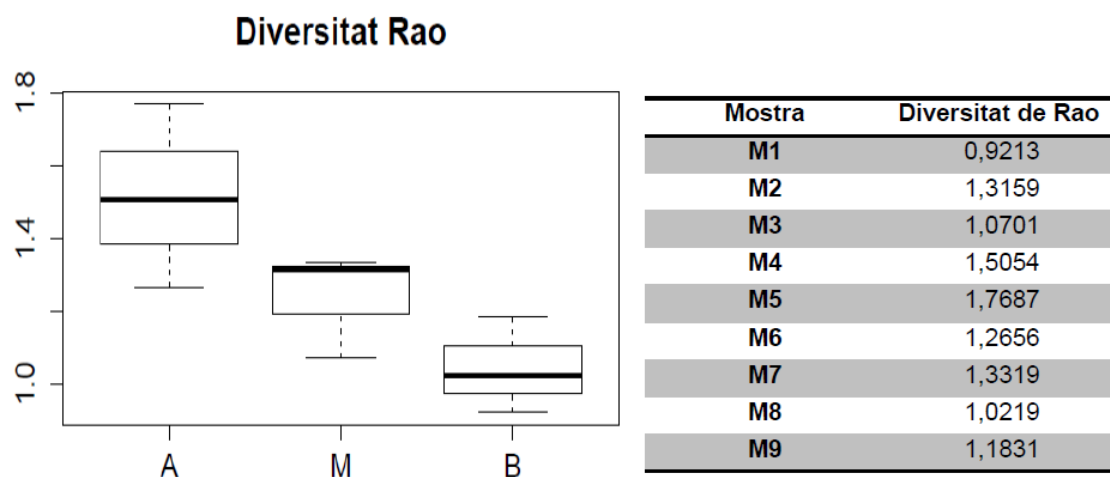


Figura 14: Boxplot de l'Índex de diversitat de Rao agrupat per condicions hidràuliques (A,M,B). La línia negra de cada caixa indica la mediana.

Taula 8: Dades de la diversitat de Rao per a les 9 mostres de la Riera de Santa Fe.

No obstant, els resultats del test de Kruskal Wallis indiquen que no hi ha diferències significatives tant en la comparació entre les 3 (0.0794) com per les parelles de condicions hidràuliques AM (0.2752) i BM (0.1266). Només va donar significatiu per a AB (0.0495).

En l'Anàlisi de Correspondència Difós (FCA) per saber les diferències entre els 11 trets seleccionats i la seva distribució segons els hemisferis (Figura 15), s'observa com les 3 condicions queden ben diferenciades, sense solapar-se.

Això indicaria que la composició de trets biològics és diferent entre A, M i B. A més, M tindria una composició de trets barreja de A i de B. No obstant, aplicant el test de Randomització s'obté que no hi ha diferències significatives, amb un $p=0.145$.

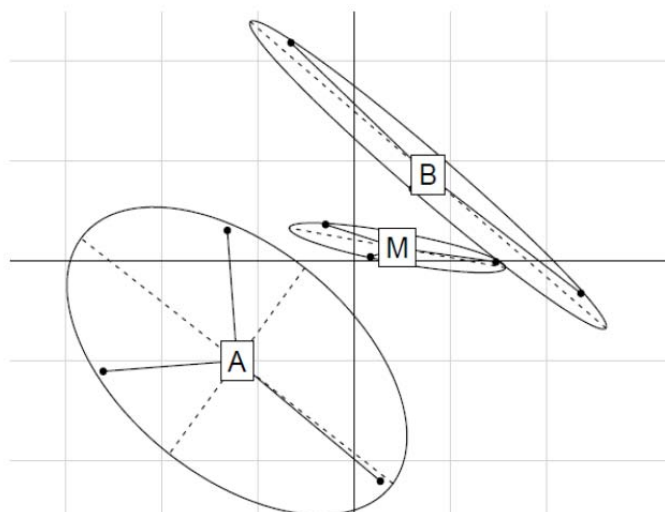


Figura 15: Anàlisi de correspondència difós (Fuzzy Correspondence Analysis, FCA) dels trets de les famílies trobades en les 9 mostres. Agrupades segons les 3 condicions hidràuliques (A,M,B).

Quan s'analitza cada categoria de tret per separat, els resultats del test de Kruskal Wallis ens indiquen que hi ha diferències significatives al $p < 0.05$ en 5 categories (Taula 9, verd) i 8 significatives al $p < 0.08$ (Taula 9, blau).

Taula 9: Categories significatives dels 11 trets de les famílies observades en les 9 mostres.

Tret	Categoria	Codi	Mitjana A	Mitjana M	Mitjana B	KW X ²	KW p-valor
Mida màxima	> 2-4 cm	a5	0,05	0,02	0,01	6,49	0,039
Estadis aquàtics	Nimfa	d3	0,04	0,01	0,01	5,60	0,061
Reproducció	Massa d'ous fixes	e4	0,4	0,46	0,43	5,6	0,061
	Massa d'ous terrestres	e7	0,04	0,01	0,01	5,60	0,061
Respiració	Tegument	j1	0,64	0,74	0,82	5,96	0,051
	Brànquia	j2	0,30	0,22	0,17	5,07	0,079
	Plàstron	j3	0,01	0,01	0,00	5,96	0,051
	Espiracle	j4	0,05	0,03	0,01	6,49	0,039
Alimentació	Microfíts vius	h4	0,13	0,09	0,07	5,96	0,051
Mode d'alimentació	Filtrador	i5	0,05	0,00	0,00	7,45	0,024
Forma del cos	Aplanada	m1	0,10	0,09	0,04	5,42	0,066
	Cilíndrica	m2	0,90	0,91	0,96	5,42	0,066
Adaptacions al corrent	Estoigs	l2	0,00	0,00	0,01	6,16	0,046
	Ungles anals	l3	0,01	0,00	0,00	6,76	0,034

Indicant en verd els p-valors significatius a $p < 0.05$ i en blau a $p < 0.08$. Totes les dades a la taula 9 de l'annex.

En aquesta taula també es troben els valors de les mitjanes per a cada categoria o codi (sumen 1 entre totes les categories d'un mateix tret biològic) segons siguin d'hemisferis FST A, M o B, així com els valors del chi-quadrat (obtinguts del test

Kruskal Wallis). Per veure tots els p-valors (significatius o no) dels 11 trets, consulteu la Taula 10 de l'Annex.

En la representació gràfica dels 11 trets biològics (Figura 16) juntament amb la Taula 10 esmentada, s'observen "categories" similars en les 3 condicions hidràuliques (A,M,B) com: mides màximes de >0.25 a 2 cm (a2, a3 i a4), però amb una de diferent i significativa: 2-4 cm (a5) que predominen en A.

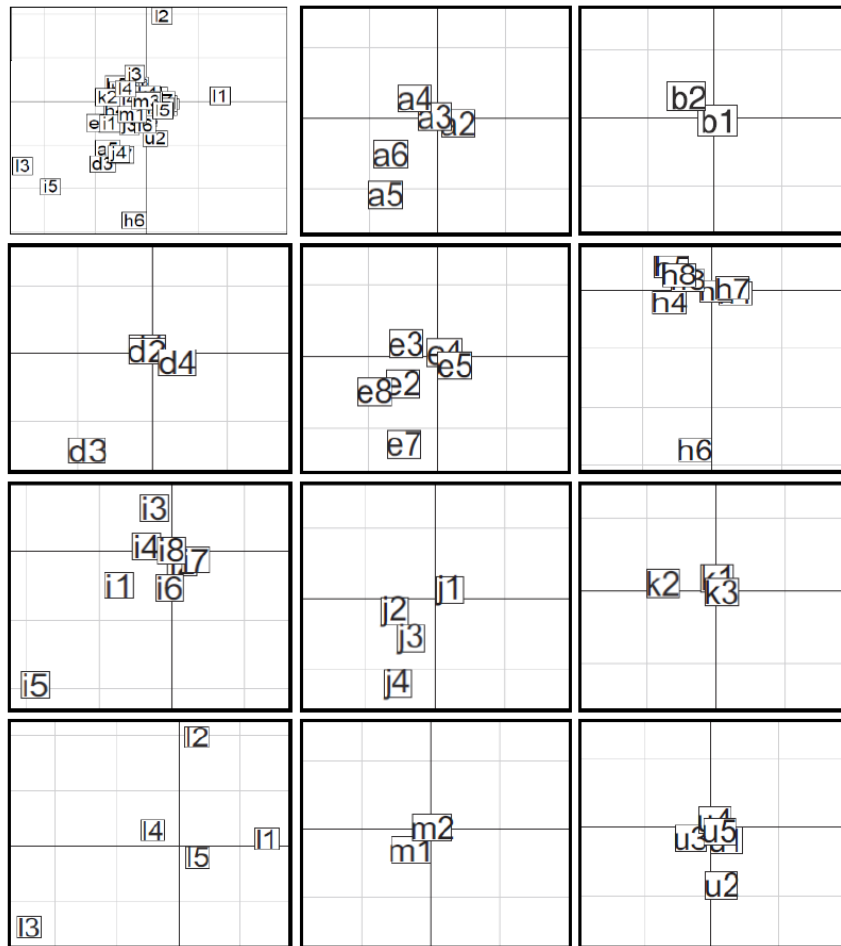


Figura 16: Representació gràfica dels 11 trets per separat (pels codis).

En el tret de la locomoció s'observen excavadors (u5) en tots els hemisferis per igual. Pel que fa a l'alimentació per macroinvertebrats vius (h8), macrofits vius (h5) i detritus (h2 i h3), es troben valors similars en les 3 condicions hidràuliques, així com valors similars de recol·lectors (i2). No obstant, hi ha categories dels trets biològics característics segons l'hemisferi:

- En **hemisferis alts (A)** predomina la reproducció per ous isolats fixes (e3) i masses d'ous terrestres (e7). En quant a la respiració, sobretot per brànquies (j2) i espiracle (j4). Respecte la locomoció, tot i trobar marxadors (u4) com en els altres hemisferis,

també es troben més nedadors de fons (u3) i de superfície (u2). S'observa una alimentació on predominen invertebrats morts de >1mm (h6) i micròfits vius (h4), amb un mode d'alimentació per absorció (i1), brostejadors (i4) o filtració (i5). També s'observa una major flexibilitat intermitja (k2), un predomini de formes aplanades (m1) i presència d'ungles tarsals (l4) per adaptar-se al corrent.

- En **hemisferis mitjos (M)** predomina la reproducció per masses d'ous fixes (e4) i masses d'ous lliures (e5), així com marxadors (u4) en quant a locomoció. Respecte l'alimentació, s'observa un predomini de sediment fi (h1) i microinvertebrats vius (h7), amb un mode d'alimentació de brostejadors (i4) i depredadors (i7). S'observa un predomini de formes aplanades (m1), espècies amb absència d'adaptacions al corrent (l5) i altres amb ungles tarsals (l4) i, només aquí, presència de ventoses (l1).

- En **hemisferis baixos (B)** predomina la reproducció per masses d'ous fixes (e4) i masses d'ous lliures (e5), així com respiració per tegument (j1). Respecte la locomoció, es troben molts marxadors (u4), i en el cas de l'alimentació predomina per sediment fi (h1) i microinvertebrats vius (h7), amb un mode d'alimentació característic de trituradors (i3) i depredadors (i7). Es troben valors de flexibilitat elevada (k3), amb predomini de forma del cos cilíndrica (m2), així com espècies amb absència d'adaptacions al corrent (l5) i d'altres amb estoigs (l2).

Hemisferis FST vs les mides dels gèneres seleccionats:

Els gèneres identificats varen ser *Amphinemura*, *Nemoura*, *Siphonoperla* i *Leuctra* (Plecoptera) i *Habroleptoides*, *Rhithrogena*, *Ecdyonurus* i *Epeorus* (Ephemeroptera). Per un cantó *Amphinemura* i *Nemoura* són gèneres trituradors, que s'alimenten majoritàriament de CPOM.

Siphonoperla també s'alimenta de CPOM però és sovint també depredadora. En el cas de *Leuctra* s'alimenta de perífiton i micròfits vius preferentment però també ho pot fer de CPOM i de FPOM. *Habroleptoides* s'alimenta de FPOM i de perífiton, mentre que tots els Heptageniidae (*Rhithrogena*, *Ecdyonurus* i *Epeorus*) s'alimenten de perífiton (Tachet et al., 2002).

Els resultats ens indiquen que pels Plecoptera (Figura 17) s'observen mides grans en hemisferis B en els gèneres de *Nemoura*, *Siphonoperla* i *Leuctra*, mentre que en *Amphinemura* les mides més grans es troben en els M. En el cas dels Ephemeroptera

(Figura 18) es troben les mides més grans dels gèneres de *Rhithrogena* i *Epeorus* en hemisferis A, les de *Ecdyonurus* en M i les de *Habroleptoides* en hemisferis B.

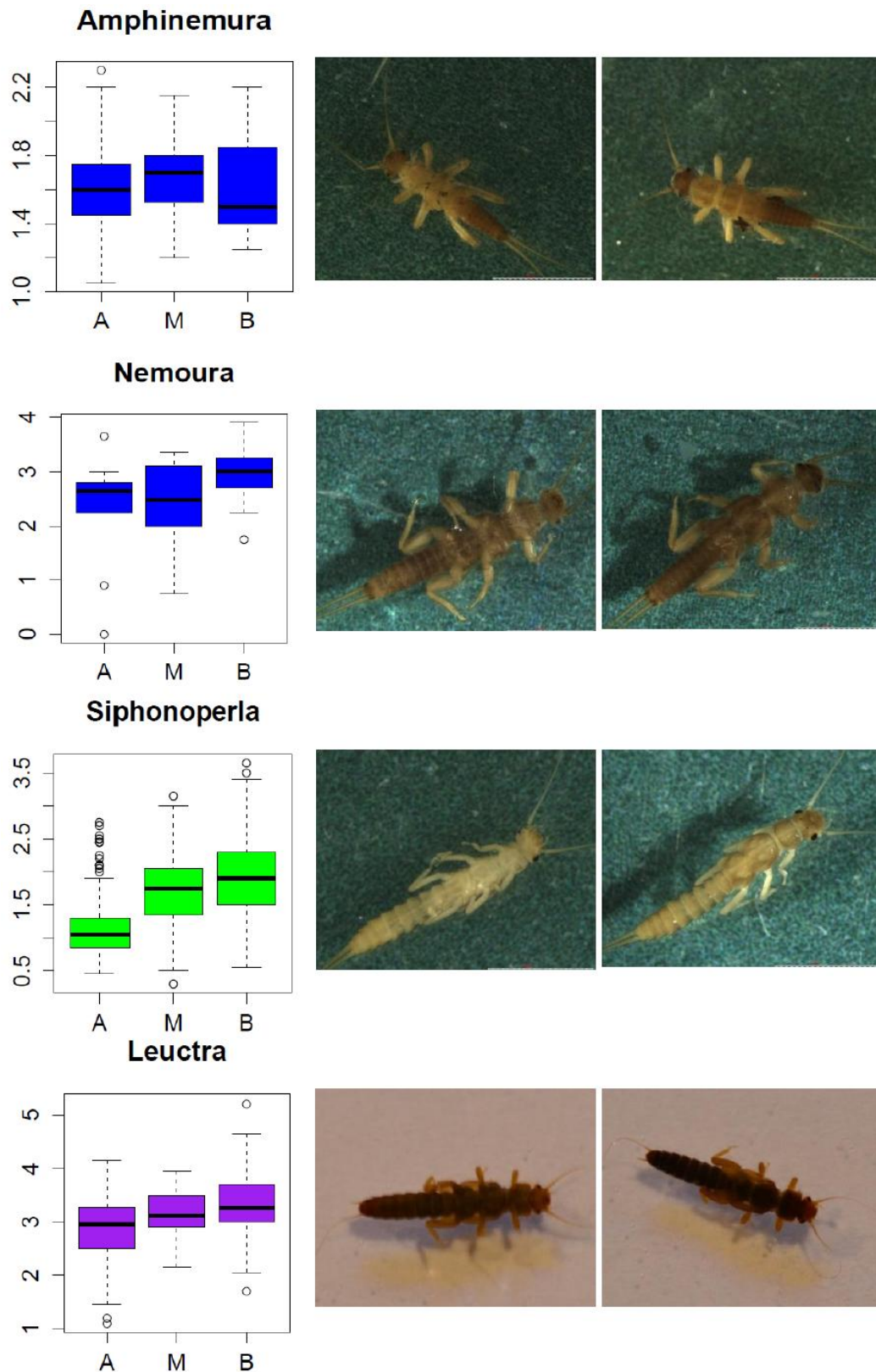


Figura 17: Boxplots de les mides (mm) segons la condició hidràulica (A,M,B) i fotografies dels gèneres dels Plecoptera seleccionats. La línia negra de cada caixa indica la mediana.

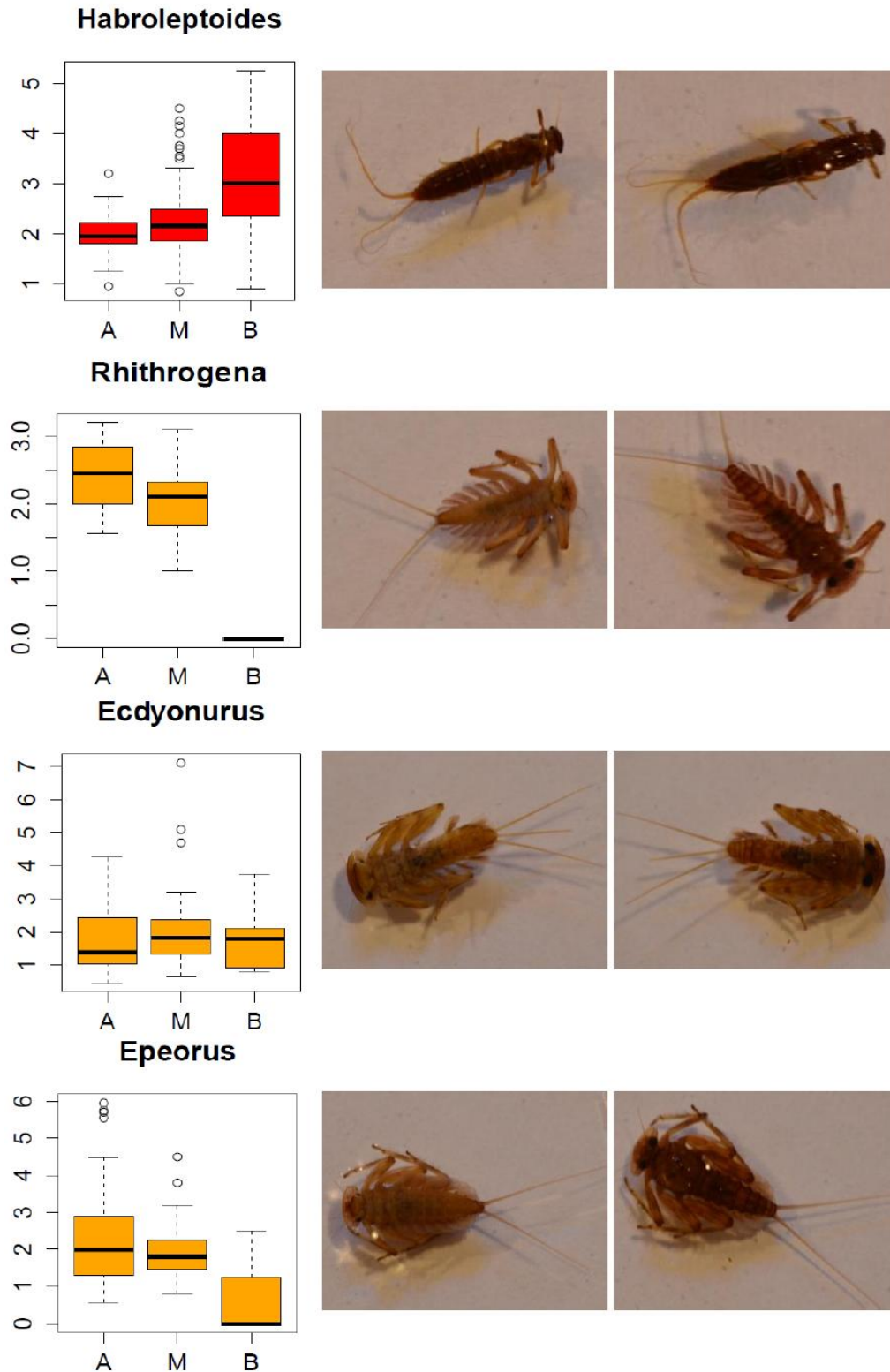


Figura 18: Boxplots de les mides (mm) segons la condició hidràulica (A,M,B) i fotografies dels gèneres dels Ephemeroptera seleccionats. La línia negra de cada caixa indica la mediana.

Aplicant el test de Kruskal Wallis (Taula 11) comparant entre totes 3 condicions hidràuliques, s'observen valors significatius ($p < 0.05$) pels gèneres: *Nemoura*, *Siphonoperla*, *Leuctra*, *Habroleptoides* i *Rhithrogena*.

TEST DE KRUSKAL WALLIS	Comparant les 3 categories	Altes – Baixes	Altes - Mitges	Mitges - Baixes
Amphinemura	0,5073	0,7649	0,2518	0,5537
Nemoura	0,005	0,0035	0,9711	0,0567
Siphonoperla	$2,2 * 10^{-16}$	$2,2 * 10^{-16}$	$2,2 * 10^{-16}$	$3,897 * 10^{-5}$
Leuctra	$5,417 * 10^{-6}$	$1,313 * 10^{-6}$	0,01743	0,1637
Habroleptoides	$2,2 * 10^{-16}$	$2,2 * 10^{-16}$	0,0019	$3,041 * 10^{-16}$
Rhithrogena	0,0059	0,0068	0,0900	0,0099
Ecdyonurus	0,6327	0,9019	0,4168	0,4724
Epeorus	0,3175	0,1226	0,8794	0,1932

Taula 11: Dades dels p-valors del test Kruskal Wallis dels 8 gèneres escollits: *Amphinemura*, *Nemoura*, *Siphonoperla* i *Leuctra* (Plecoptera) i de *Habroleptoides*, *Rhithrogena*, *Ecdyonurus* i *Epeorus* (Ephemeroptera). Comparant entre les 3 condicions hidràuliques (A,M,B) i per parelles.

En les comparacions per parelles d'hemisferis s'observen valors significatius ($p < 0.05$) en AB per als gèneres de *Nemoura*, *Siphonoperla*, *Leuctra*, *Habroleptoides* i *Rhithrogena*, en AM ho són per *Siphonoperla*, *Leuctra* i *Habroleptoides*, i en la comparació MB per *Nemoura*, *Siphonoperla*, *Habroleptoides* i *Rhithrogena*. Podeu consultar les abundàncies totals d'aquests 8 gèneres a la Taula 12 de l'Annex.

DISCUSSIÓ

Referent a la riquesa d'espècies i a la diversitat, una de les hipòtesis era que a hemisferis M s'haurien de trobar valors més elevats, ja que s'hi barregen taxons dels hemisferis A i B. No obstant, els nostres resultats mostren el contrari, concretament, observem una major riquesa rarificada d'espècies a hemisferis A que no pas en B o M.

El flux, i en particular la força o hàbitat hidràulic, és una de les variables més significatives dels ecosistemes fluvials que influencien de manera notable als macroinvertebrats (Statzner & Higler, 1986; Statzner, 1988). Al llarg del temps evolutiu, aquest hàbitat hidràulic ha actuat com a pressió de selecció, el que ha resultat en nombroses adaptacions dels organismes i en una elevada diversitat. Per tant, no és estrany que a hemisferis A trobem una major diversitat de macroinvertebrats i una major diversitat funcional.

L'altre hipòtesis que s'havia plantejat era que s'hauria de trobar una diferenciació de la composició taxonòmica i dels trets biològics entre els diferents hemisferis, ja que l'hàbitat hidràulic és una variable important en els rius (Allan, 1995). Concretament, la comunitat d'hemisferis M hauria de ser intermitja a la d'A i B, fet que està d'acord amb els resultats obtinguts.

Així doncs, els nostres resultats indiquen que les famílies exclusives dels hemisferis A i B, i en general els seus trets biològics, estan d'acord amb el que es troba en la bibliografia. Per exemple, els Simuliidae (Diptera), que són exclusius de mostres amb hemisferis A, trien com a hàbitat les zones someres amb corrent i poden trobar-se adherits damunt les lloses, els còdols o qualsevol altre substrat rígid o semirígid (Puig, 1999). Per romandre en aquests substrats exposats al corrent fan servir una substància enganxosa que secreten i unes rengleres de denticles que tenen envoltant l'obertura anal (pot funcionar com a ventosa si cal). S'alimenten de partícules orgàniques que porta el corrent en suspensió, per això tenen adaptat l'aparell bucal amb premandíbules en forma de ventalls (Puig, 1999).

De la mateixa manera, altres famílies característiques d'hemisferis A (i també M), com els Philopotamidae, Rhyacophilidae, Hydropsychidae, Ancyliidae i Hydraenidae, tenen nombroses adaptacions a aquests ambients. Així, els Philopotamidae són filtradors, pel que requereixen que les seccions inundades no siguin gaire fondes i que els corrents siguin moderats per no trencar les seves bosses de xarxa. Les Rhyacophilidae són depredadores, tenen el cos deprimit per reduir la seva resistència davant el corrent, ungles a les potes i pseudopodis anals molt desenvolupats per

ancorar-se amb força al substrat (Puig, 1999). Pel que fa als Hydropsychidae es comporten com a larves lliures però, alhora, fan estoigs de pedretes en forma de galeria semicircular oberta només per una banda. Són filtradors-recol·lectors i depredadors quan hi ha poc aliment (Puig, 1999).

Els Ancyliidae són brostejadors, i en quant als Hydraenidae, tot i trobar-se en totes les conques catalanes, el nombre d'espècies és superior en zones amb velocitats baixes o fins i tot nul·la (Puig, 1999). Per tant, aquesta última família no concorda amb els resultats obtinguts.

Com a família exclusiva dels hemisferis B s'ha trobat l'Odontoceridae, que habita àrees amb velocitats del corrent moderades o en zones de trencant del corrent on es poden registrar velocitats nul·les (Puig, 1999).

En general doncs, les adaptacions particulars de cada una de les famílies exclusives així com de tota la composició de la comunitat de A, M i B estan d'acord amb les hipòtesis plantejades inicialment. Les mostres amb hemisferis A presenten múltiples trets que permeten fer front al corrent de manera diferent, ja sigui amb ganxos, ventoses o formes aplanades.

Finalment, ens vàrem plantejar la hipòtesi que trobaríem una diferenciació respecte les mides en els gèneres seleccionats en funció del seu tipus d'alimentació i de l'adaptació al corrent. Malgrat que per alguns gèneres (*Amphinemura*, *Epeorus* i *Ecdyonurus*) no es varen observar resultats significatius, per altres sí i en el sentit hipotetitzat. Els gèneres *Nemoura*, *Siphonoperla*, *Leuctra*, *Habroleptoides* i *Rhithrogena* sí que es troben diferències significatives i, en general, es compleix la hipòtesi. Així, trobem mides més grans del brostejador *Rhithrogena* en hemisferis A, mentre que les mides petites es troben en hemisferis M.

Per altra banda, els trituradors *Nemoura*, *Siphonoperla* i *Leuctra* tenen mides més grans a hemisferis B que a M i A, el que indicaria que les mides petites o bé queden desplaçades cap a zones amb més força hidràulica per les mides grans o presenten un altre tipus d'alimentació durant els estadis inicials. Els tres gèneres presenten ungles i formes relativament planes que podrien evitar ser arrossegades pel corrent (Tachet et al., 2000).

Els nostres resultats es poden contrastar amb estudis com els de Puig (1999) on s'exposa que el gènere *Siphonoperla*, pertany a la família de plecòpters més petits i, a les fases inicials de creixement de les nimfes, viuen en zones amb sorres per protegir-

se i quan són més grosses, en hàbitats que tenen corrents molt baixos o nuls dintre d'aquests sistemes fluvials.

Finalment, el gènere *Habroleptoides*, presenta mides grans en hemisferis B i considerat brostejador i recol·lector segons Tachet et al. (2000). Segons aquests autors però, no podem saber en quin estadi de la seva ontogènia és majoritàriament recol·lector, amb la qual cosa podria ser que ho fos a estadis més avançats i que durant els primers les nimfes s'alimentessin de perifiton de zones amb hemisferis més altes.

A més, tot i que en el nostre estudi no és significatiu, es pot definir un gradient de preferència per l'hàbitat que abasta des de les zones de capçalera, amb corrents forts, fins als trams mitjans amb corrents moderats o baixos. Segons aquest gradient, la seqüència dels gèneres seria: *Rhithrogena* > *Epeorus* > *Ecdyonurus* (Puig, 1999).

Segons Sagnes, Méricoux i Péru (2008) l'explicació per a que algunes espècies canviïn d'hàbitat M a B amb l'augment de la mida pot ser: (1) les larves mantenen les condicions de turbulència al voltant del seu cos (és a dir, el número de Reynolds) per a una determinada forma del cos.

Aquest comportament se suposa que promou l'estabilitat en, almenys, 4 factors rellevants: la difusió de gasos com ara oxigen a través de les capes límit, l'abració pels sòlids en suspensió, els coeficients de sustentació i els de resistència i/o (2) les larves busquen condicions de velocitats baixes. Aquestes diferències en l'ús de l'hàbitat entre les larves de diferents mides podrien explicar, en part, la variabilitat estacional en les preferències hidràuliques (Sagnes et al., 2008).

Un altre argument a favor d'una influència directa de la força d'arrossegament sobre la distribució de la grandària dels macroinvertebrats bentònics és el fet que la disminució de mida amb l'augment de la tensió hidràulica present a la superfície del substrat (a excepció de *Rhithrogena*) perd el seu significat si les espècies són molt petites. Per tant, s'espera que l'estrès hidràulic afecti directament a la distribució de mides d'aquests gèneres.

Així doncs, observem que en general hi ha una coincidència en que les mides més grans es troben allà on domina el recurs del qual s'alimenten, mentre que les més petites es troben desplaçades a zones més extremes. Podria ser que les més petites tinguessin un altre tipus d'alimentació, ja que aquesta canvia amb l'ontogènia (Allan, 1995). Seria convenient fer un anàlisi de continguts estomacals per contrastar-ho.

CONCLUSIONS

Els nostres resultats confirmen que les diferències en les forces hidràuliques d'un tram determinen la riquesa, diversitat, estructura i funció de les comunitats i donen suport a la teoria del "River Habitat Temple", ja que existeix una estreta relació entre les condicions hidràuliques i els trets biològics dels organismes (adaptacions) que viuen en un hemisferi determinat.

Respecte als 8 gèneres identificats, podem concloure que les mides més grans es troben allà on domina el recurs del qual s'alimenten, mentre que les més petites es troben desplaçades cap a zones potencialment més desfavorables pel que fa a l'ambient hidràulic. Així doncs, la ontogènia també té un paper clau en la distribució dels macroinvertebrats per condicions hidràuliques i està lligat a la distribució del recurs i a la presència d'adaptacions per evitar ser arrossegats.

De cara a futurs estudis:

En primer lloc, seria molt interessant incrementar el número de mostres per tal de guanyar robustesa estadística. La baixa replicació és probablement la responsable de que en alguns casos visualment s'observin diferències entre les tres categories d'hemisferes però que no queden reflectides en els testos estadístics.

Per altra banda, seria adient realitzar mostrejos estacionals per a poder observar les preferències hidràuliques al llarg de l'any, així com realitzar el mateix estudi en una altra riera per tal de poder comparar i avaluar la variabilitat de les preferències hidràuliques a causa de factors com la disponibilitat d'hàbitat, les interaccions biòtiques, cicles de vida, taxa de descàrrega, etc. A més, seria interessant fer anàlisis de continguts estomacals dels macroinvertebrats per saber si i com el tipus d'alimentació canvia al llarg de la seva ontogènia.

Agraïments:

Agraeixo l'incondicional suport de Núria Bonada, Francesc Sabater i Pau Fortuño, ja que sense els seus consells i seguiment no hauria arribat tan lluny, així com els ànims i l'empenta d'amics, familiars i companys/es.

BIBLIOGRAFIA

Les referències bibliogràfiques segueixen les normes i pautes establertes per la Universitat de Barcelona.

Articles de publicacions periòdiques:

ARGERICH, A.; MARTÍ, E.; SABATER, F.; RIBOT, M.; von SCHILLER, D. & RIERA, J.L. <<Combined effects of leaf litter inputs and a flood on nutrient retention in a Mediterranean mountain stream during fall>>.

BONADA, N.; PRAT, N.; RESH, V.H. & STATZNER, B. (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology* 51: 495-523.

DOLÉDEC, S.; LAMOUROUX, N.; FUCHS, U. & MÉRIGOUX, S. (2007). Modelling the hydraulic preferences of benthic macroinvertebrates in small European streams. *Freshwater Biology* 52: 145–164.

GORE, J. A.; LAYZER, J. B. & MEAD, J. (2001). Macroinvertebrate instream flow studies after 20 years: A role in stream management and restoration>>. *Regulated Rivers: Research and Management* 17: 527-542.

HECK, K.L.; van BELLE, G. & SIMBERLOFF, D. (1975). Cálculo explícito de la medición Diversidad rarefacción y la determinación de la muestra suficiente tamaño>>. *Ecological Society of America* 5: núm. 6, 1459-1461.

SAGNES, P.; MÉRIGOUX, S. & PERU, N. (2008). Hydraulic habitat use with respect to body size of aquatic insect larvae: Case of six species from a French Mediterranean type stream. *Limnologica* 38: 23–33.

STATZNER, B. (1998). Growth and Reynolds number of lotic macroinvertebrates: a problem for adaptation of shape to drag. *Oikos* 51: 84-87.

STATZNER, B. (1981). The relation between “hydraulic stress” and microdistribution of benthic macroinvertebrates in a lowland running water system, the Schierenseebrooks (North Germany). *Arch. Hydrobiology* 91: 192-218.

STATZNER, B.; BADY, P.; DOLÉDEC, S. & SCHÖLL, F. (2005). Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: An initial assessment of trait patterns in least impacted river reaches. *Freshwater Biology* 50: 2136-2161.

STATZNER, B.; BONADA, N. & DOLÉDEC, S. (2007). Conservation of taxonomic and biological trait diversity of European stream macroinvertebrate communities: A case for a collective public database. *Biodiversity and Conservation* 16: 3609-3632.

STATZNER, B. & BORCHARDT, D. (1994). Longitudinal patterns and processes along streams: Modelling ecological responses to physical gradients.>> In P. S. Giller, A. G. Hildrew, & D. G. Raffaelli (Eds.), *Aquatic ecology: Scale, pattern and process* (pp. 113-140). Oxford: *Blackwell Scientific Publications*.

STATZNER, B. & HIGLER, B. (1986). Stream hydraulics as a major determinant of benthic invertebrate zonation patterns. *Freshwater Biology* 16: 127-139.

STATZNER, B.; HILDREW, A.G.; RESH, V.H. (2001). Species traits and environmental constraints: Entomological Research and the History of Ecological Theory. *Annu. Rev. Entomol.* 46: 291-316.

STATZNER, B.; KOHMANN, F. & HILDREW, A.G. (1991). Calibration of FST-hemispheres against bottom shear stress in a laboratory flume. *Freshwater Biology* 26: 227-231.

STATZNER, B. & MÜLLER, R. (1989). Standard hemispheres as indicators of flow characteristics in lotic benthos research. *Freshwater Biology* 21: 445.

TOMANOVA, S.; MOYA, N. & OBERDORFF, T. (2008). Using macroinvertebrate biological traits for assessing biotic integrity of neotropical streams. *River research and applications* 24: 1230-1239.

TOWNSEND, C. R. & HILDREW, A. G. (1994). Species traits in relation to a habitat templet for river systems. *Freshwater Biology* 31: 265-275.

Llibres (claus d'identificació emprades a lopes):

OSCOZ, J.; GALICIA, D. & MIRANDA, R. (2011) *Identifications Guide of Freshwater Macroinvertebrates of Spain*. Pamplona: Universitat de Navarra. Departament de zoologia i ecologia. Editorial Springer: ISBN: 978-94-007-1553-0.

TACHET, H.; RICHOUX, P.; BOURNAUD, M. & USSEGLIO-POLATERA, P. (2002) *Invertébrés d'Eau Douce* (2nd corrected impression). CNRS éditions, Paris.

Parts de llibres:

ALLAN, J.D. <<Stream Ecology. Structure and function of running waters>>. University of Michigan: School of Natural Resources and Environment. Chapman & Hall, 1995, cap. 1-6, pàg. 1-161. ISBN: 0-412-29430-3.

ELOSEGI, A.; SABATER, S. <<Conceptos y técnicas en ecología fluvial>>. RODRIGUES-CAPÍTULO, A.; MUÑOZ, I.; BONADA, N.; GAUDES, A.; TOMANOVA, S. *La biota de los ríos: los invertebrados*. Fundación BBVA, 2009, cap. 14, pàg. 253-270. ISBN: 978-84-96515-87-1.

HAUER, F. R.; LAMBERTI, G. A. <<Methods in Stream Ecology>>. A¹): WALLACE, J. B.; GRUBAUGH, J. W. *Transport and Storage of FPOM*. Academic Press, 1996, cap 10, pàg. 191-216. A²): LAMBERTI, Gary A.; GREGORY, Stanley V. *Transport and Retention of CPOM*. Academic Press, 1996, cap 11, pàg. 217-232. ISBN: 0-12-332906-X.

MUNRO, S. E. <<El río y la forma. Introducción a la Geomorfología Fluvial>>. RIL editores, 2010, pàg. 53-83. ISBN: 978-956-284-710-0.

PUIG, M. A. <<Els macroinvertebrats dels rius catalans. Guia il·lustrada>>. Generalitat de Catalunya: Departament de Medi Ambient, 1999, pàg. 53-131. ISBN: 84393-4828-2.

Recursos electrònics:

Terradas, Núria. Parc Natural del Montseny. Pla Especial de protecció [en línia]. Barcelona: Observatori de projectes i debats territorials de Catalunya. Actualitzat a 31/12/2007. <http://territori.scot.cat/cat/notices/parc_natural_del_montseny_pla_especial_de_proteccio_660.php> [Consulta: 14 març 2013].

Institut cartogràfic de Catalunya (ICC) [en línia]. <<http://www.icc.es>> [Consulta: 25 març 2013].

ANNEX**Taules dels resultats obtinguts:**

	Profunditats	Granulometria		Profunditats	Granulometria
TRANSECTE 1	3	2	TRANSECTE 8	2	4,5
	6	6		0	8
	9,5	6		0	8
	2	8		17	7
	4	6,5		12	4,5
	1	8		3	6
	16	4,5		8	6,5
	10	8		8	6,5
	15	5		0	7
	16,5	5,5		0	6,5
	1,5	8	TRANSECTE 9	0	8
	11,5	5		1	8
	13	7		9	6
	13	8		2	8
	7	5		4	7
	4	4		0	8
	0,5	4,5	TRANSECTE 10	4	6
TRANSECTE 2	0,5	2		0	8
	21	2		7,5	7
	13,5	5		7	5
	15,5	5,5		0,2	8
	18,5	5		7	5,5
	20	6		2	3
	9	8	TRANSECTE 11	2	2
	15	5,5		2,5	6,5
	6	8		18	6,5
	19	6		13	8
	8,5	8		26	7
	8	8		25	7
	8,5	8		27	6,5
TRANSECTE 3	11	2		21	6
	10	8		8	8
	12	5,5		20	4,5
	0,5	8		10	4,5
	9	6,5		5	3,5
	0,5	8		2	3,5
	14	5,5	TRANSECTE 12	4	3
	11	6,5		13	8
	18	8		17	3,5
	17,5	2		18	6
TRANSECTE 4	0,5	8		17	6
	2	8		3,5	8
	6,5	8		17	4,5
	0,5	8		18	5,5
	4	5,5	TRANSECTE 13	6,5	5,5
	0,5	5,5		0	8
TRANSECTE 5	7	4,5		15	4,5
	7	6,5		4	8
	13	4,5		22	7
	6	6,5		23	6
	6,5	4,5		21	4
	6	4,5		17	4,5
	1	8	TRANSECTE 14	1	4,5
	0	8		1	6,5
	1	2		0	8
TRANSECTE 6	2	4,5		10	4
	2	6,5		6	8
	5	4		12	8
	4,5	8		8	7
	5	6		6	5,5
	7	6	TRANSECTE 15	3	4,5
	9	5,5		7,5	6,5
	9,5	6,5		15	6,5
	10,5	6,5		2	8
	10	7		7	8

	2	8		14	5
	0,5	8		12	4,5
	0	8		8	7
	0,5	4,5		9,5	8
	0,5	2		4	6,5
TRANSECTE 7	0,5	2	TRANSECTE 16	8	4,5
	3,5	4,5		11	5,5
	7	8		13	8
	3	6,5		10	7
	0	8		0	8
	0	8		0	8
	16	7		1	8
	14	7		0	8
	5	6,5		4	7
	3,5	5,5		1	7
	4	5		0	7
	2	3,5			
	1	2			

Taula 2A: Transsectes de la Riera de Santa Fe: vam mostrejar 16 diferents. Dades de cada 30cm del transsecte. Total del tram era de 75m.

GRANULÒMETRE	
Mida granulòmetre	Dimàtre màxim de la partícula (cm)
>12	>17.1
11	15,5
10	14,1
9	12,8
8	11,4
7	9,9
6	8,5
5	7
4	5,7
3	4,3
2,5	3,5
1,5	2
1	1

Taula 2B: Mides del granulòmetre emprat per a mostrejar les pedres i còdols.

Abundàncies de les famílies de macroinvertebrats:

	FAMÍLIES	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9
DIPTERA	Chironomidae	641	531	168	394	316	373	442	374	244
	Athericidae	2	2	0	2	1	1	3	0	0
	Ceratopogonidae	1	6	0	4	0	0	1	3	0
	Limoniidae	2	29	1	22	14	12	15	0	4
	Syrphidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Empididae	0	2	1	0	0	0	0	0	0
	Dixidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Simuliidae	0	0	1	4	23	63	4	0	0
	Tipulidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Limnephilidae	1	5	2	0	0	0	1	24	11
TRICHOPTERA	Odontoceridae	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sericostomatidae	0	1	0	0	0	0	0	0	1

	Philopotamidae	0	1	0	6	21	2	0	0	0
	Hydropsychidae	0	2	0	17	40	8	5	0	0
	Rhyacophilidae	0	3	2	9	2	3	5	0	1
	Psychomyiidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0
PLECOPTERA	Chloroperlidae	81	147	22	120	19	24	101	207	81
	Nemouridae	21	20	5	26	38	7	15	30	11
	Leuctridae	16	14	5	24	26	14	9	120	16
	Perlidae	1	7	0	35	35	7	24	0	0
	Perlodidae	0	0	1	2	0	1	0	0	0
EPHEMEROPTERA	Heptageniidae	5	25	19	49	22	26	20	2	5
	Leptophlebiidae	5	105	5	22	25	22	25	131	10
	Ephemerellidae	88	93	5	108	196	39	98	7	54
	Baetidae	0	16	8	23	7	10	4	9	2
COLEOPTERA	Elmidae	14	33	8	19	14	9	14	3	2
	Hydraenidae	0	0	0	8	9	5	2	0	0
TRICLADIDA	Planariidae	0	9	0	8	6	5	7	2	1
MOLLUSCA	Ancylidae	0	0	4	0	1	0	0	1	0

Taula 5: Abundàncies de les famílies trobades als 9 punts del tram de la Riera de Santa Fe.

Els trets biològics:

Tret	Categoria	Codi	Mitjana A	Mitjana M	Mitjana B	kw	p-valor
Mida màxima	>.25-.5 cm	a2	0,26	0,31	0,31	1,69	0,430
	>.5-1 cm	a3	0,51	0,51	0,53	0,62	0,733
	>1-2 cm	a4	0,17	0,15	0,15	0,80	0,670
	> 2-4 cm	a5	0,05	0,02	0,01	6,49	0,039
	>4-8 cm	a6	0,01	0,00	0,00	4,27	0,118
Durada cicle de vida	≤ 1 any	b1	0,85	0,87	0,86	0,62	0,733
	>1 any	b2	0,15	0,13	0,14	0,62	0,733
Estadis aquàtics	Ou	d1	0,39	0,39	0,40	0,27	0,875
	Larva	d2	0,41	0,39	0,40	1,16	0,561
	Nimfa	d3	0,04	0,01	0,01	5,60	0,061
	Adult	d4	0,17	0,20	0,19	0,80	0,670
Reproducció	Ous isolats, lliures	e2	0,00	0,00	0,00	4,36	0,113
	Ous isolats, fixes	e3	0,27	0,22	0,24	1,87	0,393
	Massa d'ous, fixes	e4	0,40	0,46	0,43	5,60	0,061
	Massa d'ous, lliures	e5	0,29	0,30	0,31	1,16	0,561
	Massa d'ous terrestres	e7	0,04	0,01	0,01	5,60	0,061
	Reproducció asexual	e8	0,00	0,00	0,00	3,47	0,177
Respiració	Tegument	j1	0,64	0,74	0,82	5,96	0,051
	Brànquia	j2	0,30	0,22	0,17	5,07	0,079
	Plàstron	j3	0,01	0,01	0,00	5,96	0,051
	Espiracle	j4	0,05	0,03	0,01	6,49	0,039
Locomoció	Volador	u1	0,01	0,02	0,01	4,36	0,113
	Nedador superfície	u2	0,03	0,02	0,02	0,62	0,733

Alimentació	Nedador fons	u3	0,24	0,19	0,19	1,16	0,561
	Marxador	u4	0,61	0,66	0,67	2,49	0,288
	Excavador	u5	0,11	0,11	0,12	0,62	0,733
	Sediment fi	h1	0,16	0,19	0,20	1,69	0,430
	Detritus <1mm	h2	0,28	0,29	0,29	0,80	0,670
	Detritus >1mm	h3	0,15	0,13	0,14	0,62	0,733
	Micròfits vius	h4	0,13	0,09	0,07	5,96	0,051
	Macròfits vius	h5	0,02	0,02	0,02	1,42	0,491
	Invertebrats morts >1mm	h6	0,01	0,00	0,00	4,51	0,105
	Microinvertebrats vius	h7	0,18	0,22	0,23	3,29	0,193
	Macroinvertebrats vius	h8	0,07	0,06	0,05	1,07	0,587
Mode d'alimentació	Absorció	i1	0,07	0,04	0,04	0,62	0,733
	Recol·lector	i2	0,35	0,36	0,34	0,36	0,837
	Triturador	i3	0,21	0,22	0,29	0,36	0,837
	Brostejador	i4	0,07	0,07	0,04	2,76	0,252
	Filtrador	i5	0,05	0,00	0,00	7,45	0,024
	Picador (planta o animal)	i6	0,00	0,00	0,00	0,64	0,725
	Depredador	i7	0,26	0,31	0,29	1,16	0,561
Flexibilitat cos	Poca	k1	0,03	0,04	0,03	1,16	0,561
	Intermitja	k2	0,13	0,11	0,06	2,49	0,288
	Elevada	k3	0,84	0,86	0,91	1,42	0,491
Forma del cos	Aplanada	m1	0,10	0,09	0,04	5,42	0,066
	Cilíndrica	m2	0,90	0,91	0,96	5,42	0,066
Adaptacions al corrent	Ventoses	l1	0,00	0,01	0,00	0,75	0,688
	Estoigs	l2	0,00	0,00	0,01	6,16	0,046
	Ungles anals	l3	0,01	0,00	0,00	6,76	0,034
	Ungles tarsals	l4	0,44	0,39	0,42	0,36	0,837
	Sense	l5	0,55	0,60	0,57	0,36	0,837

Taula 10: Dades dels p-valors (test Kruskal Wallis, $p < 0.05$), codis, mitjanes dels hemisferis FST i valors del chi-quadrat dels 11 trets de les famílies observades en les 9 mostres.

Gèneres de Plecoptera i Ephemeroptera:

	Amphinemura	Nemoura	Leuctra	Siphonoperla	Epeorus	Ecdyonurus	Rhithrogena	Habroleptoides
M1	3	18	16	81	0	5	0	5
M2	16	4	14	147	6	16	3	105
M3	2	3	5	22	15	3	1	5
M4	18	8	24	120	32	5	12	22
M5	34	4	26	19	14	5	3	25
M6	7	0	14	24	22	2	2	22
M7	14	1	9	101	4	9	7	25
M8	4	26	120	207	1	1	0	130
M9	3	8	16	81	0	5	0	10

Taula 12: Abundàncies totals dels 8 gèneres escollits de Plecoptera i Ephemeroptera.

Hemisferis Fliesswasserstammtisch o FST (ampliació):

Els hemisferis FST integren les característiques hidràuliques principals. Aquestes es calculen a partir d'estimacions de les variables hidràuliques individuals tals com la velocitat mitjana, el pendent, la profunditat, la rugositat del fons, la viscositat i la densitat de l'aigua. A més, els hemisferis es podrien utilitzar com un mètode estàndard en la investigació bentònica, ja que ofereixen una escala ben definida que és directament comparable amb els estudis sobre corrents d'aigües. La densitat de l'hemisferi més pesat mogut per un cert flux indica les característiques d'aquest prop de la part inferior del corrent (Statzner et al, 1989). Aquesta força d'arrossegament que mourà els hemisferis, a la natura dependrà del número de Reynolds (Re) (Statzner, 1988).

En l'estudi de Statzner & Higler (1986) suggereixen que les característiques físiques del flux ("stream hydraulics") són el factor ambiental més important que determina la zonificació de la corrent del bentos a escala mundial.

Es pot aplicar aquest mètode de dues maneres. La primera d'elles (preferible per Statzner & Müller, 1989), és que tothom faci servir els hemisferis i els procediments exposats pels mateixos (rèpliques idèntiques dels que es defineixen com a "estàndard" en aquest article). D'aquesta manera, tindrem una escala definida de 0 a 24, que és directament comparable amb altres estudis. La segona opció és que s'utilitzarien hemisferis d'idèntica grandària i superfície, però densitats diferents a les exposades per a cadascun dels 24 hemisferis (Statzner & Müller, 1989).

En el cas de l'estudi fet en Statzner et al (1991), molts dels mètodes estàndards utilitzats pels enginyers per descriure les condicions físiques en els rierols i rius es basen en la llei de distribució de velocitats "Prandtl-von Karman universal". Que coincideixin amb aquesta llei va ser la principal raó per basar el seu calibratge en ella, però són conscients que els fluxos dels corrents no sempre se segueixen. Tot i això, fins i tot en aquestes condicions "sense llei", on és molt difícil estimar la tensió de cisallament local mitjançant mètodes convencionals, els hemisferis FST són moguts per una força de flux que preval a la part inferior, que ha d'estar a prop de la predita per les seves corbes de calibratge.(Statzner et al, 1991).

En aquest estudi (Statzner et al 1991), tornen a calibrar un nou grup de cada tipus d'hemisferi, així com un prototip estàndard que ha estat utilitzat de forma intensiva en el treball de camp. No obstant, amb les dades obtingudes queda la qüestió de la validesa dels calibratges fets al laboratori que després s'han d'aplicar al camp.

Finalment, esmentar que aquests hemisferis no només són aplicables per corrents d'aigües, també ho són per altres ambients aquàtics amb fluxos forts (Statzner & Müller, 1989), per això els hemisferis s'han mantingut com a eines atractives per als ecologistes d'aigua dolça que desitgin descriure les forces bentòniques reals a escala dels organismes (Dolédéc, 2007).

Procediment Programa Rstudio:

Introduir la matriu de les abundàncies de les famílies trobades en format txt (delimitat per tabulacions), sempre vigilant que el fitxer Excel original no tingui espais o macarà error. Anomenar "macros":

```
> macros<-read.table("matriufamiliesR1.txt")
```

Introduir també un txt amb les hemisferes, al qual li anomenar "hemis":

```
> hemis<-read.table("hemis.txt", header=TRUE)
```

Instal·lar el paquet vegan :

```
> install.packages("vegan")
```

```
> library(vegan)
```

Calcular la riquesa d'espècies utilitzant la funció "specnumber()" de vegan, (si dona error, transposar la matriu "macros"):

```
> macros<-t(macros)
```

```
> riquesa<-specnumber(macros)
```

Fer un gràfic ("boxplot") de la riquesa d'espècies, però alerta, només agafar la part de les categories de la matriu "hemis" (per això es posa "\$Categories"):

```
> boxplot(riquesa~hemis$Categories, main="Riquesa d'espècies")
```

No obstant, aquesta riquesa d'espècies no està rarificada. Per poder-la rarificar, cal saber per a quina abundància, per això mirar les abundàncies totals (número d'individus de qualssevol família) a cadascun dels punts de mostreig. Anomenar "abund":

```
> abund<-apply(macros,1,sum)
```

Abans de fer un boxplot amb les abundàncies, ordenar les categories:

```
> AMB<-cbind(abund, hemis)
```

```
> AMB$Categories<-ordered(AMB$Categories,levels=c("A", "M", "B"))
```

```
> boxplot(AMB$abund ~ AMB$Categories, main="Abundàncies")
```

Mirar les abundàncies en funció dels hemisferis:

```
> aggregate(abund~hemis$Categories, FUN=median)
```

Ara ja es pot calcular la rarefacció per a una abundància total de 100 individus. Així s'obtenen mesures de riquesa comparables:

```
> riquesa.rar<-rarefy(macros,100)
```

Comparar la riquesa sense rarificar i la rarificada i fer un boxplot per poder analitzar millor visualment. Per a que apareguin els 2 gràfics a la vegada fer "mfrow=c(1,2)" (indicar que es volen gràfics en 1 fila i 2 columnes). A més, guardar els paràmetres gràfics originals a "op" per poder restablir l'entorn gràfic després:

```
> op<-par(mfrow=c(1,2))
```

Però abans ordenar les categories:

```
> AMB<-cbind(riquesa, hemis)
```

```
> AMB$Categories<-ordered(AMB$Categories,levels=c("A", "M", "B"))
```

```
> boxplot(AMB$riquesa~AMB$Categories,main="Riquesa d'espècies\nno rarificada")
```

Fer el mateix amb riquesa.rar

```
> par(op)#restablir pars.gràfics
```

Per saber si són significatives les diferències que s'observen als gràfics, fer el test de Kruskal Wallis:

```
> kruskal.test(riquesa.rar~hemis$Categories)
```

Test kruskal wallis de Riquesa.rar COMPARANT 2 hemis:

```
> kwriquesa.rar_AB<-kruskal.test(riquesa.rar ~ hemis$Categories, subset=
hemis$Categories%in% c("A", "B"))
```

```
> kwriquesa.rar_AM<-kruskal.test(riquesa.rar ~ hemis$Categories, subset=
hemis$Categories%in% c("A", "M"))
```

```
> kwriquesa.rar_BM<-kruskal.test(riquesa.rar ~ hemis$Categories, subset=
hemis$Categories%in% c("B", "M"))
```

Calcular les diversitats biològiques amb els índexs de Shannon i Simpson amb la funció "diversity()":

```
> shannon<-diversity(macros,index="shannon")
```

```
> simpson<-diversity(macros,index="simpson")
```

Per tal de visualitzar-ho, fer un boxplot com s'ha fet abans amb "riquesa" i riquesa.rar":

```
> op<-par(mfrow=c(1,2))
```

```
> #CANVIAR D'ORDRE A-M-B en el boxplot per SHANNON
```

```
> AMB<-cbind(shannon, hemis)
> AMB$Categories <- ordered(AMB$Categories, levels=c("A", "M", "B"))
> boxplot(AMB$shannon ~ AMB$Categories, main="Shannon")
```

Fer el mateix amb Simpson

```
> par(op)#restablir pars.gràfics
```

A més, amb Shannon i Simpson també cal aplicar el test de Kruskal Wallis:

```
> kruskal.test(shannon~hemis$Categories)
```

> #kruskal wallis de Shannon COMPARANT 2 hemis

```
> kwshannon_AB<-kruskal.test(shannon ~ hemis$Categories, subset= hemis$Categories%in%
c("A", "B"))
> kwshannon_AM<-kruskal.test(shannon ~ hemis$Categories, subset= hemis$Categories%in%
c("A", "M"))
> kwshannon_BM<-kruskal.test(shannon ~ hemis$Categories, subset= hemis$Categories%in%
c("B", "M"))
```

Fer el mateix amb Simpson

COMPOSICIÓ I ESTRUCTURA DE LA COMUNITAT:

Serveix per mirar amb més detall quins hemisferis s'assemblen més a quins altres pel que respecte a les famílies de macroinvertebrats. Per això es mira la SIMILITUD. En aquest cas s'utilitza un "Anàlisi de Correspondència difós o FCA" amb l'ajut del paquet "ade4". Alerta perquè ens demanarà el nº d'eixos que es vol i s'ha d'introduir (mirar groc)

```
> library(ade4)
> CA_macros<-dudi.coa(macros)
Select the number of axes:
2
> sum(CA_macros$eig)
> s.class(CA_macros$li, hemis$Categories)
> CA_macros_DIF<-between(CA_macros, hemis$Categories, scanmf=F)
```

Per saber si hi ha diferències significatives, aplicar el test de Randomització:

```
> randtest(CA_macros_DIF)
```

CANVIS FUNCIONALS

Hem vist els canvis en la estructura de la comunitat, però ens queda saber si hi ha diferències respecte la funcionalitat.

```
> etiquetes<-read.table("etiquetes.txt",h=T)
> bloc<-read.table("bloc.txt",h=T)
> trets_macros<-prep.fuzzy.var(trets,bloc$bloc)
> macros<-t(macros)
> prop_macros<-macros
> for(i in 1:9){prop_macros[i,]<- macros[i,]/sum(macros[i,])}
> apply(prop_macros,1,sum)
> matriuC<-as.matrix(prop_macros)%*%as.matrix(trets_macros)
```

Obrir la "matriuC" en un fitxer Excel:

```
> write.table(matriuC,file="matriuC.xls")
```

En aquesta "matriuC" tenim proporcions dels trets que predominen. Aplicar un "Anàlisi de correspondència difós o FCA" i també el test de Randomització (com abans).

A continuació, per saber si hi ha diferències dels trets entre hemisferes A-M-B fer:

```
> matriuC<-as.data.frame(matriuC)
> for(i in 1:57){z<-matriuC[,i];cat<-names(matriuC[i])print(cat)
+ print(kruskal.test(matriuC[,i],hemis$Categories))}
```

Tenim 11 trets i 57 categories, amb això aplicar:

```
> scatter(CA_trets)
```

Aplicar l'índex de Rao (relacionat amb l'índex de Simpson, per això es fa amb la matriu "macros"). Com s'ha d'eliminar alguns trets, cal extreure la matriu "trets_macros" a l'Excel:

```
write.table(trets_macros, "trets_macros.xls").
```

Eliminar els trets que calgui (en el nostre cas a1, a7, b1, b2,...) i fer el mateix amb la matriu de trets i del bloc:

```
> trets_rao<-read.table("trets_rao.txt", h=T)
> bloc_rao<-read.table("bloc_rao.txt", h=T)
```

Calcular l'índex de Rao i obtenir així les diversitats de cada punt de mostreig:

```
> trets_macros_rao<-prep.fuzzy.var(trets_rao,bloc_rao$bloc)
> trets_rao_fca<-dudi.fca(trets_macros_rao, scan=F, nf=ncol(trets_rao))
> trets_rao_fca_dist<-dist.dudi(trets_rao_fca)
> trets_rao_div<-divc(tmacros,trets_rao_fca_dist)
```

> #CANVIAR D'ORDRE A-M-B en el boxplot per DIVERSITAT RAO

```
> AMB<-cbind(trets_rao_div, hemis)
> AMB$Categories <- ordered(AMB$Categories, levels=c("A", "M", "B"))
> boxplot(AMB$diversity ~ AMB$Categories, main="Diversitat Rao")
```

Finalment, per saber si les diferències són significatives o no, aplicar el test Kruskal Wallis:

```
> #Kruskal wallis de RAO diversity GENERAL (les 3 hemis)
> kruskal.test(trets_rao_div$diversity~hemis$Categories)
```

```
> #kruskal wallis de Rao diversity COMPARANT 2 hemis
> kwrao_AB<-kruskal.test(trets_rao_div$diversity ~ hemis$Categories, subset=
hemis$Categories%in% c("A", "B"))
> kwrao_AM<-kruskal.test(trets_rao_div$diversity ~ hemis$Categories, subset=
hemis$Categories%in% c("A", "M"))
> kwrao_BM<-kruskal.test(trets_rao_div$diversity ~ hemis$Categories, subset=
hemis$Categories%in% c("B", "M"))
```

A continuació, introduir les matrius dels gèneres (categoria de l'hemisfera i mides) que tenim en l'Excel.

```
> amp<-read.table("amphinemura.txt")
```

Introduir tots els altres, després fer els boxplots de tots (de 2 en 2):

```
> ##BOXPLOTS GÈNERE (separar plecòpters dels efemeròpters)
> par(mfrow=c(1,2))
> #CANVIAR D'ORDRE A-M-B en el boxplot per PLECÒPTERS
> ##Amphinemura
> AMB<-cbind(amp)
> AMB$hemisfera <- ordered(AMB$hemisfera, levels=c("A", "M", "B"))
> boxplot(AMB$mida ~ AMB$hemisfera,col="blue", main="Amphinemura")
```

Fer el mateix amb els altres gèneres. Després aplicar el test de Kruskal Wallis:

```
> #Kruskal wallis gèneres GENERAL (les 3 hemis)
> kruskal.test(amp$mida~amp$hemisfera)
```

Fer el mateix amb els altres gèneres.

```
> #kruskal wallis de AMPHINEMURA COMPARANT 2 hemis
> kwamp_AB<-kruskal.test(amp$mida~amp$hemisfera, subset= amp$hemisfera%in% c("A", "B"))
> kwamp_AM<-kruskal.test(amp$mida~amp$hemisfera, subset= amp$hemisfera%in% c("A",
"M"))
> kwamp_BM<-kruskal.test(amp$mida~amp$hemisfera, subset= amp$hemisfera%in% c("B",
"M"))
```

Fer el mateix amb els altres gèneres.