

Projecte Fonts: estudi de les comunitats de briòfits de les fonts

MARCOS FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ,^{1,2,3} MIQUEL BES,³ GUILLEM BAGARIA,² MERCÈ CALPE,³ FERRAN SAYOL,² IRENE FRAILE,² MIQUEL JOVER,⁴ CATHERINE PREECE,^{1,2} FRANCESC SABATER,^{2,3,5} GUILLEM TORNER,³ AIDA VIZA^{3,5} i JORDI CORBERA³

¹Unitat d'Ecologia Global. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals - Consell Superior d'Investigacions Científiques - Universitat Autònoma de Barcelona (CREAF-CSIC-UAB)

²Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF)

³Delegació de la Serralada Litoral Central. Institució Catalana d'Història Natural (ICHN)

⁴Departament de Ciències Ambientals. Universitat de Girona

⁵Departament d'Ecologia. Universitat de Barcelona

Resum

Les fonts representen un hàbitat adient per a l'establiment de comunitats de briòfits a causa de la presència constant d'aigua. Aquest projecte té per objectius identificar les espècies de briòfits que creixen a les fonts, veure si hi ha associacions entre les diferents espècies de briòfits i comprovar si la seva distribució està relacionada amb el clima, la litologia o les característiques fisicoquímiques de l'aigua. Hem mostrejat 109 fonts a l'àrea del Montseny i les Guilleries i hem analitzat el pH, la conductivitat i els ions majoritaris de l'aigua. Alhora, hem trobat una mitjana de 2,6 espècies de briòfits per font. El canvi climàtic podria produir un assecament de les fonts, i posar en perill algunes espècies de briòfits que s'hi estableixen.

Paraules clau

Briòfits, fonts, nutrients, clima, aigua

Resumen

Proyecto Fuentes: estudio de las comunidades de briófitos de las fuentes

Las fuentes representan un hábitat propicio para el establecimiento de comunidades de briófitos debido a la presencia constante de agua. Este proyecto tiene por objetivos identificar las especies de briófitos que crecen en las fuentes, ver si existen asociaciones entre las diferentes especies de briófitos y comprobar si su distribución está relacionada con el clima, la litología o las características físico-químicas del agua. Hemos muestreado 109 fuentes del área del Montseny y Les Guilleries, y hemos analizado el pH, la conductividad y los iones mayoritarios del agua. Además, hemos encontrado una media de 2,6 especies de briófitos por fuente. El cambio climático podría producir un secamiento de las fuentes y poner en peligro algunas de las especies de briófitos que se establecen.

Palabras clave

Briófitos, fuentes, nutrientes, clima, agua

Abstract

Springs Project: study of the bryophyte communities of springs

Springs are a favourable habitat for the establishment of bryophyte communities due to the constant presence of water. The objective of this project is to identify the bryophyte species that grow in springs, see if there are associations between the different species of bryophytes and check whether their distribution is related to the climate, lithology or the physicochemical characteristics of the water. We have sampled 109 springs in the Montseny and Les Guilleries area and analysed the pH, conductivity and major ions of their water. In addition, we have found an average of 2.6 species of bryophytes per spring. Climate change could lead to the drying up of springs and endanger some of the bryophyte species established in them.

Keywords

Bryophytes, springs, nutrients, climate, water

Introducció

Des d'antic, hom ha hagut de vèncer l'escassetat d'aigua a la regió Mediterrània. Mitjançant la construcció de fonts escampades arreu del territori s'assegurava l'avitualment a viatgers, bestiar, pastors, etc. De passada, aquestes fonts afavoren la biodiversitat perquè es comporten com a illes (és a dir, punts d'aigua), enmig d'un mar de terra. Les fonts són, doncs, idònies per a l'estudi naturalista. D'una banda, la seva distribució territorial, relativament homogènia arreu de Catalunya, fa que, en conjunt, siguin representatives de la variabilitat climàtica de bona part del país. D'altra banda, les propietats fisicoquímiques de l'aigua que en brolla són indicatives de les diferències litològiques dels aquífers per on transcorre abans d'aflorar a la superfície (SABATER *et al.*, 2015), la qual cosa origina diferències en les espècies que s'hi poden establir al seu recer (CORBERA *et al.*, 2015). El fet que les fonts representin un hàbitat on l'aigua és garantida de forma gairebé permanent afavoreix la proliferació d'espècies que d'altra manera no s'hi podrien trobar per manca d'humitat. Un clar exemple d'aquest fenomen el trobem en els briòfits.

Els briòfits són, des d'un punt de vista morfològic i anatòmic, els representants més simples del regne vegetal. El terme *briòfits* inclou tres llinatges diferents: antocerotes (*Anthocerotophyta*), hepàtiques (*Marchantiophyta*) i molses (*Bryophyta*). Malgrat ser de mida reduïda, els briòfits poden jugar un paper rellevant en la funció i l'estructura dels ecosistemes. D'una banda, aquest grup pot tenir una gran productivitat i una important capacitat d'acumulació de biomassa (BOWDEN, 1999); d'altra banda, participen en el cicle dels nutrients i n'hi ha que, associats amb cianobacteris, són capaços de fixar nitrogen (MATZEK i VITOUSEK, 2003); i, a més a més, n'hi ha d'altres que són grans estabilitzadors del sòl (BOWDEN, 1999) i alguns tenen una gran capacitat de retenció d'aigua (PROCTOR, 1982). Com que són plantes no vasculars i no tenen cutícules o epidermis ben desenvolupades, la major part dels gèneres absorbeixen l'aigua i els nutrients a través de tota la seva superfície, i això, sumat al fet que sovint es troben sobre substrats molt exposats, els fa ser molt sensibles a les condicions ambientals (KAPFER *et al.*, 2012). De fet, juntament amb els líquens, s'han fet servir abastament com a indicadors de la contaminació de l'aire (SLACK, 1990; SUREN i ORMEROD, 1998; SUREN i DUNCAN, 1999).

Aquesta sensibilitat dels briòfits fa que siguin un grup molt interessant per estudiar com la variabilitat ambiental afecta la composició de les comunitats. Entre els factors que podrien afectar la presència de briòfits, els més estudiats són el clima (GIGNAC i VITT 1990; NICHOLSON *et al.*, 1996) i la geologia (BELLAND, 2005; CALLAGHAN i ASHTON, 2008), la interacció dels quals dicta la naturalesa de variables més locals, i possiblement més determinants, com ara el pH i la conductivitat de les deus, o dels cursos d'aigua en general, on els briòfits poden establir-se. Alguns estudis han pogut constatar canvis en les comunitats

de briòfits lligats a un gradient ambiental, com el de precipitació i temperatura (GIGNAC, 1994) o el de pH i conductivitat de l'aigua (GIGNAC, 1992). D'altra banda, s'han vist canvis en la distribució d'espècies de briòfits amb l'altitud (VITT, 1991; WOLF, 1993; SUREN i ORMEROD, 1998; ANDREW i RODGERSON, 2003; BRUUN *et al.*, 2006; GRYTNES *et al.*, 2006; AH-PENG *et al.*, 2007; GRAU *et al.*, 2007). Ja en ambients aquàtics, a les capçaleres dels rius s'ha vist que el pH (TESSLER *et al.*, 2014) i la conductivitat de l'aigua (CESCHIN *et al.*, 2012) afecten la composició de briòfits, tot i que el règim de pertorbacions, en forma de crescudes o assecaments, sembla ser-ne el principal factor determinant (SUREN i ORMEROD, 1998; SUREN i DUNCAN, 1999).

A escala de Catalunya, tot i que CASAS (1959) i CROS (1985) descriuen les comunitats de briòfits amb relació als hàbitats al Montseny i al Montnegre, respectivament, són pocs els estudis sobre els factors que determinen la distribució de les espècies (vegeu PEÑUELAS, 1983; PEÑUELAS i SABATER, 1987). Amb la finalitat de conèixer millor com són les fonts del nostre territori i quin paper juguen en la conservació de la biodiversitat, neix el Projecte Fonts. Aquest projecte comença l'any 2013 amb la intenció de donar a conèixer com és l'aigua que brolla de les fonts i de relacionar les característiques fisicoquímiques de l'aigua amb la comunitat de briòfits que s'hi estableixen. En aquest treball, presentem els primers resultats del Projecte Fonts a l'àrea del Montseny i les Guilleries.

Materials i mètodes

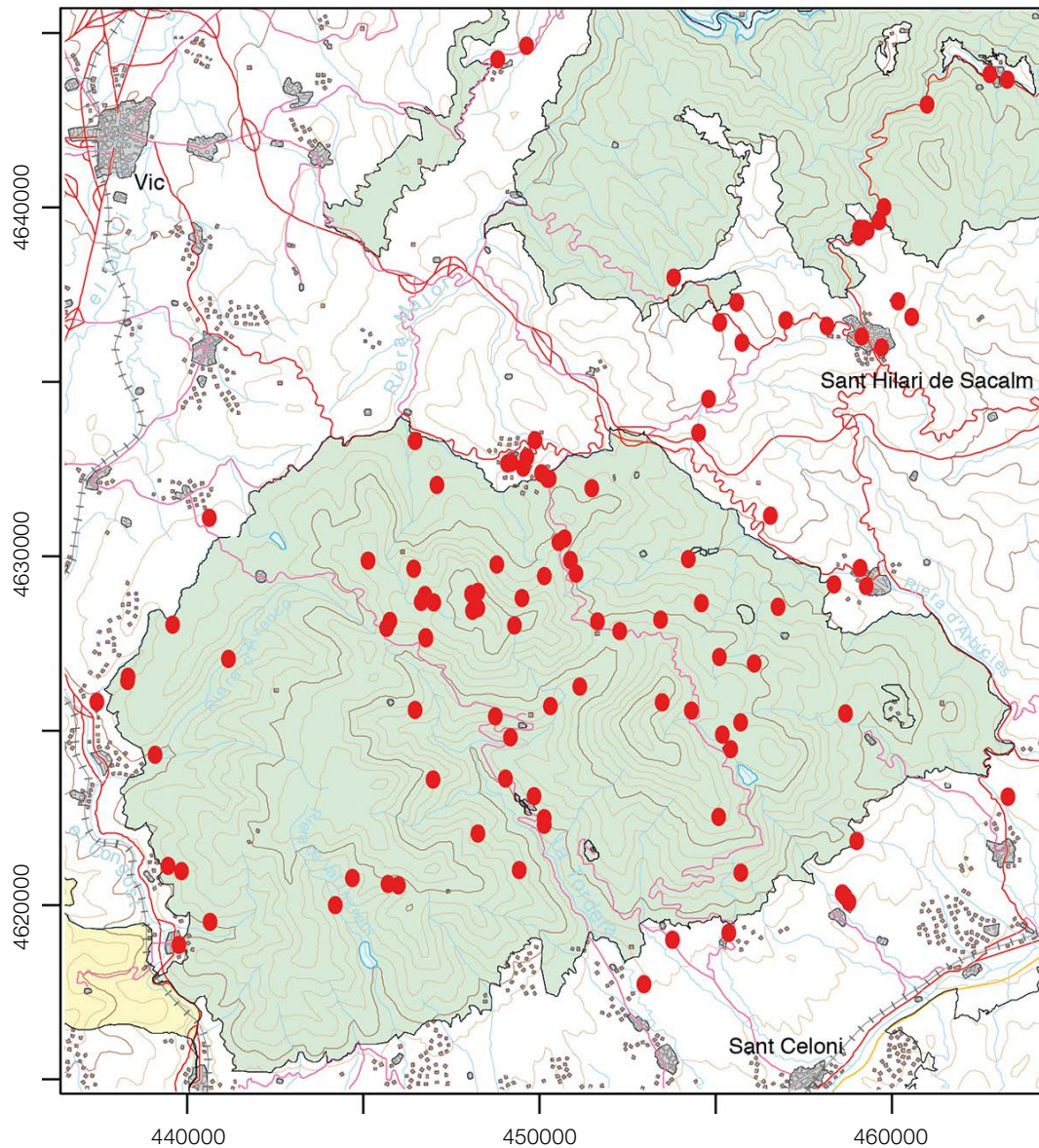
Disseny experimental

Entre el març de 2015 i el juliol de 2016 es van mostrejar 109 fonts localitzades a la zona del Montseny i les Guilleries ([mapa 1](#)). L'àrea d'estudi s'estén al llarg d'una distància aproximada de 30 km en la direcció NS i 28 km en la direcció EW. Les fonts es troben situades majoritàriament sota el domini d'un clima mediterrani prelitoral central i mediterrani continental humit i subhumit (MARTÍN-VIDE, 1992; SABATER *et al.*, 2015). Les fonts mostrejades al Montseny es troben sobre litologia majoritàriament granítica i metamòrfica, però també en tenim sobre roques calcàries a la regió de ponent. D'altra banda, a la zona de les Guilleries, les fonts trobades se situen majoritàriament sobre litologia granítica.

De les fonts analitzades brolla aigua que no ha rebut cap tractament sanitari. Només s'ha recopilat dades d'aquelles fonts que en el moment del mostreig rajaven. Les fonts que tenien el cabal regulat per un broc d'aixeta van quedar descartades, de manera que, tret que les fonts deixin de rajar en períodes de sequera, els briòfits establerts a les fonts mantenen unes condicions d'humitat relativament constants durant tot l'any. El pH i la conductivitat de les aigües de cada font es

van mesurar directament al camp. El pH es va mesurar mitjançant un pH-metre Orion, prèviament calibrat amb tampons de 7 i de 10, i la conductivitat elèctrica mitjançant un conductímetre (WTW) calibrat a 25 °C.

Mapa 1. Localització geogràfica de les fonts mostrejades al Montseny i a les Guilleries



Alhora, es va agafar una mostra de cada una de les diferents espècies de briòfits que, en el moment del mostreig, es trobaven en contacte amb l'aigua de la font, ja fos directament (per exemple, els situats al pericó de la font) o bé indirectament (per esquitxos o bé per pèrdues d'aigua per les parets de la font). Posteriorment, al laboratori, es va procedir a determinar l'espècie dels briòfits trobats. La determinació es va fer utilitzant una lupa binocular (80x) i un microscopi per tal de poder observar els fil·lids i les seves cèl·lules. Les claus utilitzades per a la iden-

tificació foren les de SMITH (1978, 1990) i CASAS *et al.* (2001, 2004) i s'ha utilitzat la nomenclatura segons HILL *et al.* (2006). D'algunes mostres només s'han pogut determinar el gènere, atesa la dificultat que comporta determinar l'espècie de certes mostres. Aquests casos no han estat tinguts en compte a l'hora de descriure la composició específica de la font a la qual pertanyen, però sí per calcular-ne la riquesa específica (sempre que s'hagi pogut assegurar que no pertanyien a cap de les altres espècies presents a la mostra). Per estudiar la distribució dels briòfits, només hem fet servir les espècies més freqüents, que hem definit com les espècies de briòfits que apareixen a 10 fonts o més. D'aquesta manera, ens assegurem que la variabilitat de cada espècie amb relació a les variables ambientals hi quedi ben representada.

Les dades climàtiques —temperatura mitjana anual (MAT) i precipitació mitjana anual (MAP)— de les fonts s'han extret de l'*Atlas climàtic digital de Catalunya* (PONS, 1996; NINYEROLA *et al.*, 2000) a partir de les coordenades geogràfiques de cada font, obtingudes al camp amb un dispositiu GPS. L'altitud de cada font s'ha obtingut a partir del Model Digital del Terreny de Catalunya de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), disponible al web de l'ICC (<<http://www.icc.cat/>>). Per a l'obtenció de dades geogràfiques s'ha fet servir el programari MiraMon.

Anàlisi estadística

Primer hem calculat els rangs i els valors mitjans de pH, conductivitat, clima i altitud de les fonts estudiades, per tal de caracteritzar les condicions ambientals. Després, hem calculat la corba d'abundància d'espècies de briòfits trobades per font per estimar si el mostreig de fonts ha aconseguit recollir una part significativa de la riquesa d'espècies de la regió. L'anàlisi es va dur a terme mitjançant la funció *Specaccum* del paquet *Vegan* (OKSANEN *et al.*, 2014) del programari R (R CORE TEAM, 2015).

Seguidament, per tal de veure si les comunitats de briòfits varien segons les condicions ambientals de les fonts, hem fet un model de regressió parcial per mínims quadrats (PLS: *Partial Least Squares regression*) (LÊ CAO *et al.*, 2008) utilitzant la biblioteca *MixOmics* del programari R (R CORE TEAM, 2015), en què les variables predictorres eren variables climàtiques (mitjanes anuals de precipitació i temperatura), l'altitud de la font i variables fisicoquímiques de l'aigua (pH, conductivitat, Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- i SO_4^{2-}), i les variables resposta eren cadascuna de les espècies trobades a les fonts, codificades com a 1 (presència) i 0 (absència). A partir del model PLS s'ha generat un mapa de correlacions agregades mitjançant la funció *CIM* (*Clustered Image Map*).

Resultats i discussió

Característiques de l'aigua de les fonts del Montseny i les Guilleries

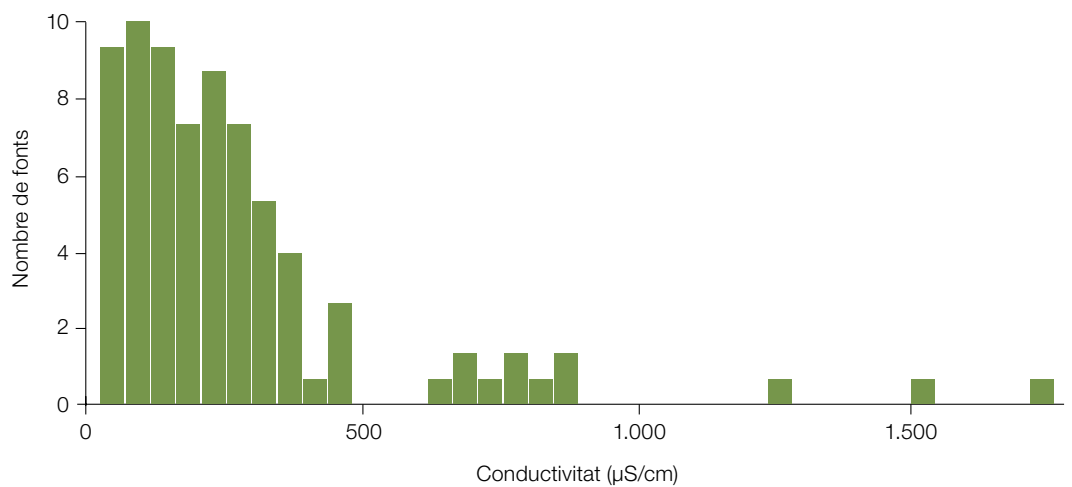
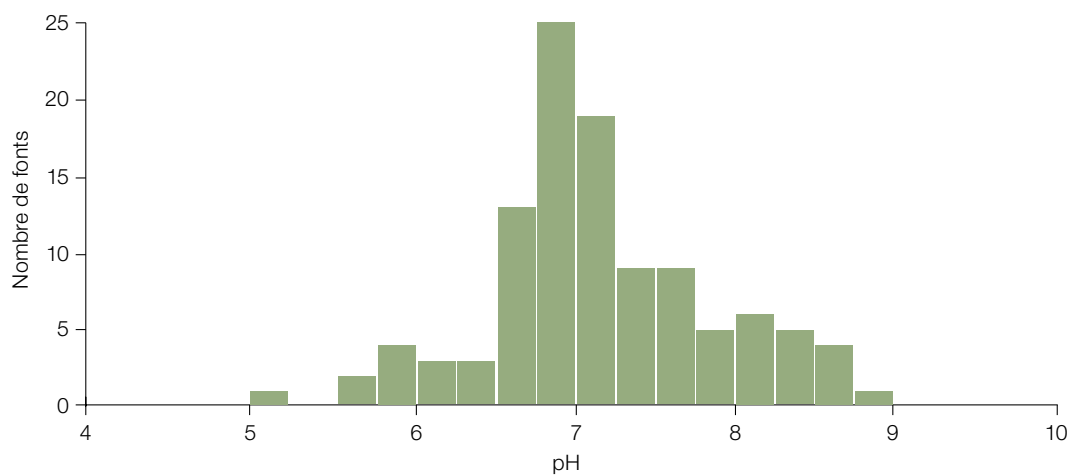
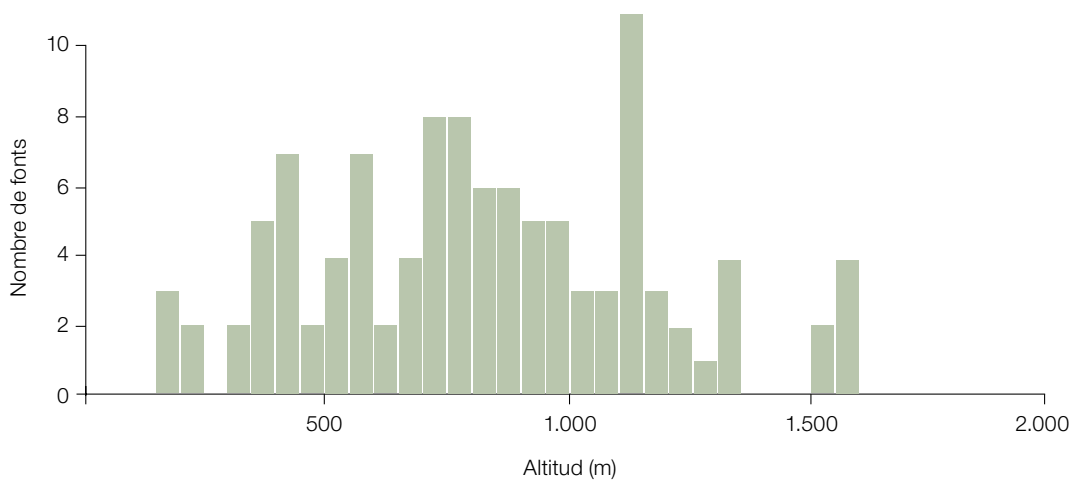
Les fonts mostrejades estaven situades a una altitud d'entre 179 i 1.600 m ([gràfic 1](#)). El pH mitjà era de $7,15 \pm 0,72$ (mitjana \pm desviació estàndard) i variava entre 5,17 i 8,76. Pel que fa a la conductivitat, el 88 % de les fonts mostraven valors per sota dels $500 \mu\text{S cm}^{-1}$, tot i que la font de la Vinya (Tagamanent) tenia un valor de $1.256 \mu\text{S cm}^{-1}$, i que dues fonts de Sant Hilari Sacalm (font Picant i font de Santa Teresa) tenien valors superiors a $1.500 \mu\text{S cm}^{-1}$. Per tant, podem afirmar que, majoritàriament, les aigües que brollen de les fonts del Montseny i les Guilleries tenen tendència a ser bastant fines, en comparació d'altres zones de litologia similar (p. e., zones Serralada Litoral Central; vegeu SABATER *et al.* [2015]) i, per descomptat, de zones amb litologia calcària (p. e., Lluçanès, Bages).

La concentració de nitrats era força baixa en una gran part de les fonts. Un total de 80 fonts no superaven els 5 mg L^{-1} . Només tres fonts superaven el líndar de 50 mg L^{-1} , que és el valor màxim recomanat per l'OMS per a l'aigua de consum, i són la font dels Cinc Raigs, a Sant Esteve de Palautordera ($66,0 \text{ mg L}^{-1}$), la font de Can Blanchó, a Gualba ($57,4 \text{ mg L}^{-1}$), i la font d'en Ratica, a Breda ($53,3 \text{ mg L}^{-1}$) ([gràfic 2](#)). Podem dir, per tant, que les aigües de les fonts d'aquesta regió no pateixen la contaminació d'altres llocs com ara la plana de Vic o el Lluçanès, on hi ha una càrrega agrícola i ramadera molt més elevada. Cal destacar, però, que amb els nostres resultats no podem dir si l'aigua analitzada és potable o no ho és, ja que no hem dut a terme cap anàlisi microbiològica per determinar-ho. Tampoc no hem pogut analitzar altres substàncies potencialment nocives per a la salut humana, com podrien ser els metalls pesants. Aquesta seria una línia de recerca interessant per continuar el Projecte Fonts, atès que al territori català s'han donat casos d'aigües amb concentracions elevades de metalls (p. e., manganès a la font Picant d'Argentona o arsènic al Ripollès).

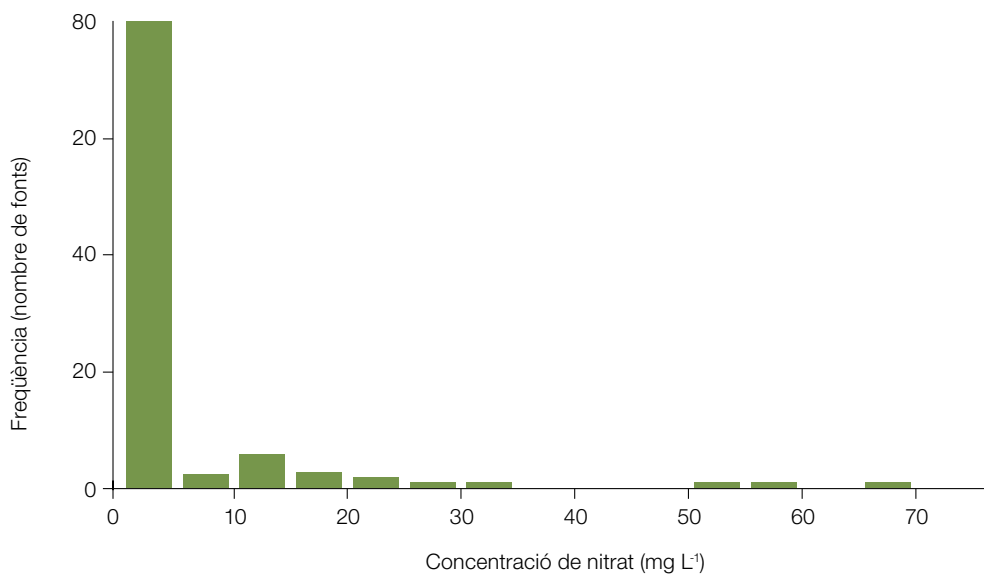
Diversitat de briòfits

A les fonts del Montseny i les Guilleries s'han identificat un total de 43 tàxons, dels quals 12 són hepàtiques i 29 són moltes ([gràfic 3](#)). El nombre mitjà d'espècies per font ha estat de $2,61 \pm 1,47$ espècies, amb un màxim de 7 a la font de la Coromina (Vilanova de Sau). Les espècies més freqüents han estat *Oxyrrhynchium speciosum* (37 fonts), *Plagiomnium undulatum* (30 fonts), *Brachythecium rivulare* (29 fonts), *Cratoneuron filicinum* (28 fonts), *Pellia endiviifolia* (27 fonts) i *Platyhypnidium riparioides* (24 fonts) ([gràfic 3](#)). D'aquestes, només *P. endiviifolia* és una hepàtica, fet que evidencia que les hepàtiques són menys freqüents que les moltes.

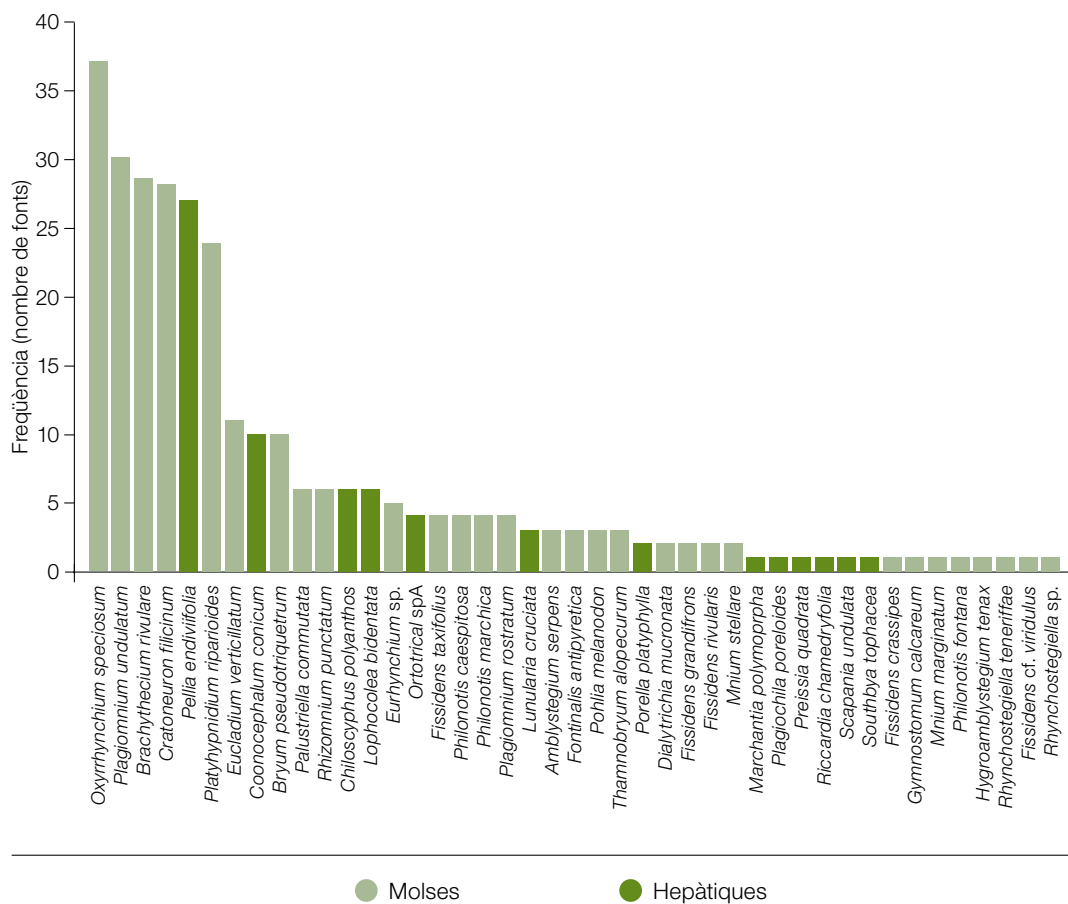
Gràfic 1. Histogrames que mostren la distribució de l'altitud, el pH i la conductivitat a les 109 fonts estudiades del Montseny i les Guilleries



Gràfic 2. Histograma que mostra la concentració de nitrat a les fonts del Montseny i les Guilleries. Només tres fonts superaven el lílndar de 50 mg L⁻¹

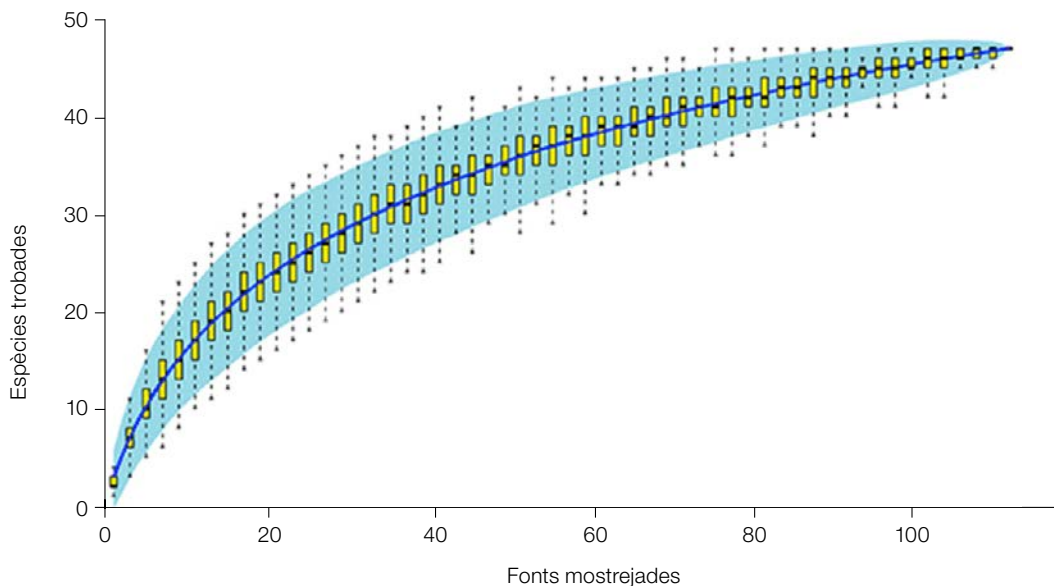


Gràfic 3. Histograma de les espècies de briòfits trobades a les fonts del Montseny i les Guilleries



El **gràfic 4** mostra la corba d'acumulació d'espècies a partir de la recollecció de briòfits a cadascuna de les fonts. La corba ens indica el nombre d'espècies que es troben a mesura que augmenta el nombre de fonts analitzades, de manera que presenta una tendència de rendiments decreixents. De mitjana, amb el mostreig de tan sols 17 fonts de 109 ja assolíem la meitat de la diversitat trobada (21 de 43 espècies), mentre que mostrejant la meitat de les fonts (54) assolíem el 85 % dels briòfits trobats (36 espècies). Si extrapolem aquesta corba, podem deduir que si haguéssim mostregat 150 fonts (41 més de les mostrejades) tant sols incorporariem vuit 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 del Montseny i les Guillerries.

Gràfic 4. Corba d'acumulació d'espècies de les fonts mostrejades al Montseny i les Guillerries



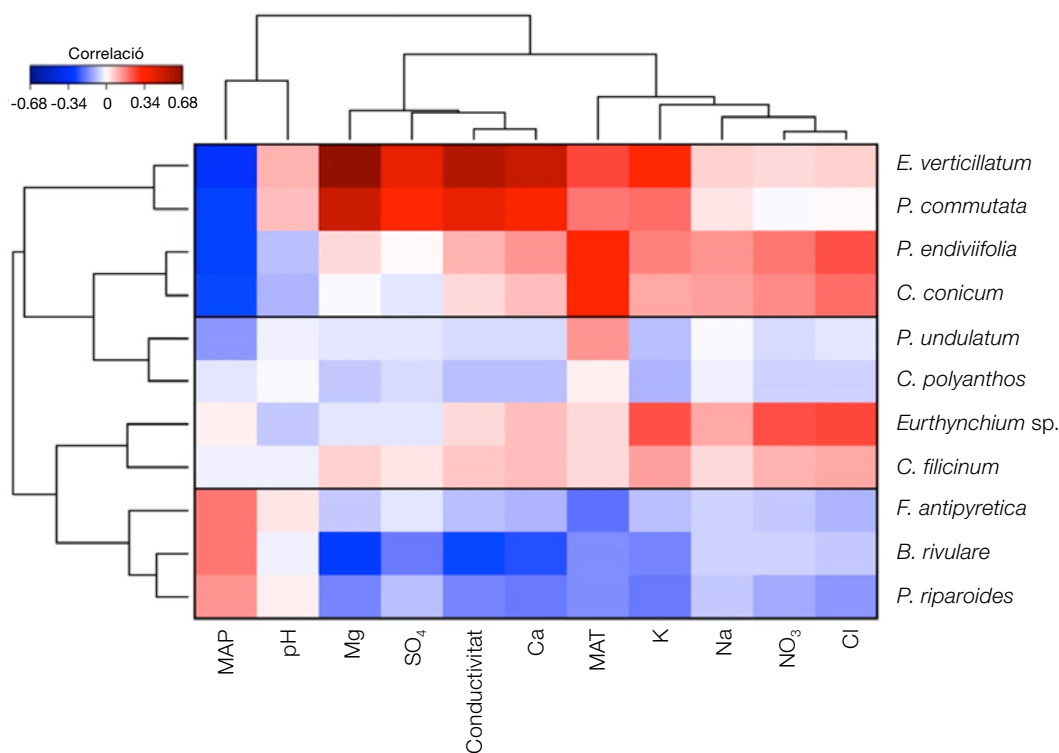
$$\text{Espècies} = -27,32 + 15,61 \cdot \ln(\text{nre. fonts} + 6,01); R^2 = 0,99, p < 0,0001$$

Determinants de la distribució de les espècies

El **gràfic 5** mostra les preferències d'un seguit d'espècies per les característiques fisicoquímiques de l'aigua de les fonts i el clima, alhora que agrupa variables i espècies segons les seves similituds. El primer grup d'espècies, format per *E. verticillatum*, *P. commutata*, *P. endiviifolia* i *C. conicum*, representa un grup de briòfits que majoritàriament es troba en fonts d'aigües d'elevada conductivitat i, per tant, elevades concentracions d'ions. Alhora, també presenten afinitat per fonts sota un clima més càlid i sec. El segon grup, format per *P. undulatum*, *C. polyanthos*, *Eurhynchium* sp. i *C. filicinum*, presenta correlacions molt baixes amb les varia-

bles considerades. Malgrat això, les dues primeres espècies tenen tendència a trobar-se en llocs d'aigües més conductores, càlides i seques que les dues següents. Finalment, el tercer grup, format per *F. antipyretica*, *B. rivulare* i *P. riparioides*, representa un conjunt de briòfits amb afinitat per aigües molt fines, on les concentracions d'ions són molt baixes i el clima és fred i humit (p. e., font dels cims del Matagalls, on trobem *F. antipyretica*). Aquests resultats confirmen que, definitivament, l'establiment d'unes espècies de briòfits o d'unes altres a les fonts depèn de les característiques fisicoquímiques de l'aigua i del clima en què es troben. Projectes com aquest aporten una informació molt necessària per predir què passarà amb la biodiversitat del Montseny a llarg termini.

Gràfic 5. Mapa de correlacions agregades, que relacionen les propietats fisicoquímiques de l'aigua amb la preferència mostrada per les espècies de briòfits



Valors alts, en vermell; valors baixos, en blau. La similitud entre variables (i espècies) es mostra a partir del dendrograma.

Els briòfits de les fonts en un Montseny canviant

Els nostres resultats mostren com el clima pot fer variar la riquesa d'espècies per font i la seva distribució. Les comunitats de briòfits de les fonts poden patir canvis en la seva composició com a conseqüència dels efectes que es preveuen pel canvi global. Com a conseqüència del canvi climàtic, s'espera que les temperatures augmentin progressivament i les precipitacions es redueixin un 30%, fet que suposarà

un augment de l'estrès hídric a la conca Mediterrània (TIGNOR i MILLER, 2007). Això, juntament amb un clima més sever, reduirà l'aigua que brolla de les fonts i, potencialment, pot perjudicar les comunitats de briòfits que s'hi estableixen. Aquests canvis podrien afavorir les espècies de briòfits més oportunistes i tolerants a la dessecació, la qual cosa comportaria un canvi en la distribució de les espècies.

D'altra banda, les fonts actuen com a illes refugi per als briòfits, gràcies a les condicions tan particulars que s'hi generen, marcadament diferents de les dels seus entorns. Hi ha pocs hàbitats on creixin de forma tan abundosa, però el creixent abandonament del manteniment de les fonts pot alterar-ne el funcionament fins a acabar provocant-ne la dessecació, cosa que afectaria negativament les comunitats de briòfits que en depenen. D'altra banda, la contaminació dels aquífers per una intensificació de la ramaderia, un problema greu en determinades regions, com ara Osona i el Lluçanès, pot comportar també la pèrdua de biodiversitat a les nostres fonts. Per tant, sembla que el canvi global pot comportar problemes greus per a la conservació dels briòfits al nostre territori i pot donar peu a extincions locals de les espècies menys freqüents.

Agraïments

Volem mostrar el nostre agraïment a la Delegació de la Serralada Litoral Central (ICHN), al Grup de Naturalistes d'Osona (GNO-ICHN), al grup naturalista Lluçanès Viu i als abnegats voluntaris de totes aquestes organitzacions que ens han ajudat a mostrear i analitzar les aigües. Agraïm també la col·laboració de tota aquella gent que, molt amablement, ens va ajudar a localitzar les fonts. Agraïm a la Diputació de Barcelona i al Parc Natural del Montseny la cessió de l'alberg el Puig per a la recerca. I, per descomptat, volem agrair la seva tasca al nostre astre rei, per sortir a il·luminar-nos cada dia.

Referències

- AH-PENG, C.; CHUAH-PETIOT, M.; DESCAMPS-JULIEN, B.; BARDAT, J.; STAMENOFF, P.; STRASBERG, D. (2007). «Bryophyte diversity and distribution along an altitudinal gradient on a lava flow in La Réunion». *Diversity and Distributions*, núm. 13; p. 654-662.
- ANDREW, N. R.; RODGERSON, L. (2003): «Variation in invertebrate - bryophyte community structure at different spatial scales along altitudinal gradients». *Journal of Biogeography*, núm. 30; p. 731-746.
- BELLAND, R. J. (2005): «A multivariate study of moss distributions in relation to environment in the Gulf of St. Lawrence region, Canada». *Canadian Journal of Botany*, núm. 83; p. 243-263.

- BOWDEN, W. B. (1999): «Roles of bryophytes in stream ecosystems». *Journal of the North American Benthology Society*, núm. 18; p. 151-184.
- BRUUN, H. H.; MOEN, J.; VIRTANEN, R.; GRYTNES, J. A.; OKSANEN, L.; ANGERBJÖRN, A. (2006): «Effects of altitude and topography on species richness of vascular plants, bryophytes and lichens in alpine communities». *Journal of Vegetation Science*, núm. 17; p. 37-46.
- CALLAGHAN, D. A.; ASHTON, P. A. (2008): «Bryophyte distribution and environment across an oceanic temperate landscape». *Journal of Bryology*, núm. 30; p. 23-35.
- CASAS, C. (1959): «Aportaciones a la flora briológica de Cataluña. Catálogo de las hepáticas y musgos del Montseny». *Anales del Instituto Botánico Antonio José Cavanilles*, núm. 17; p. 21-174.
- CASAS, C.; BRUGUÉS, M.; CROS, R. M. (2001): *Flora de Briòfits dels Països Catalans. I. Molses*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.
- CASAS, C.; BRUGUÉS, M.; CROS, R. M. (2004): *Flora de Briòfits dels Països Catalans. II. Hepàtiques i antocerotes*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans. 138 pàgines.
- CESCHIN, S.; ALEFFI, M.; BISCEGLIE, S.; SAVO, V.; ZUCCARELLO, V. (2012): «Aquatic bryophytes as ecological indicators of the water quality status in the Tiber River basin (Italy)». *Ecological Indicators*, núm. 14; p. 74-81.
- CORBERA, J.; FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, M.; JOVER, M.; TORNER, G.; CALPE, M.; CIURANA, O.; SABATER, F. (2015): «Els briòfits de les fonts de la Serralada Litoral Central, composició específica i efecte dels paràmetres ambientals en la seva distribució». *L'Atzavara*, núm. 25; p. 105-116.
- CROS, R. M. (1985): *Flora briològica del Montnegre*. Arxius de la Secció de Ciències, 78. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.
- GIGNAC, L. D. (1992): «Niche structure, resource partitioning, and species interactions of mire bryophytes relative to climatic and ecological gradients in Western Canada». *The Bryologist*, núm. 95; p. 406-418.
- GIGNAC, L. D. (1994): «Peatland species preferences: An overview of our current knowledge base». *Wetlands*, núm. 14; p. 216-222.
- GIGNAC, L. D.; VITT, D. (1990): «Habitat limitations of *Sphagnum* along climatic, chemical and physical gradients in mires of western Canada». *The Bryologist*, núm. 93; p. 7-22.
- GRAU, O.; GRYTNES, J. A.; BIRKS, H. J. B. (2007): «A comparison of altitudinal species richness patterns of bryophytes with other plant groups in Nepal, Central Himalaya». *Journal of Biogeography*, núm. 34; p. 1907-1915.
- GRYTNES, J. A. *et al.* (2006): «Species richness of vascular plants, bryophytes, and lichens along an altitudinal gradient in western Norway». *Acta Oecologica*, núm. 29; p. 241-246.
- HILL, M. O.; *et al.* (2006): «Bryological Monograph. An annotated checklist of the mosses of Europe and Macaronesia». *Journal of Bryology*, núm. 28; p. 198-267.

- KAPFER, J.; AUDORFF, V.; BEIERKUHNEIN, C.; HERTEL, E. (2012): «Do bryophytes show a stronger response than vascular plants to interannual changes in spring water quality?». *Freshwater Science*, núm. 31; p. 625-635.
- LÊ CAO, K. A.; ROSSOUW, D.; ROBERT-GRANIÉ, C.; BESSE, P. (2008): «A Sparse PLS for Variable Selection when Integrating Omics Data: Statistical Applications in Genetics and Molecular Biology». *Statistical Applications in Genetics and Molecular Biology*, núm. 7; p. 1-35.
- MARTÍN-VIDE, J. (1992): «El clima». A: CARRERAS, C. (ed.). *Geografia General dels Països Catalans*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana, p. 1-110.
- MATZEK, V.; VITOUSEK, P. (2003): «Nitrogen Fixation in Bryophytes, Lichens, and Decaying Wood along a Soil-Age Gradient in Hawaiian Montane Rain Forest». *Biotropica*, núm. 35; p. 12-19.
- NICHOLSON, B. J.; GIGNAC, L. D.; BAYLEY, S. E. (1996): «Peatland distribution along a north-south transect in the Mackenzie River Basin in relation to climatic and environmental gradients». *Vegetatio*, núm. 126; p. 119-133.
- NINYEROLA, M.; PONS, X.; ROURE, J. M. (2000): «A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques». *International Journal of Climatology*, núm. 20; p. 1823-1841. <<http://www.opengis.uab.cat/acdc/index.htm>>.
- OKSANEN, J.; *et al.* (2014): Package 'vegan': Community Ecology Package. R package version 2.2-0 [en línia]. <<https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf>>.
- PEÑUELAS, J. (1983): «La qualitat de les aigües del riu Muga: Dades físiques, químiques i biològiques». *Annals de l'Institut d'Estudis Empordanesos*, núm. 16; p. 33-49.
- PEÑUELAS, J.; SABATER, F. (1987): «Distribution of macrophytes in relation to environmental factors in the Ter River, NE Spain». *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, núm. 72; p. 41-58.
- PONS, X. (1996): «Estimación de la radiación solar a partir de modelos digitales de elevaciones. Propuesta metodológica». A: JUARISTI, J.; MORO, I. (ed.). *Modelos y sistemas de información geográfica*. Vitoria-Gasteiz: Universidad del País Vasco - Asociación de Geógrafos Españoles, p. 87-97.
- PROCTOR, M. C. F. (1982): «Physiological Ecology: Water Relations, Light and Temperature Responses, Carbon Balance». A: *Bryophyte Ecology*. Springer Netherlands, p. 333-381.
- R CORE TEAM (2015): R: A Language and Environment for Statistical Computing, version 3.2.3 [en línia]. <<https://cran.r-project.org>>.
- SABATER, F.; *et al.* (2015): «Caracterització hidrogeoquímica de les fonts de la Serralada Litoral Central en relació a la litologia i als factors ambientals». *L'Atzavara*, núm. 25; p. 93-104.

- SLACK, N. G. (1990): «Bryophytes and ecological niche theory». *Botanical Journal of the Linnean Society*, núm. 104; p. 187-213.
- SMITH, A. J. E. (1978): *The moss flora of Britain and Ireland*. Cambridge University Press. 706 pàgines.
- SMITH, A. J. E. (1990): *The liverworts of Britain and Ireland*. Cambridge University Press. 362 pàgines.
- SUREN, A. M.; DUNCAN, M. J. (1999): «Rolling stones and mosses: effect of substrate stability on bryophyte communities in streams». *Journal of the North American Benthological Society*, núm. 18; p. 457-467.
- SUREN, A. M.; ORMEROD, S. J. (1998): «Aquatic bryophytes in Himalayan streams: Testing a distribution model in a highly heterogeneous environment». *Freshwater Biology*, núm. 40; p. 697-716.
- TESSLER, M.; TRUHN, K. M.; BLISS-MOREAU, M.; WEHR, J. D. (2014): «Diversity and distribution of stream bryophytes: does pH matter?». *Freshwater Science*, núm. 33; p. 778-787.
- TIGNOR M.; MILLER, H. L. (ed.) —IPCC— (2007): *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC (Climate Change 2007)*. Cambridge University Press.
- VIRTANEN, R. *et al.* (2009): «Community concordance between bryophyte and insect assemblages in boreal springs. A broad-scale study in isolated habitats». *Freshwater Biology*, núm. 54; p. 1651-1662.
- VITT, D. (1991): «Distribution patterns, adaptive strategies, and morphological changes of mosses along elevational and latitudinal gradients on south Pacific islands». A: NIMIS, P. L.; CROVELLO, T.J. (ed.). *Quantitative approaches to Phytogeography*. Springer, p. 205-231.
- WOLF, J. H. D. (1993): «Diversity patterns and biomass of epiphytic bryophytes and lichens along an altitudinal gradient in the Northern Andes». *Annals of the Missouri Botanical Garden*, núm. 80; p. 928-960.