



Els briòfits de les fonts de la Serralada Litoral Central: composició específica i efecte dels paràmetres ambientals en la seva distribució

Jordi Corbera ¹, Marcos Fernández-Martínez ^{1,2,3}, Miquel Jover ⁴, Guillem Torner ¹,
Mercè Calpe ¹, Oriol Ciurana ¹ i Francesc Sabater ^{1,5}

¹ Delegació de la Serralada Litoral Central, ICHN, Mataró

² Unitat d'Ecologia Global, CREAM-CSIC-UAB, Cerdanyola del Vallès

³ CREAM, Cerdanyola del Vallès

⁴ Departament de Ciències Ambientals, Facultat de Ciències, Universitat de Girona

⁵ Departament d'Ecologia, Universitat de Barcelona

*THE BRYOPHYTES OF THE SERRALADA LITORAL CENTRAL'S SPRINGS: SPECIFIC COMPOSITION AND EFFECTS OF ENVIRONMENTAL PARAMETERS ON THEIR DISTRIBUTION. – Springs, as a rather constant source of water, provide an adequate habitat for the establishment of bryophyte communities. The features of these waters play a major role in determining the specific composition of such communities. With the aims of discovering which communities of bryophytes can be found in the springs of the Serralada Litoral Central (Barcelona, NE Iberian Peninsula) and how the environment affects their composition we collected bryophyte samples from 56 springs located along this mountain range between January and July 2013. In addition, at each fountain, we measured several physical and chemical variables of their water. We identified 26 bryophyte species (5 liverworts and 21 mosses). By means of cluster analysis, springs were separated into three groups according to the specific composition of the communities of bryophytes, dominated respectively by *Oxyrrhynchium speciosum*, *Eurhynchium cf. praelongum* and *Eucladium verticillatum*. Compared to the other two groups, that dominated by *E. verticillatum* showed significantly higher values of mean annual temperature, water deficit, conductivity and sodium and magnesium concentrations, while mean annual precipitation was lower. The flora of bryophytes of the Serralada Litoral Central's springs showed a similar composition as that previously described for these habitats in other comarable regions, although the flora was slightly impoverished due to the lack of clearly basophile species. Mean annual rainfall and temperature as well as certain correlated factors within the mountain range (such as altitude, the percentage of metamorphic rock and ion concentrations) seem to be the most important variables determining the distribution of the species.*

Introducció

Els briòfits són plantes d'origen molt antic i van ser uns dels primers organismes en colonitzar els ecosistemes terrestres de forma permanent. Es coneixen briòfits fòssils des del període Devonià, ara fa uns 350 milions d'anys. Tot i així, milions d'anys d'evolució no els ha conduït a viure gaire lluny de l'aigua. A diferència de les plantes vasculars, els briòfits no han desenvolupat arrels amb les quals obtenir l'aigua que està al subsòl i per tant només poden utilitzar aquella que és accessible per sobre el sòl (Proctor, 1982). Per això, o bé viuen en ambients humits, o s'han adaptat a sobreviure a llargs períodes de dessecació (Dilks i Proctor, 1974), ja sigui tolerant la deshidratació

(durant la qual es mantenen inactius, però amb vida) com en forma d'espores al sòl.

Els briòfits es diferencien de la resta de plantes terrestres perquè no tenen veritables vasos conductors i els seus teixits tenen un grau de diferenciació molt baix. Per això, com ja hem comentat, no tenen arrels, però tampoc ni veritables tiges, ni fulles. Són, doncs, plantes de mida generalment reduïda (entre un pocs mil·límetres i en comptades ocasions més de 20 cm), de les quals es coneixen unes 24.000 espècies a tot el món (Brugués, 1985).

Els briòfits es divideixen en tres grans grups, els quals es diferencien pels caràcters morfològics i reproductius: les antocerotes, les hepàtiques i les molles. Les antocerotes, de les quals

s'en coneixen quatre espècies a Catalunya, són un grup antic que es diferencia dels altres dos perquè les seves cèl·lules tenen, igual que les algues, un únic cloroplast. A més, sempre són tal·looses, és a dir, en forma de làmines verdes, que sovint es ramifiquen de forma dicòtoma. Les hepàtiques, amb unes 200 espècies a Catalunya (Cros i Brugués, 2014), poden ser tal·looses o folioses, però els seus rizoides són sempre unicel·lulars; quan són folioses els fil·lids no tenen mai un nervi central i sovint aquells poden ser lobulats. Finalment, les molses, de les quals s'han citat més de 500 espècies a Catalunya (Brugués i Cros, 2014), mai són tal·looses, els rizoides són multicel·lulars, i els fil·lids generalment són allargats i mai lobulats, i sovint tenen un nervi central de longitud variable, que pot, fins i tot, sobrepassar l'àpex del fil·lidi.

Els briòfits poden créixer sobre una gran varietat de substrats i sovint formen diferents comunitats segons sigui el tipus d'hàbitat (talussos de terra, escorça dels arbres, marges dels torrents, a les parets dels entorns de les fonts..., o fins i tot pedres a ple sol) (vegeu Watson, 1968; Cros, 1985). Tant l'alcalinitat com l'acidesa del sòl solen ser factors força rellevants pel que fa a la distribució de les espècies, atès que hi ha espècies basòfiles (afins a sòls alcalins), mentre d'altres són acidòfiles (que prefereixen els sòls àcids). També n'hi ha d'indiferents a les característiques del substrat, i d'altres que tenen una lleugera preferència per un o altre determinat tipus de sòl. La quantitat

d'il·luminació és un altre factor clau en la composició de la flora de briòfits d'un lloc determinat, moltes espècies són esciòfiles (que viuen en llocs ombrívols), mentre que algunes són fotòfiles (amants de la llum). En el cas de les espècies més hidròfiles (les que viuen en llocs molt humits o fins i tot dintre de l'aigua), la qualitat fisicoquímica de l'aigua és un dels factors que pot determinar la seva distribució (Kapfer *et al.*, 2012).

Casas *et al.* (1956) donen les primeres dades de la flora briològica de la Serralada Litoral Central (La Roca i Vallromanes), però és Cros (1985) qui estudia en profunditat l'àrea del Montnegre i visita més d'una setantena de localitats d'aquesta serra. També inclou en el seu treball un bon nombre de mostres recol·lectades al final dels anys 40 per Pere Montserrat mentre herboritzava plantes vasculars a la serralada amb l'objectiu de preparar la seva tesi doctoral i, com a resultat, cita un total de 63 hepàtiques i 151 molses al Montnegre. A més, fa una anàlisi de les diferents associacions a partir de les característiques de l'hàbitat, la natura química del substrat i la il·luminació.

Les fonts són un hàbitat propici pel desenvolupament de les comunitats de briòfits atès que no hi manca un element importantíssim com és l'aigua, però la seva composició química, la situació geogràfica de la font i la vegetació i el tipus de litologia circumdants poden condicionar les espècies que s'hi desenvolupen (fig. 1). Per això, els l'objectius d'aquest treball són: i) identificar les espècies de briòfits que creixen en un am-



Figura 1. Font dels Àlbers d'en Javà, Argentona, on creix una comunitat fontinal característica amb l'hepàtica *Pellia endiviifolia*, la molsa *Oxyrrhynchium speciosum* i la falzia (*Adiantum capillus-veneris*).

Taula 1. Localització de les fonts estudiades amb indicació de l'altitud, la data de mostreig i el codi utilitzat en les anàlisis estadístiques.

Nom	Codi	Data	Localitat	UTM x	UTM y	Altitud
F. dels Eucaliptus	ALL 01	29-06-13	Alella	439370	4595351	305
F. del Safreig	ALL 02	29-06-13	Alella	439240	4595257	318
F. de les Sureres	ARG 01	26-01-13	Argentona	449143	4599540	112
F. de l'Esquirol	ARG 02	26-01-13	Argentona	449111	4599437	131
F. del Ferro (D)	ARG 03	26-01-13	Argentona	449027	4599420	163
F. del Grup	ARG 05	26-01-13	Argentona	449050	4599248	159
F. de la Puput	ARG 06	26-01-13	Argentona	449372	4599141	192
F. dels Castanyers d'en Cabot	ARG 07	26-01-13	Argentona	448563	4600605	202
F. del Roure	ARG 08	16-02-13	Argentona	448867	4601256	165
F. del Llorer	ARG 09	16-02-13	Argentona	448093	4604243	245
F. dels Àlbers d'en Javà	ARG 10	16-02-13	Argentona	448483	4604638	237
F. del turó de Cerdanyola	ARG 11	15-06-13	Argentona	451709	4599859	100
F. de l'Aigua Roja	ARY 01	01-06-13	Arenys	458290	4607012	351
F. del Goig	BAD 02	29-06-13	Badalona	436513	4593116	248
F. del Sot	DRS 01	16-02-13	Dosrius	449765	4605866	157
F. del Malpàs	DRS 02	16-02-13	Dosrius	457249	4606098	395
F. d'en Pagès	DRS 03	16-02-13	Dosrius	457811	4606385	425
F. del Ferro	DSR 04	09-03-13	Dosrius	454224	4607850	469
F. de ca l'Arenes	DSR 05	09-03-13	Dosrius	455095	4607673	472
F. del Grèvol	DSR 06	09-03-13	Dosrius	456191	4607866	531
F. d'en Homs	DSR 07	01-06-13	Dosrius	453121	4603283	330
F. de la Moreneta	DSR 08	01-06-13	Dosrius	453402	4603336	320
F. des Avellaners	DSR 09	01-06-13	Dosrius	454650	4603453	295
F. de San Bartomeu	LRC 01	15-06-13	La Roca	445004	4601420	350
F. de la Mansa	LRC 02	15-06-13	La Roca	445325	4602879	270
F. de can Planas	LRC 03	15-06-13	La Roca	444374	4603930	153
F. de Sant Mateu	PRD 01	04-05-13	Premià de Dalt	443954	4596576	450
F. del Rector	SCL 01	23-03-13	Olzinelles	459412	4612767	247
F. de l'Aranyal	SCL 02	23-03-13	Olzinelles	459766	4613166	256
F. de Lourdes	SCL 03	23-03-13	Olzinelles	460297	4612186	294
F. de Santa Maria	SCL 04	13-04-13	Sant Celoni	466109	4612216	619
F. del Degotall	SCL 05	13-04-13	Sant Celoni	465984	4612223	614
F. de Sant Martí	SCL 06	13-04-13	Sant Celoni	463955	4613536	446
F. de la Nespereta	SCL 07	13-04-13	Sant Celoni	463092	4613230	400
F. d'en Penjarella	SCL 08	13-04-13	Sant Celoni	462351	4614675	390
F. Montnegre	SIS 01	13-04-13	Sant Iscle	464035	4611771	598
F. de Ferro	SMM 01	05-07-13	Sta. M ^a Martorelles	438466	4595475	340
F. Sunyera	SMM 02	05-07-13	Sta. M ^a Martorelles	438318	4596024	214
F. del Ca	SMM 03	05-07-13	Sta. M ^a Martorelles	438363	4595840	245
F. de la Dinamita	STF 01	05-07-13	Sant Fost	437571	4595230	248
F. del Vedat	TEI 01	04-05-13	Teià	443449	4595668	350
F. dels Ajupits II	TEI 02	04-05-13	Teià	443436	4595880	350
F. dels Ajupits I	TEI 03	04-05-13	Teià	443436	4595917	366
F. de les Perdius	TEI 04	04-05-13	Teià	443384	4595535	275
F. del Senglar	TEI 05	04-05-13	Teià	443132	4595677	240
F. del Botxer	TEI 06	15-06-13	Teià	443402	4596143	409
F. de la Brinxà	TRD 01	13-04-13	Tordera	466443	4612309	539
F. dels Ocells	TRD 02	13-04-13	Tordera	468462	4612439	426
F. dels Amics	TRD 03	13-04-13	Tordera	468112	4611551	293
F. de la Figuerassa	VLG 01	09-03-13	Vallgorguina	458099	4608415	437
F. del Perdigot	VLG 02	09-03-13	Vallgorguina	458007	4608390	435
F. dels Polletons	VLG 03	09-03-13	Vallgorguina	459482	4608759	377
F. del Forn	VLG 06	23-03-13	Vallgorguina	458792	4610788	241
F. de can Gurguí	VLL 01	15-06-13	Vallromanes	443294	4596691	330
F. d'en Dirol	VSD 01	04-05-13	Vilassar de Dalt	445374	4597793	367
F. d'en Mamet	VSD 02	04-05-13	Vilassar de Dalt	444231	4597541	290

bient tan particular, com són les fonts dins d'un àmbit geogràfic força ampli, el tram central de la Serralada Litoral (entre els rius Besòs i la Tordera) i ii) veure si existeixen associacions entre les

diferents espècies i comprovar si la seva distribució està relacionada amb el clima, la litologia o les característiques fisicoquímiques de l'aigua de les fonts.

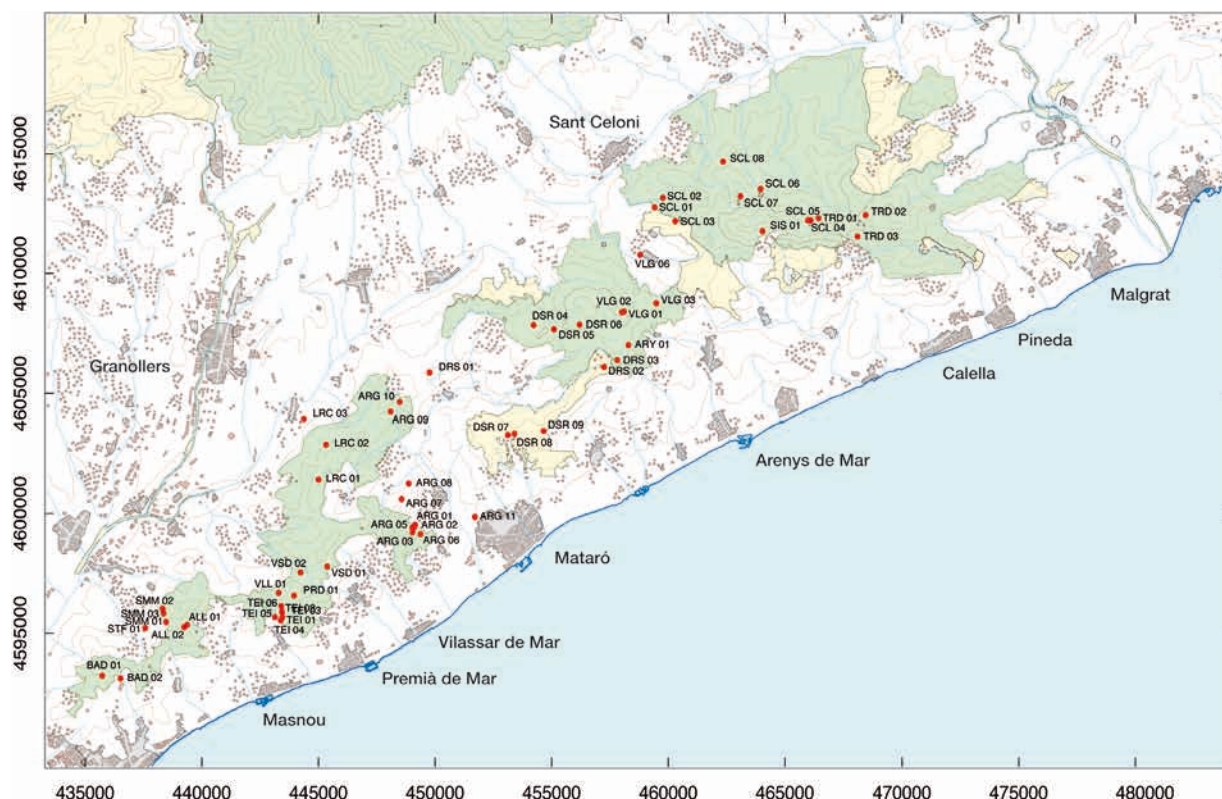


Figura 2. Mapa de la Serralada Litoral Central on s'indica la situació de les fonts on s'han estudiat els briòfits. Els codis de les fonts estan explicats a la taula 1.

Mètodes de mostreig i anàlisi estadística

La recol·lecció de briòfits es va dur a terme com a part complementària de l'estudi sobre la caracterització de les aigües de les fonts de la Serralada Litoral Central (Sabater *et al.*, 2015). Entre els mesos de gener i juliol de l'any 2013 es van mostrejar un total de 56 fonts distribuïdes al llarg de les serres de Marina, Sant Mateu-Cel·lecs, Corredor i Montnegre (fig. 2, taula 1) i situades a cotes d'entre 100 i 619 m s.n.m. A cada font es van recol·lectar els briòfits que creixien en llocs on de forma permanent es mantenen mullats o esquitxats per l'aigua que rajava de la font. De tal manera que podem arribar a establir una relació entre les característiques fisicoquímiques de l'aigua i la presència de briòfits (Kapfer *et al.* 2012). En cap cas es van recollir mostres de les parets o dels talusos que envoltaven la font.

Per altra banda, a cada font, a part d'anotar-hi la localització i l'altitud, es va mesurar el pH, la conductivitat, la temperatura de l'aigua, el percentatge d'oxigen dissolt i també es va analitzar in situ l'alcalinitat de l'aigua (APHA, 1998) després d'haver estat filtrada la mostra amb filtres de fibra de vidre de 0.7 µm de porus (Watmann GFF). Les mostres filtrades, un cop al laboratori, es va analitzar el contingut d'anions (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-}) i cations (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+) i el car-

boni orgànic dissolt (DOC). Mitjançant un sistema d'informació geogràfica, es va extreure informació sobre la litologia i el clima (temperatura, precipitació i dèficit hídric anuals) de cada font. Una explicació més acurada sobre l'origen de les dades i la metodologia analítica utilitzada es pot trobar a l'estudi de les aigües de la Serralada Litoral Central (Sabater *et al.*, 2015).

Els briòfits recollits es van identificar, sempre que va ser possible, a nivell d'espècie seguint la nomenclatura de Casas *et al.* (2006, 2009) i Hill *et al.* (2006).

Per tal de comprovar com s'agrupaven les fonts segons fos la seva composició florística es va realitzar una anàlisi d'agregació (clúster) basada en la matriu de presència/absència després d'eliminar les espècies presents a una única font, aplicant l'índex de Bray-Curtis. La rutina SIMPER del paquet estadístic PRIMER 5 (Clarke i Warwick, 2001) va servir per identificar quines espècies contribuïen en un percentatge més alt a la similitud dels grups obtinguts amb el clúster (Clarke, 1993).

Per determinar com la composició química de l'aigua, la litologia o el clima afecten la distribució de briòfits de les fonts vam fer servir un model de regressió parcial per mínims quadrats (PLS: Partial Least Squares regression) (Mevik i Wehrens, 2007) utilitzant la biblioteca mixO-mics del software R (R Development Core Team,

Taula 2. Presència de les espècies de briòfits identificades a les fonts de la Serralada Litoral Central. Els codis de les fonts estan explicats a la taula 1.

Codi de la font	<i>Conocephalum conicum</i>	<i>Lophocolea heterophylla</i>	<i>Lunularia cruciata</i>	<i>Pellia endiviifolia</i>	<i>Plagiochila porelloides</i>	<i>Bryum argenteum</i>	<i>Bryum cf. radiculosum</i>	<i>Bryum cf. capillare</i>	<i>Barbula unguiculata</i>	<i>Dialytrichia mucronata</i>	<i>Didymodon tophaceus</i>	<i>Eucladium verticillatum</i>	<i>Eurhynchium cf. praelongum</i>	<i>Fissidens crassipes</i>	<i>Fissidens taxifolius</i>	<i>Leptobryum pyriforme</i>	<i>Orthotrichum diaphanum</i>	<i>Oxyrhynchium speciosum</i>	<i>Plagiomnium undulatum</i>	<i>Pohlia melanodon</i>	<i>Rhizomnium punctatum</i>	<i>Rhynchoستيella curviseta</i>	<i>Rhynchoستيella teneriffae</i>	<i>cf. Scorpiurium circinatum</i>	<i>Thamnobryum alopecurum</i>	<i>Tortula muralis</i>
ALL-01										+			+													
ALL-02												+														
ARG-01				+								+						+						+		
ARG-02																		+								
ARG-03		+																		+						
ARG-05		+										+						+								
ARG-06												+														
ARG-07				+														+								
ARG-08															+	+										
ARG-09						+				+	+			+												+
ARG-10				+														+								
ARG-11												+														
ARY-01											+	+						+								
BAD-02											+	+								+						
DSR-01	+																									
DSR-02								+										+								
DSR-03				+														+							+	
DSR-04																		+								
DSR-05																		+								
DSR-06																		+								
DSR-07				+														+								
DSR-08				+														+								
DSR-09													+					+								
LRC-01				+							+		+						+							
LRC-02				+								+						+								
LRC-03																			+							
PRD-01											+		+							+			+			
SCL-01				+														+			+					
SCL-02																									+	
SCL-03			+									+											+			
SCL-04													+										+			
SCL-05					+													+	+						+	
SCL-06			+									+						+	+				+			
SCL-07	+			+														+								
SCL-08				+														+	+							
SIS-01						+											+									
SMM-01												+						+								
SMM-02																										
SMM-03																						+				
STF-01												+														
TEI-01									+																	+
TEI-02												+														
TEI-03												+														
TEI-04						+				+	+	+								+						
TEI-05											+	+	+													
TEI-06											+															
TRD-01				+																	+					
TRD-02													+													+
TRD-03						+												+								
VLG-01												+						+								
VLG-02													+													
VLG-03				+														+								
VLG-06												+						+								
VLL-01												+	+													
VSD-01																						+				
VSD-02				+									+	+												

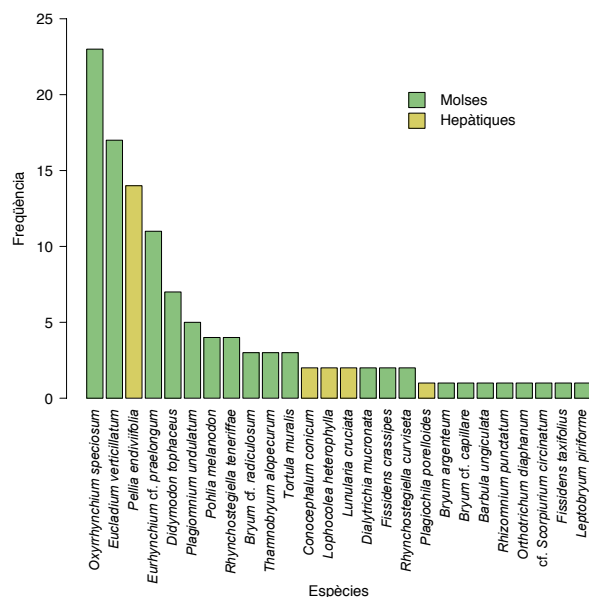


Figura 3. Distribució de la freqüència (nombre de fonts) de les espècies de briòfits recol·lectades a les fonts de la Serralada Litoral Central.

2011). Aquesta anàlisi multivariant és similar a l'anàlisi de components principals i permet relacionar dues matrius, la de presència/absència d'espècies i la dels valors de les variables ambientals. Aquesta anàlisi és particularment útil quan es tenen moltes variables que presenten una alta col·linealitat, com és el nostre cas. A partir dels resultats obtinguts amb aquesta anàlisi s'ha generat un mapa de correlacions agregades mitjançant la funció CIM (Clustered Image Map).

Resultats

Es van identificar un total de 26 espècies de briòfits (5 hepàtiques i 21 molses) (taula 2). Les espècies més freqüents van ser *Oxyrrhynchium speciosum* (23 fonts), *Eucladium verticillatum* (17 fonts), *Pellia endiviifolia* (14 fonts) i *Eurhynchium cf. praelongum* (11 fonts) (fig. 3). Per altra banda, destaquen algunes espècies que havien estat poc citades amb anterioritat i que per la seva singularitat comentem a continuació:

Dialytrichia mucronata (Brid.) Broth.

Molsa erecta d'1 a 3 cm d'alçada. Fil·lids erectopatens, oblongs, obtusos amb el nervi excurrent i els marges recorbat; cèl·lules fortament papil·loses. Viu a la base dels arbres i sobre les roques als marges de cursos d'aigua. Usualment acidòfila. Coneguda de diferents localitats al voltant de la Serralada Litoral (Montseny, Alt Empordà, Osona, Collserola...) (Casas *et al.*, 2006). En aquest estudi, aquesta espècie ha estat recol·lectada a la font dels Eucaliptus (Alella) i a la font del Llorer (Argentona) (taula 2).

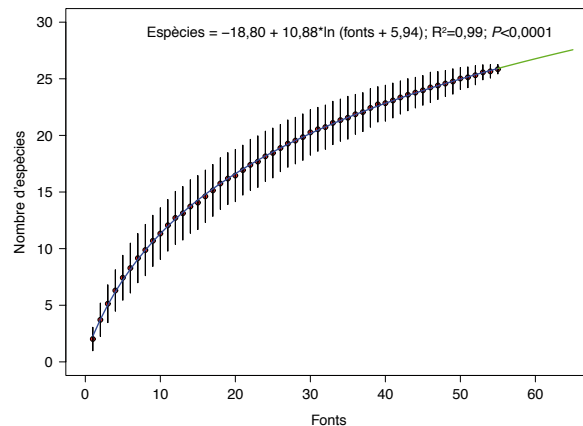


Figura 4. Corba de rarefacció obtinguda mitjançant un mètode de remostreig (bootstrap) a partir de les dades de briòfits. Les línies verticals indiquen l'error estàndard, en blau la corba ajustada seguint una funció logarítmica i, en verd, extrapolació dels valors d'espècies trobades fins a 65 fonts.

Rhynchostegiella teneriffae (Mont.)

Dirkse & Bouman. (= *R. teesladei* (Schimp.) Limpr.)

És una molsa petita, ramificada de forma irregular. Els fil·lids són patents, lanceolats de tres a quatre vegades més llargs que amples, amb l'àpex sub-obtus o ocasionalment agut. El nervi és gruixut i ocupa més de tres quartes parts de la llargada de la làmina. Viu sobre roques humides o mullades al marge de rierols. Havia estat prèviament citada dins la nostra àrea d'estudi a la vall de Fuirosos, sota la paret del pantà (Cros, 1985). En el nostre cas, ha estat localitzada a les fonts de Sant Mateu (Premià de Dalt), la de Lourdes (Olzinelles), i a les fonts de Sant Martí i Santa Maria del Montnegre (taula 2).

La figura 4 mostra la corba de rarefacció construïda mitjançant un mètode estadístic de remostreig (bootstrap) a partir de la recol·lecció de briòfits a cadascuna de les fonts. La corba ens indica la quantitat d'espècies trobades segons el nombre de fonts mostrejades i que com més incrementem el nombre de fonts mostrejades cada cop incorporem a l'anàlisi menys espècies noves. De mitjana, solament mostrejant 12 fonts de 58, ja assolim la meitat de la diversitat trobada (13 de 26 espècies) mentre que mostrejant la meitat de les fonts (29) assolim el 77% dels briòfits trobats (20 espècies). Si extrapolem aquesta corba, podem deduir que si haguéssim mostrejat 100 fonts (42 més de les mostrejades) només incorporariem sis espècies més. Tot plegat sembla indicar que el mostreig dut a terme pot haver recollit prou bé la major part (i els més comuns) dels briòfits associats a les fonts de la Serralada Litoral Central.

Pel que fa a les preferències ecològiques de les espècies observades, cal dir que hi ha un alt percentatge que són mesòfiles (31%) o higromesòfiles (42%), en canvi, pel que fa a la il·luminació, més del 50% són esciòfiles (fig. 5). Si ens fixem amb la na-

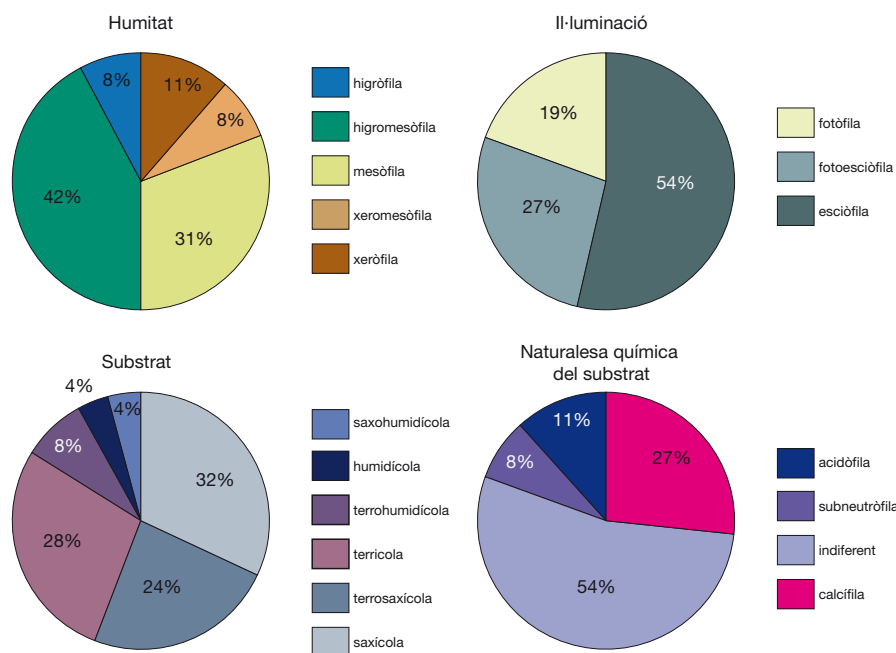


Figura 5. Preferències ecològiques de les espècies de briòfits recol·lectades a les fonts de la Serralada Litoral Central atenent a la humitat, la il·luminació, el substrat i a la seva naturalesa química.

tura química del substrat, el 54% són indiferents, però les espècies basòfiles dupliquen les acidòfiles. Quant a les preferències de substrat, s'observa una alta variabilitat malgrat que dominen les espècies saxícoles, terrosaxícoles i terrícoles.

L'anàlisi clúster basada en la presència/absència de les espècies de briòfits separa les fonts en

tres grans grups (fig. 6). El grup A inclou 27 fonts on *Oxyrrhynchium speciosum* i *Pellia endiviifolia* contribueixen en un 95,8% a la similaritat dintre del grup (taula 3). En el grup B s'inclouen 11 fonts, on *Eurhynchium cf. praelongum* contribueix amb més del 80% de la similaritat dintre del grup. Finalment en el grup C, amb 13 fonts, *Eucladium*

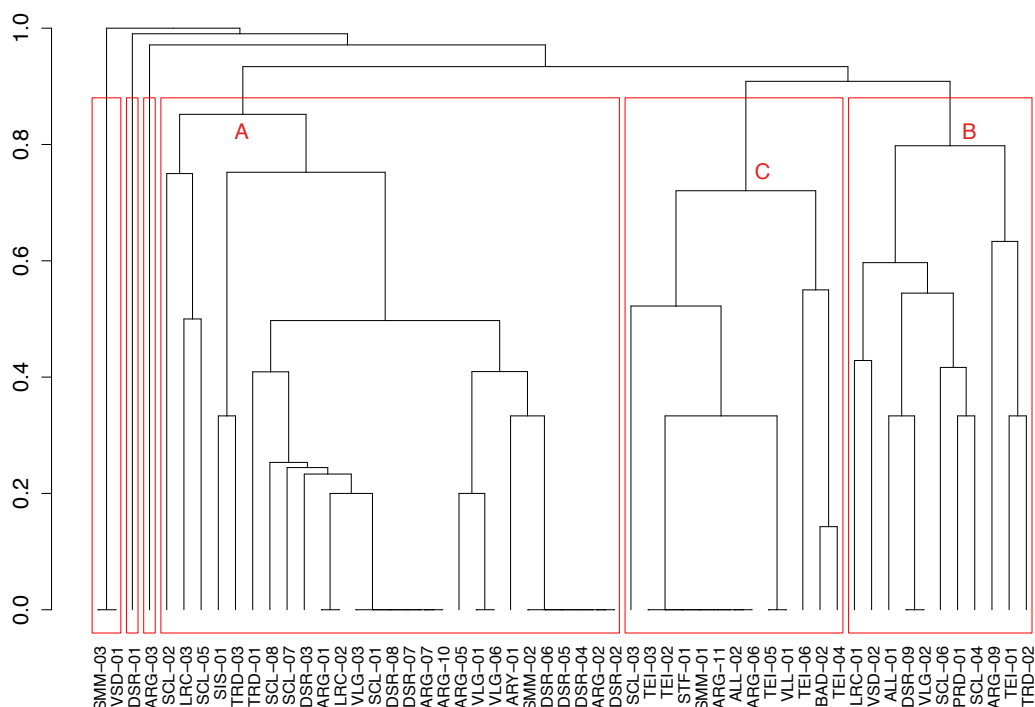


Figura 6. Anàlisi clúster de les fonts de la Serralada Litoral basada en la presència/absència de les espècies de briòfits i l'índex de dissimilaritat de Bray-Curtis. Els codis de les fonts estan detallats a la taula 1.

Taula 3. Valors mitjans de les variables estudiades en cada grup identificat per l'anàlisi clúster. Les lletres indiquen diferències significatives ($P < 0.05$) entre grups segons el test HSD Tukey.

Variable	Grup A	Grup B	Grup C
Nombre de fonts	27	11	13
Altitud	339,4±27,2	382,8±32,0	285,4±22,7
Dèficit hídric	588,5±30,8 ^b	581,0±49,6 ^b	785,3±36,9 ^a
Temperatura	13,6±0,1 ^b	13,6±0,2 ^b	14,6±0,1 ^a
Precipitació	754,1±12,2 ^a	746,6±23,8 ^a	674,4±10,5 ^b
Conductivitat	594,6±63,3 ^b	578,3±79,0 ^b	847,6±54,2 ^a
Alcalinitat	3,9±0,45	3,5±0,52	5,5±0,49
Ca ²⁺	76,9±8,2	79,6±9,9	102,6±5,7
Na ⁺	29,0±3,1 ^b	26,4±3,2 ^b	45,2±3,7 ^a
Mg ²⁺	19,0±1,8 ^b	18,9±2,5 ^b	26,3±1,4 ^a
K ⁺	2,3±0,3	2,8±0,6	13,4±9,1
SO ₄ ²⁻	56,2±8,2	62,9±12,6	75,8±11,9
Cl ⁻	59,9±10,8	46,7±10,1	70,5±12,2
NO ₃ ⁻	11,5±4,8	9,8±3,1	11,7±4,7
NO ₂ ²⁻	0,006±0,002	0,023±0,011	0,007±0,002
PO ₄ ³⁻	6,3±1,1	21,2±11,8	4,0±0,6
Espècies	<i>Oxyrrhynchium speciosum</i>	<i>Eurhynchium cf. praelongum</i>	<i>Eucladium verticillatum</i>
%Sim(%Cont)	38,0 (78,5) <i>Pellia endiviifolia</i> 8,4 (17,3)	34,9 (86,9)	48,1 (93,8)

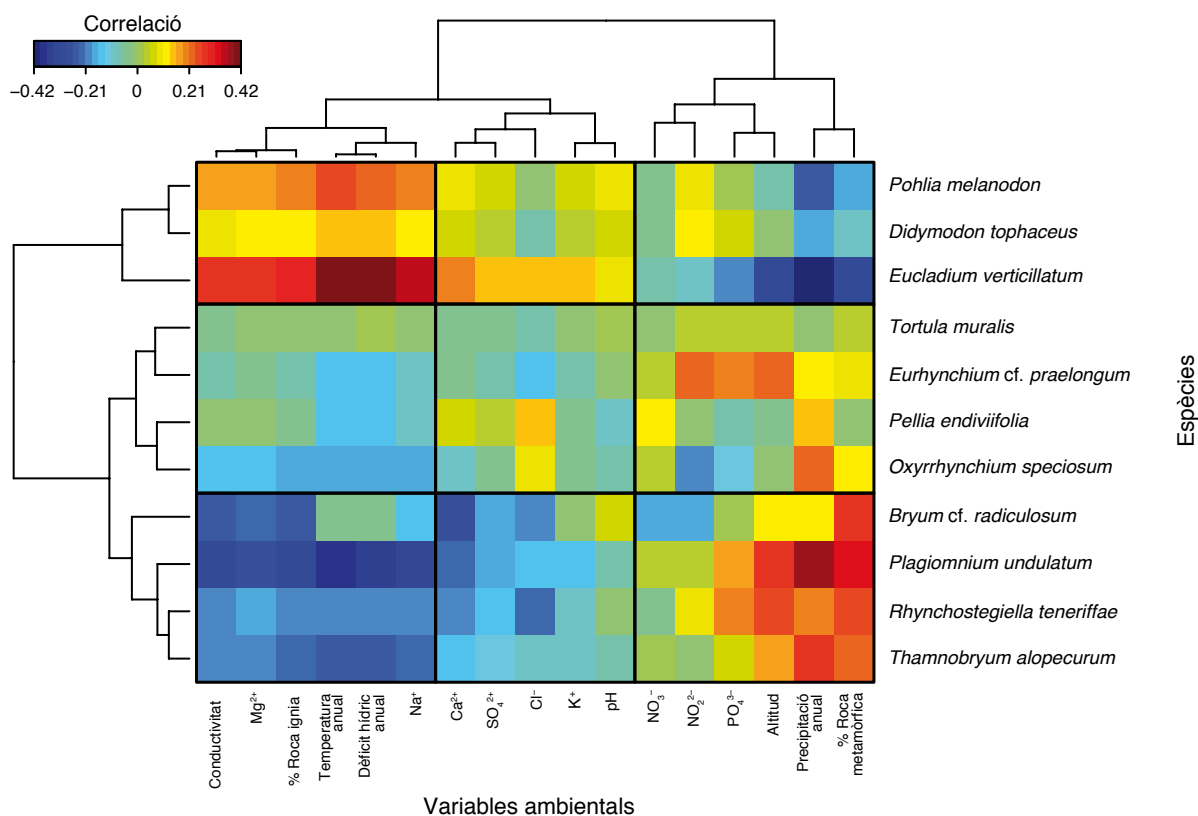


Figura 7. Mapa de correlacions agregades (CIM) generat a partir dels resultats obtinguts amb l'anàlisi PLS. Les correlacions positives es veuen en colors vermells i les negatives en colors blaus. Fora del requadre es poden veure, en forma d'arbre, les agregacions entre variables i espècies.

verticillatum contribueix amb un 93,8% a la similitut dintre del grup. Aquest grup és el que mostra més diferències significatives amb els altres dos grups quant a determinats factors ambientals. De manera que la temperatura mitjana anual és més

alta, la precipitació anual és més baixa i en conseqüència el dèficit hídric esdevé més alt ($P < 0.05$). També hem trobat diferències significatives en la conductivitat de l'aigua que sol ser més alta en les fonts del grup C, així com també amb el contingut

en sodi i magnesi (taula 3). Per contra no s'han observat diferències significatives en l'altitud mitjana de les fonts de cada grup ni tampoc en el pH de l'aigua, ni en el contingut dels ions no esmenats abans.

L'anàlisi PLS (fig. 7) ens mostra com es correlacionen les espècies de briòfits amb les diferents variables ambientals considerades, i alhora com s'agrupen aquestes espècies segons aquestes correlacions. A primer cop d'ull, es poden identificar 3 grups de briòfits dins del mapa de correlacions agregades. D'una banda, en horitzontal i a dalt de tot del mapa, trobem un grup de briòfits constituït per *Eucladium verticillatum* i en menor mesura *Pohlia melanodon* i *Didymodon tophaceus*, la presència de les quals està clarament relacionada amb valors alts de conductivitat i temperatura mitja anual, més dèficit hídric, i continguts més alts en sodi i magnesi a l'aigua. La distribució de les fonts on s'han trobat aquestes espècies coincideix amb un tipus de litologia majoritàriament granítica. Aquest primer grup és, per tant, marcadament afí a aigües relativament dures. Contràriament, el grup de baix del mapa de correlacions agregades, constituït per *Plagiomnium undulatum*, *Rhynchostegiella teneriffae*, *Thamnobryum alopecurum* i *Bryum* cf. *radiculosum*, presenta una correlació negativa amb la conductivitat i amb el contingut de cations en general, i mostra una afinitat més alta amb aquelles fonts més enriquides en fòsfor. Aquestes fonts solen estar ubicades sobre materials metamòrfics de la serralada del Montnegre, i aquestes roques tenen un contingut de fòsfor més elevat que el de les roques granítiques. Pel que fa al grup del mig, constituït per *Oxyrrhynchium speciosum*, *Pellia endiviifolia*, *Eurhynchium* cf. *praelongum* i *Tortula muralis*, cap de les espècies presenta una relació clara amb cap de les variables ambientals analitzades, excepte en el cas de *E. cf. praelongum* que mostra una correlació positiva amb l'altitud i la concentració de nitrats i fosfats de l'aigua. Per altra banda, l'agregació entre les variables ambientals també denota tres grups força diferenciats. A les parts esquerra i dreta del diagrama de correlacions agregades tenim dos grups de variables ambientals força ben correlacionades amb la distribució espacial observada dels briòfits. En canvi, el grup del mig –format pel Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , K^+ i el pH–, presenta correlacions molt més baixes essent, per tant, variables menys explicatives quant a la distribució espacial dels briòfits.

Discussió

Brugués (1985) descriu una comunitat de briòfits de fonts i esorrenties per a ambients equivalents a la terra baixa i muntanya mitjana (com és ara la nostra àrea d'estudi), que està formada per *Eucladium verticillatum*, *Cratoneuron commutatum*, *C. filicinum*, *Didymodon tophaceus*, *Fissidens crassipes*, *Gymnostomum calcareum*, *Sout-*

hbya tophacea, *Pellia endiviifolia* i *Aneura pinguis* entre altres. Quatre d'aquestes espècies han estat trobades a les fonts de la Serralada Litoral Central, però hi manquen les dues espècies de *Cratoneuron*, *Gymnostomum calcareum*, *Southbya tophacea* i *Aneura pinguis*. Val a dir que aquestes darreres espècies tenen una preferència pels substrats calcaris molt marcada i aquests són molt poc freqüents a la nostra àrea d'estudi. No obstant això, *G. calcareum* ja havia estat citada prèviament al sot de l'Aram (vessant meridional de la serralada del Montnegre) sobre unes roques, com també *Southbya tophacea*, citada a les mines de Can Monsant de Tordera (Cros, 1985). També són espècies calcícoles, *E. verticillatum*, *D. tophaceus* i *P. endiviifolia* (fig. 8B), i aquestes només s'han trobat en aquelles fonts que presentaven alcalinitats relativament més elevades, com també colonitzant aquelles parets artificials de morter d'algunes de les fonts. Aquestes característiques ambientals explicarien el perquè de la seva presència, fins al punt que s'ha pogut observar en alguns casos precipitats de carbonat de calci sobre aquestes moltes. Per altra banda, *Conocephalum conicum* és una espècie indiferent pel que fa a la natura química del substrat i tot i que és una espècie principalment terrícola, ja havia estat trobada en diverses fonts del Montseny (Casas, 1959) i de les Gavarres (Belmonte i Polo, 1983). A més d'aquestes espècies, cal afegir a la flora de les fonts de la Serralada un grup abundant de briòfits de preferències clarament acidòfiles, com és el cas de *Oxyrrhynchium speciosum* (fig. 8C), observada amb anterioritat a diverses fonts d'Arbúcies (Casas, 1959), *Plagiomnium undulatum*, *Lophocolea heterofila* i *Rhynchostegiella teneriffae*, aquesta última havia estat prèviament citada a les parets de l'embassament de Fuirosos en el vessant nord del Montnegre (Cros, 1985). I també algunes de caràcter fotòfil, com *Bryum* cf. *radiculosum*, *Barbula unguiculata*, *Orthotrichum diaphanum* i *Tortula muralis*, que colonitzaven aquelles fonts més exposades a la llum.

Alguns autors consideren que les variables ambientals relacionades amb el clima, la litologia i les característiques fisicoquímiques de l'aigua juguen un paper clau en la distribució dels briòfits (Eldridge i Tozer, 1997; Vanderpoorten i Engels, 2002; Kapfer et al., 2012). Tant és així que els briòfits també han estat considerats uns bons indicadors de la qualitat de les aigües fluvials (Peñuelas, 1983; Peñuelas i Sabater 1987). Segons alguns autors, el grau de pluviositat és, en molts casos, un dels factors que més condicionen la distribució dels briòfits (Eldridge i Tozer, 1997), tot i que en el cas de les fonts semblaria que no l'hauria d'afectar. Però tal com hem pogut observar durant els nostres mostrejos, la pluviositat afecta molt directament la persistència d'aigua a la font, i fa que algunes d'aquestes fonts s'assequin durant períodes de pluviositat més baixa (p.e. la font del Perdigó o la font del Malpàs). Segons Casas et al. (1985), la fal-



Figura 8. Briòfits de les fonts de la Serralada Litoral Central. A, *Lunularia cruciata* a la font de Lourdes (Olzinelles); B, *Pellia endiviifolia* a la font dels Àlbers d'en Javà (Argentona); C, *Oxyrrhynchium speciosum* a la font de ca l'Arenes (El Corredor); D, detall d'un fil-lidi d'*Oxyrrhynchium speciosum*; E, *Eucladium verticillatum* a la font de Lourdes (Olzinelles); F, detall del marge denticulat a la base del fil-lidi d'*Eucladium verticillatum*.

ta de regularitat d'aigua en una font impedeix que s'hi desenvolupi una flora fontinal característica.

Així, el grup de fonts situades al sud-oest de la riera d'Argentona on domina *E. verticillatum* pre-

senta una temperatura mitjana anual força més alta, una pluviositat molt més baixa i en conseqüència un dèficit hídric més elevat que els altres dos grups de fonts. Com que l'aigua de pluja té un

pH lleugerament àcid (Charlson i Rodhe, 1982), una menor pluviositat pot causar més alcalinitat (Kapfer *et al.*, 2012) i afavorir així l'establiment d'aquelles espècies calcícoles com *E. verticillatum* o també *Didymodon tophaceus*. Per contra, aquelles espècies acidòfiles, *Plagiomnium undulatum*, *Rhynchostegiella teneriffae* i *Thamnobryum alopecurum*, presenten una correlació negativa amb la conductivitat i la temperatura anual mitjana, i estan positivament correlacionades amb la precipitació mitjana anual, amb l'altitud i amb un percentatge més gran de roca metamòrfica en aquelles zones d'influència de les fonts. Aquests tres factors mostraven una col·linealitat força elevada entre si atès que tots tres coincideixen a la part alta del Montnegre on predominen les roques metamòrfiques i una pluviositat més elevada.

Era d'esperar que, ateses les preferències basòfiles de determinades espècies, el calci tingués un paper més significatiu, no obstant això, espècies com *E. verticillatum* mostraven correlacions molt més altes amb el sodi i el magnesi que no pas amb el calci. Sembla ser que cadascun dels ions considerats afecten de manera diferent segons quina sigui l'espècie considerada, així quan algunes espècies es veuen afavorides per determinades característiques fisicoquímiques, altres responen de manera oposada. En canvi, amb el pH tot i ser una variable molt determinant en la distribució dels briòfits segons alguns autors (Eldridge i Tozer, 1997), no s'han observat correlacions importants en cap de les espècies trobades.

En conclusió, la flora de briòfits de les fonts de la Serralada Litoral Central mostra una composició força similar a la ja descrita per a aquest tipus d'hàbitat en altres contrades, però com era d'esperar, lleugerament empobrida per l'absència d'espècies fortament basòfiles. La pluviositat i altres factors associats, com l'altitud i el percentatge de roca metamòrfica, semblen ser les condicions ambientals més importants que explicarien la distribució de les espècies de les fonts de la Serralada Litoral Central. Tot i això, cal més recerca per a millorar la comprensió dels efectes de la geoquímica de l'aigua sobre les comunitats de briòfits de les fonts.

Agraïments

Josep Maria Parera, Guillem Corbera, Joan Manel Riera ens van acompanyar en diferents jornades de mostreig i van col·laborar en l'obtenció de les dades. Les anàlisis químiques es van portar a terme al Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona amb l'ajuda inestimable de la Lúcia Cañas. Llorenç Sáez (UAB) ens va ajudar en la determinació d'algunes espècies conflictives.

Referències

APHA. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association and American Water Works Association and Water Pollution Control Federation and Water Environment Federation.

- Belmonte, J. i Polo, L. (1983). Aportació al coneixement briològic de les Gavarres occidentals. *Scientia Gerundensis*, 9: 3-10.
- Brugués, M. (1985). Els briòfits. In: Llimona, X. (ed.), *Plantes Inferiors. Història Natural dels Països Catalans*, vol. 4. Enciclopèdia Catalana, Barcelona. pp. 351-354, 357-359, 381-434.
- Brugués, M. i Cros, R.M. (2014). *Catàleg de les molles de Catalunya*. Recurs electrònic a <http://pagines.uab.cat/briologia/content/cat%C3%A0leg-de-les-molles-de-catalunya>
- Casas, C. (1959). Aportaciones a la flora briológica de Cataluña. Musgos y hepáticas del Montseny. *Anales del Instituto Botánico Antonio José Cavanilles de Madrid*, 16: 121-226.
- Casas, C., Seró, P., Ubach, M. i Vives, J. (1956). Flora briológica de las comarcas barcelonesas. *Collectanea Botanica*, 5: 119-141.
- Casas, C., Cros, R.M., Brugués, M., Sérgio, C. i Aim-Sim, M. (1985). Estudi de la brioflora dels Ports de Beseit. *Orsis*, 1: 13-31.
- Casas, C., Brugués, M., Cros, R.M. i Sérgio, C. (2006). *Handbook of mosses of the Iberian Peninsula and the Balearic Islands*. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, 349 pp.
- Casas, C., Brugués, M. i Cros, R.M. (2009). *Handbook of liverworts and hornworts of the Iberian Peninsula and the Balearic Islands*. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, 177 pp.
- Charlson, R. i Rodhe, H. (1982). Factors controlling the acidity of natural rainwater. *Nature*, 295(5851): 683-685. doi: 10.1038/295683a0
- Clarke, K.R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18: 117-143. doi: 10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x
- Clarke, K.R. i Warwick, R.M. (2001). *PRIMER v5: user manual/tutorial*. PRIMER-E Limited.
- Cros, R.M. (1985). Flora briológica del Montnegre. *Arxius de la Secció de Ciències*, 78: 1-287.
- Cros, R.M. i Brugués, M. (2014). Catàleg de les antocerotes i les hepàtiques de Catalunya. Recurs electrònic a <http://pagines.uab.cat/briologia/content/cat%C3%A0leg-de-les-antocerotes-i-les-hep%C3%A0tiques-de-catalunya>
- Cros, R.M., Brugués, M. i Sáez, L. (2004). Els briòfits de la vall d'Alinyà. *Treballs de la Institució Catalana d'Història Natural*, 14: 223-235.
- Dilks, T. i Proctor, M. (1974). The pattern of recovery of bryophytes after desiccation. *Journal of Bryology*, 8(1): 97-115. doi: 10.1179/jbr.1974.8.1.97
- Eldridge D.J. i Tozer M. E. (1997). Environmental factors relating to the distribution of terricolous bryophytes and lichens in semi-arid eastern Australia. *The Bryologist*, 100: 28-39. doi: 10.1639/0007-2745(1997)100[28:EFRTTD]2.0.CO;2
- Hill, M., Bell, N., Bruggeman-Nannenga, M., Brugués, M., Cano, M., Enroth, J., Flatberg, K., Frahm, J.-P., Gallego, M., Garilleti, R., *et al.* (2006). An annotated checklist of the mosses of Europe and Macaronesia. *Journal of Bryology*, 28(3): 198-267. doi: 10.1179/174328206X119998
- Kapfer, J., Audorff, V., Beierkuhnlein, C., Hertel, E. (2012). Do bryophytes show a stronger response than vascular plants to interannual changes in spring water quality? *Freshwater Science*, 31(2): 625-635. doi: 10.1899/11-037.1
- Peñuelas, J. (1983). La qualitat de les aigües del riu Muga:

- Dades físiques, químiques i biològiques. *Annals de l'Institut d'Estudis Empordanesos*, 16: 33-49.
- Peñuelas, J. i Sabater, F. (1987). Distribution of macrophytes in relation to environmental factors in the Ter River, NE Spain. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 72(1): 41-58.
- Proctor, M. (1982). Physiological ecology: water relations, light and temperature responses, carbon balance. In: Smith A.J.E. (ed.), *Bryophyte Ecology*, pages 333-381. Springer.
doi: [10.1007/978-94-009-5891-3_10](https://doi.org/10.1007/978-94-009-5891-3_10)
- Mevik, B.-H. i Wehrens, R. (2007). The pls Package: Principal Component and Partial Least Squares Regression in R. *Journal of Statistical Software*, 18(2): 1-24.
- R Development Core Team (2011). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
<http://www.r-project.org/>
- Sabater, F., Fernández-Martínez, M., Corbera, J., Calpe, M., Torner, G., Cano, O., Corbera, G., Ciurana, O. i Parera, J.M. (2015). Caracterització hidrogeoquímica de les fonts de la Serralada Litoral Central en relació a la litologia i a factors ambientals. *L'Atzavara*, 25: 93-104.
- Tenas, J. (1918). Hepatiques de la regió olotina. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 18(9): 178-181.
- Watson, E.V. (1968). *British mosses and liverworts*. Cambridge Univ. Press. 495 pp.