
Parmelia caperata (L.) com a bioindicador de la deposició atmosfèrica de diversos metalls pesants en dos alzinars del Montseny

**Anselm Rodrigo Domínguez
i Anna Àvila Castells**

*Centre de Recerca Ecològica
i Aplicacions Forestals (CREAF)
Universitat Autònoma de Barcelona*

Antonio Gómez Bolea

*Unitat de Botànica
Facultat de Biologia
Universitat de Barcelona*

*Aquest treball estudia la capacitat del líquen *Parmelia caperata* (L.) com a bioacumulador de la deposició atmosfèrica dels metalls pesants Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Co, Ni i Hg en dos alzinars del Montseny, amb una posició contrastada a la influència de la contaminació de la zona del Barcelonès i del Vallès. També es compara la concentració d'aquests metalls en el tal·lus d'aquest líquen amb la registrada en els dos mateixos alzinars en l'aigua de la deposició global, del trascal i del rentat de branques.*

S'ha trobat una concentració més gran dels metalls Cu, V, Zn i Cd en els tal·lus recollits a la zona de major exposició a la influència d'aquesta contaminació. En el cas del Ni i del Pb, no s'han trobat diferències significatives, i el Co presenta una concentració més alta a la zona més protegida. El Cr i el Hg han resultat indetectables amb aquesta metodologia.

*El líquen *P. caperata* ha resultat ser un bon indicador, en aquests dos alzinars, del rang en què hem trobat els metalls analitzats a l'aigua de la deposició global, del trascal i del rentat de branques. Ha permès, igualment, detectar petites diferències en la deposició d'aquests metalls, però repetides en el temps, d'una manera més consistent que no ho permeten les mesures de deposició. Tanmateix, això no es pot afirmar per al Cr ni per al Hg, ja que no es van detectar, i tampoc per al Pb, que presenta uns resultats que no concorden amb els esperats.*

*Aquesta capacitat mostrada per *P. caperata* com a bioindicador de la deposició de metalls pesants, junt amb les característiques biològiques d'aquest i la senzillesa del mètode, suggereixen que és recomanable utilitzar àmpliament aquest líquen com a bioindicador de la deposició d'aquests metalls pesants.*

Introducció

Els líquens presenten una sèrie de característiques que els fan ser molt utilitzats com a bioindicadors de la contaminació atmosfèrica. Tenen una activitat continuada durant l'any, i també una gran longevitat. Absorbeixen les substàncies atmosfèriques d'una manera ben poc selectiva i presenten un gran poder d'acumulació. A més, n'hi ha molts que pertanyen a espècies cosmopolites. Així, nombrosos estudis correlacionen la distribució dels líquens en una zona amb la influència de diverses fonts de contaminació.

A l'interior dels líquens hi ha espais intercel·lulars (el 18% a *Xanthoria parietina.*, Nash, 1996) en què es poden trobar partícules metàl·liques immobilitzades. Això s'observa, especialment, en els líquens situats sobre materials rocosos rics en aquestes substàncies. Ara bé, s'ha demostrat, també, que líquens situats sota la influència de fonts de contaminació contenen una elevada quantitat de partícules metàl·liques al seu interior (Gasparo i col·l., 1989; Nash, 1996; Ólmez i col·l., 1985)

En aquest treball estudiem la possible capacitat d'acumulació dels metalls Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Co, Ni i Hg en tal·lus de *Parmelia caperata*. Altres treballs han descrit ja la capacitat d'aquest mateix líquen (i alguna altra espècie del mateix gènere) com a bioacumulador de metalls pesants (Bargagli, 1990; Loppi i col·l., 1994; Ólmez i col·l., 1985). Nosaltres pretenem provar la validesa del líquen com a bioindicador mitjançant la comparació en el contingut de metalls pesants en el tal·lus d'aquests líquens en dos alzinars del massís del Montseny. Aquests dos boscos tenen una posició contrastada respecte a la influència de la contaminació de l'àrea barcelonina. Però en aquest treball, a més, volem comparar la deposició atmosfèrica d'aquests metalls pesants (mesurada durant uns setze mesos) i el seu contingut en aquests tal·lus. La comparació ens permetrà avaluar més acuradament la validesa d'aquest líquen com a bioindicador de la deposició atmosfèrica de metalls pesants.

Material i mètodes

Una de les dues zones d'estudi és un alzinar situat a la vall de la Castanya (LC), al centre del massís del Montseny (al NE de Barcelona), en una posició de relativa protecció respecte a la influència de la contaminació atmosfèrica de la zona industrial, urbana i viària del Vallès i el Barcelonès. L'altre alzinar és al vessant S del massís, prop de la riera de Sant Pere de Vilamajor (RP), en una zona oberta i exposada més directament a la influència d'aquesta contaminació. Parlem de deposició global d'un bosc referint-nos a l'aigua de pluja recollida per collectors que resten oberts durant el període de recollida. Els elements que hi ha en la deposició global provenen, d'una banda, de la deposició humida incident (els elements que la pluja arrossega de l'atmosfera), juntament amb els que provenen de la deposició gravitatòria (les partícules que per la força de la gravetat es dipositen sobre la superfície de l'embut). El trascal d'un bosc és l'aigua de pluja que passa a través de les capçades. Des d'un punt de vista de fluxos d'elements, s'interpreta com la suma del flux de la deposició humida

incident, més elements provinents del rentat de les fulles que provenen de dues vies: dipositats per la deposició seca (gravitatòria o en forma d'aerosols), o bé provinents de l'interior de la fulla que aquesta aigua pot lixiviar (Eaton, 1973; Parker, 1983; Reuss, 1991).

En cada un d'aquests boscos, hi ha establert un dispositiu experimental per registrar el trascol i la deposició global. Aquest dispositiu té quatre parcel·les de 7 m de radi amb vuit col·lectors de trascol cada una. A prop d'aquestes parcel·les, tenim, en una clariana oberta en el bosc, quatre col·lectors de deposició global. Les mostres utilitzades per a l'estudi són mostres de trascol i de deposició global recollides setmanalment en aquesta instal·lació entre el 23 de gener de 1995 i el 24 de juny de 1996 (durant el període hi va haver 54 setmanes en què es van registrar pluges). Diverses característiques de les zones d'estudi i d'aquestes parcel·les figuren detallades a la taula 1. La quantitat de pluja mostrada està calculada per al període en què es va dur a terme l'estudi.

Taula 1. Característiques de les zones estudiades.

Zona	Altitud (m)	Orientació	Pendent (graus)	Densitat (peus/ha)	Àrea basal (m ² /ha)	Alçada dels arbres (m)	Precipitació (l/m ² /any)
LC	731	N	37,5	2.127	26,5	5,943	1.029,4
RP	535	S	20,5	1.753	22,3	6,408	805,7

També en aquesta mateixa zona, durant el mes de juny de 1996, es va portar a terme un experiment per valorar els fluxos de deposició seca a la capçada (Lindberg i Lovett, 1985; Shanley, 1989). Després d'un període sense precipitacions (van ser cinc períodes que van oscil·lar entre 72 i 187 hores), es rentaven (amb aigua desionitzada) vuit branques de la part més alta de la capçada d'alzines dominants (que no tenen cap altre arbre per sobre) situades prop de les parcel·les de trascol. L'aigua obtinguda es recollia en ampolles, que es portaven al laboratori per a anàlisis posteriors. El rentat de les branques de la forma plantejada en aquest experiment equival als fluxos d'element aportats pel trascol, però sense la influència de la deposició humida (Lindberg i Lovett, 1985; Shanley, 1989).

Es va escollir treballar amb el líquen *Parmelia caperata* perquè presenta una sèrie de caràcters que el fan adient com a bioindicador: té una àrea de distribució àmplia, és fàcil d'identificar i té una morfologia foliàcia que en facilita la manipulació. El fet de ser un líquen epífit, si bé no permet eliminar completament la possible incorporació de metalls provinents del substrat, sí que ho fa molt poc probable (Bargagli, 1990). A més, aquest gènere és força resistent a la contaminació, i això permet que sigui utilitzat prop de focus de contaminació importants (Ólmez i col·l., 1985; Nash, 1996).

El mostratge dels líquens es va fer al final de juny de 1996. Les mostres es van obtenir de la manera següent. Es van seleccionar, a cada zona, 15 tal·lus d'uns 5-8 cm de diàmetre que pertanyessin cadascun d'ells a un sol individu de *P. caperata* i que aparentment no presentessin danys. S'evitava els tal·lus que tenien damunt seu qualsevol altre tipus d'organisme (líquens, molses, etc.). Per tal d'assegurar la màxima exposició a la deposició atmosfèrica inci-

dent sobre el bosc, aquests tal·lus havien d'estar situats en branques que es trobessin a la meitat superior de la capçada. Totes les branques formaven un angle sobre l'horitzontal que oscil·lava entre 0 i 45°.

Els arbres escollits sempre eren alzines (*Quercus ilex* L.) que ocupaven una posició dominant dins del bosc. Aquestes alzines estaven situades prop de les parcel·les de trascol, de manera que totes les alzines estaven a una distància d'entre 1 a 7 m des de la perifèria d'alguna d'aquestes parcel·les.

S'escollia el líquen a mostrar, i se separava el tal·lus del substrat i es guardava en una bossa de paper. Un cop al laboratori, es netejaven les dues superfícies del tal·lus amb aigua desionitzada (conductivitat < 1µS/cm). Després, es dessecava el tal·lus a l'estufa per obtenir-ne el pes sec. Un cop pesat, es triturava en un morter de vidre esmerilat fins a fer-lo pols. A continuació, es barrejava la mostra amb uns 40 ml d'aigua acidificada al 0,3% amb àcid nítric (i s'anotava exactament la quantitat d'aigua emprada) i es posava en agitació durant dues hores. Finalment, la dissolució es filtrava al buit (filtre Milipore de 0,45 µm). La mostra tractada així es va guardar a -20 °C i a les fosques. Si bé hi havia 15 mostres per a cada zona durant aquest procés, per diversos motius (tal·lus danyats, possibles contaminacions, etc.) se'n van refusar unes quantes i en van quedar 12 per a LC i 14 per a RP.

Les mostres d'aigua de trascol, de deposició global i de rentat de branques es filtren al buit (filtre Milipore de 0,45 µm) com a màxim 48 hores després de la recollida. Durant aquest temps d'espera, es guardaven a 4 °C i a les fosques. Després, s'acidificava la mostra al 0,3% amb àcid nítric i s'emmagatzemava a -20 °C i a les fosques.

L'anàlisi dels metalls pesants d'aquestes mostres es va realitzar als Serveis d'Anàlisi de la Universitat de Barcelona mitjançant la tècnica d'ICP (inducció acoblada de plasma) de masses. Aquesta tècnica té uns límits de detecció adients per treballar amb mostres de concentració tan baixes. Aquest límits són, per a Hg, Cd i Co, 0,1 ppb; per a Cu i Pb, 0,4 ppb; per a V, 0,5 ppb; per a Ni, 1 ppb; i per a Zn i Cr, 2 ppb.

L'anàlisi estadística es va fer mitjançant una T-Student de dues cues ($p < 0,05$) comparant les dues zones: la concentració en pes sec (expressat en µgr de metall / gr de pes sec) per als líquens; per a la deposició global, la concentració mitjana de cada metall (expressada en µeq/l) per a cada episodi mostrat, i el flux (expressat en ngr/cm² de fulla per dia) per al rentat de branques. En els tres casos es va fer una transformació logarítmica de les dades per normalitzar la distribució i evitar l'heteroscedasticitat de les variàncies.

El trascol es va analitzar amb una ANOVA de dos factors ($p < 0,05$): un factor era la zona, i l'altre, l'estació de l'any, ja que s'utilitzaven les mitjanes de les concentracions (ponderades per la quantitat de pluja) agrupades per estacions i per a cada zona.

Resultats

A la figura 1 es pot observar els valors mitjans de la concentració dels metalls trobats en els tal·lus dels líquens (expressats en µg del metall / gr de pes sec) per a cada una de les zones. El Zn és, de bon tros, el metall més abundant;

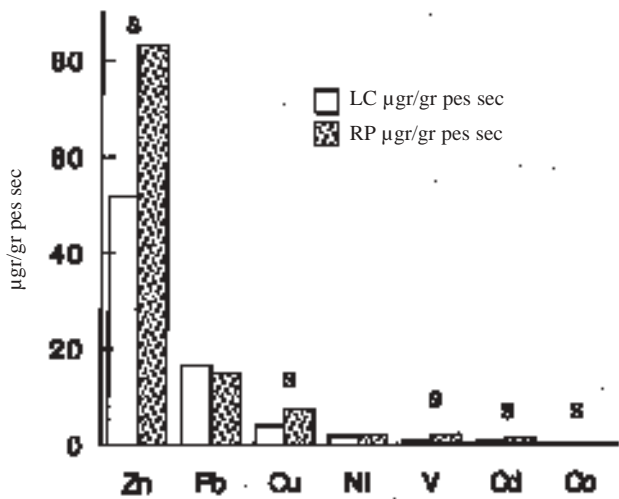


Figura 1. Contingut de metalls pesants en els líquens. S indica diferències significatives a les figures 1-6.

després hi ha el Pb i, en menor grau, el Cu. Després, amb quantitats semblants, el Ni, el V i el Cd. I, finalment, el Co. El Cr i el Hg van resultar indetectables amb la tècnica emprada. Els valors exactes figuren a la taula 2.

El Co, el Zn, el Cu, el V i el Cd presenten diferències significatives entre les dues zones. Només el Co ($p = 0,010$) és superior per a LC; en canvi, el Zn ($p = 0,0006$), el Cu ($p < 0,0001$), el V ($p < 0,0001$) i el Cd ($p = 0,0004$) presenten una quantitat més gran per a RP.

En canvi, els líquens d'RP tenen més Ni que no els d'LC, i al revés per al cas del Pb, però no pas d'una manera significativa.

A la figura 2, s'hi presenten els valors mitjans obtinguts en el rentat de branques per a cada zona i per a cada metall, expressats en ngr/cm² de fulla per dia per poder fer comparables les dades. Veiem que, excepte per al cobalt, tots els metalls presenten un valor significativament superior per a RP que per a LC. De Co, en canvi, trobem, si bé no d'una manera significativa, més quantitat a LC que no a RP. El Zn també és, de bon tros, el metall més abundant; després, amb molta diferència el Ni, seguit del Cu i del Pb. I, finalment, el Cd i el Co. El V, el Hg i el Cr no van ser detectats. Els valors exactes figuren a la taula 2.

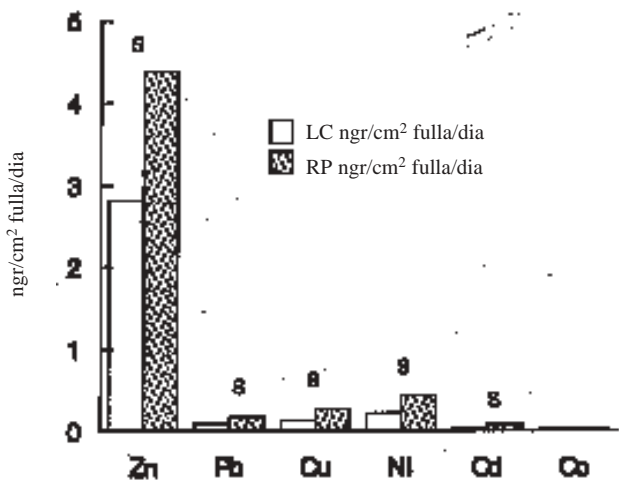


Figura 2. Flux de metalls pesants recollits en el rentat de branques.

A les figures 3 i 4, s'expressen els resultats per al trascol. A la figura 3, en forma de concentracions mitjanes en µgr/l, i a la 4, en forma de fluxos. Aquests fluxos són el resultat de sumar el flux de cada període (entès com el producte de la quantitat d'aigua de trascol per la concentració del metall) i dividir-ho pel nombre total de dies. Per tant, el nombre donat és el flux mitjà de tot el període per a cada metall i per a cada zona. Com que la pluja va ser força diferent entre les dues zones (taula 1), aquest paràmetre ens permet valorar millor la quantitat de metall dipositada en cada una de les zones, valoració que no queda tan clara si ens fixem només en la concentració.

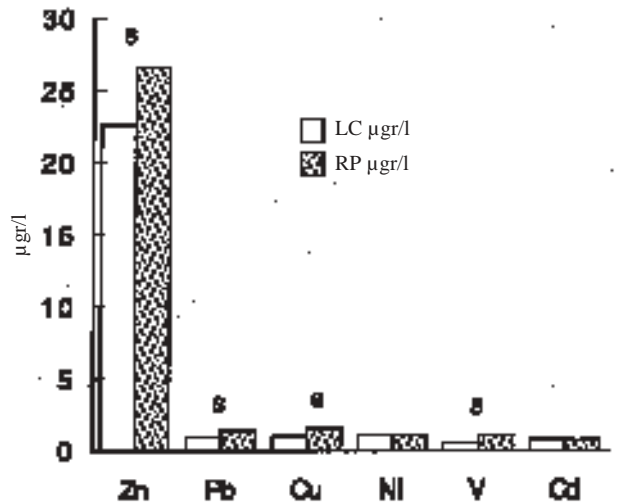


Figura 3. Concentració de metalls pesants en el trascol.

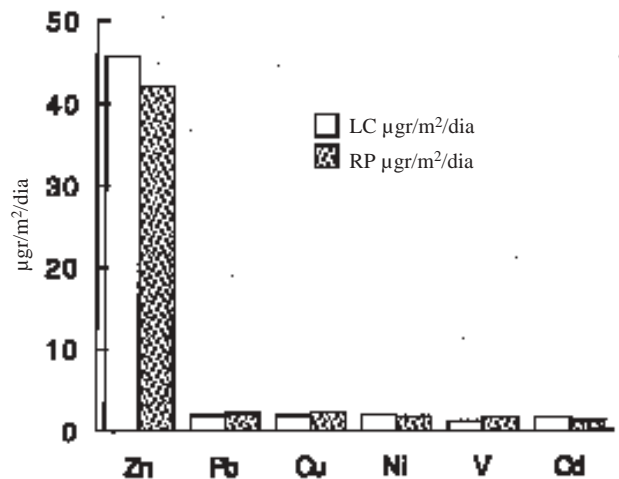


Figura 4. Flux de metalls pesants en el trascol.

A la figura 3 veiem que el valor obtingut per a V, Cu, Pb i Zn és significativament superior per a RP que per a LC. En els altres dos casos la diferència és pràcticament imperceptible. En canvi, si ens fixem en els fluxos, la diferència, tot i ser superior per a RP, és molt més petita per a V, Cu i Pb. En el cas del Zn, la tendència és la contrària, ja que se n'ha dipositat més a LC que a RP; i per al Cd i el Ni també hi ha més deposició a LC que a RP.

Tant si ens fixem en la concentració com si ho fem en els fluxos (els dos valors per a cada metall i per a cada zona figuren a la taula 2), el Zn és el metall més abundant. Després, el Cu, el Pb i el Ni, i, finalment, el Cd i el V.

A les figures 5 i 6 s'exposen els resultats per a la deposició global, en concentracions a la 5 i en fluxos a la 6. Els arguments per justificar la doble mesura, com també la manera de calcular-ho, són els mateixos que per al cas del trascol. Igualment, es troben els valors exactes a la taula 2.

A la figura 5 s'observa que en el cas de la deposició global no hi ha cap diferència significativa en les concentracions de cap metall. Si bé en el Zn, el Pb i el V la concentració és superior per a RP, si ens fixem en els fluxos, la diferència desapareix, i fins i tot s'inverteix per al cas del zinc.

L'ordre quantitatiu dels metalls és similar als altres casos. El Zn és, de molt, el més abundant; després, el Cu, Pb, Cd i V presenten quantitats molt semblants. I, finalment, el Ni, el Co, el Hg i el Cr resulten indetectables.

Discussió

La comparació entre els valors de concentració de metalls en els tal·lus de *P. caperata* obtinguts en aquest estudi (figura 1) respecte a altres estudis (Bargagli, 1990; Lippo *i coll.*, 1995; Loppi *i coll.*, 1994; Nash; Ólmez *i coll.*, 1985) ens mostren que aquests valors es trobarien al rang superior dels considerats normals en situacions de no-influència de la contaminació. Per al cas del Pb, Zn i Cu, a RP serien valors lleugerament més alts. Cal considerar, però, que en aquests estudis el tal·lus del líquen és sotmès a una digestió o a una combustió; nosaltres, en canvi, només l'hem triturat i dissolt en aigua. Com a conseqüència d'aquest procés d'extracció més simple, els metalls que nosaltres detectem es troben a l'interior del líquen, de manera que es poden dissoldre amb facilitat. Provenen en la major part dels que es puguin trobar acumulats als espais intercel·lulars (Nash, 1996). Per tant, molt probablement, els nostres resultats estan infravalorats lleugerament respecte a la bibliografia esmentada.

La comparació entre l'abundància en què hem trobat els

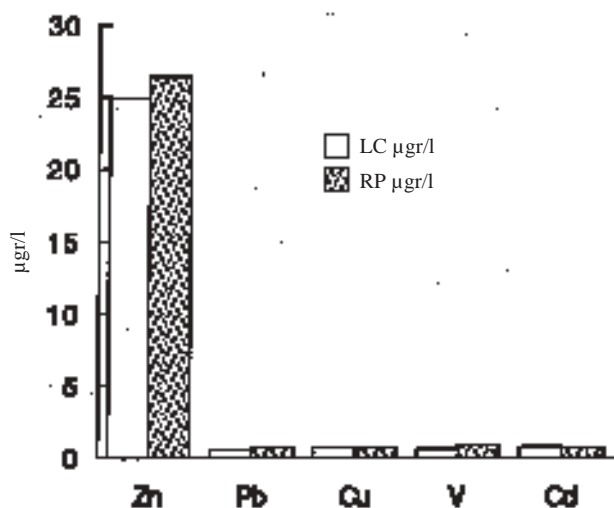


Figura 5. Concentració de metalls pesants en la deposició global.

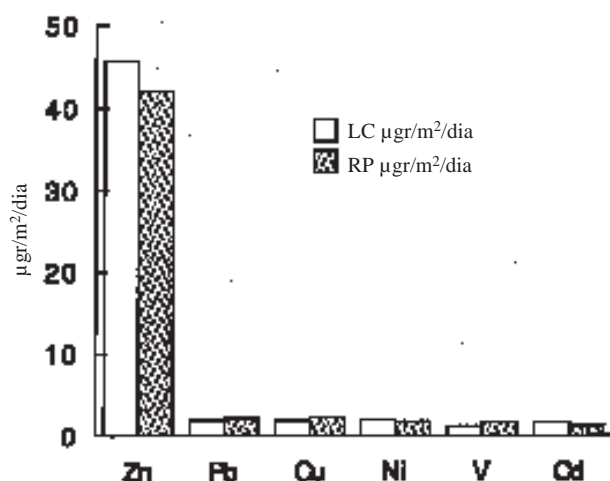


Figura 6. Flux de metalls pesants en la deposició global.

Taula 2. Mitjanes \pm desviació estàndard per a les concentracions. Per als líquens a LC, $n = 12$, i a RP, $n = 14$; per a les branques, $n = 38$; per a la deposició global, $n = 54$, ja que és la mitjana de cada episodi; per al trascol, $n = 4$, ja que és la mitjana de les mitjanes per a tot el període de les quatre parcel·les.

Metall	Zona	Líquens ($\mu\text{gr}/\text{gr}$)	Branques ($\text{ngr}/\text{cm}^2/\text{fulla}$)	Trascol ($\mu\text{gr}/\text{l}$)	($\mu\text{gr}/\text{m}^2/\text{dia}$)	Deposició global ($\mu\text{gr}/\text{l}$)	($\mu\text{gr}/\text{m}^2/\text{dia}$)
Zn	LC	51,7	$2,81 \pm 1,30$	$22,6 \pm 8,45$	45,7	$24,9 \pm 13,9$	53,3
	RP	83,1	$4,39 \pm 2,68$	$26,6 \pm 7,95$	42,1	$26,4 \pm 16,1$	42,0
Pb	LC	16,4	$0,0948 \pm 0,0452$	$0,986 \pm 0,550$	1,88	$0,588 \pm 0,372$	1,53
	RP	14,9	$0,173 \pm 0,0970$	$1,42 \pm 0,610$	2,14	$0,784 \pm 0,511$	1,53
Cu	LC	4,01	$0,126 \pm 0,091$	$0,993 \pm 0,534$	1,90	$0,754 \pm 0,648$	1,66
	RP	7,49	$0,272 \pm 0,300$	$1,55 \pm 0,856$	2,26	$0,736 \pm 0,537$	1,27
Ni	LC	1,77	$0,217 \pm ,142$	$1,07 \pm 0,675$	2,00		
	RP	2,03	$0,432 \pm 1,00$	$1,12 \pm 0,623$	1,75		
V	LC	0,916		$0,584 \pm 0,198$	1,17	$0,596 \pm 0,498$	1,19
	RP	2,00		$1,02 \pm 0,303$	1,60	$0,843 \pm 0,800$	1,23
Cd	LC	0,508	$0,0331 \pm 0,0187$	$0,801 \pm 0,364$	1,61	$0,759 \pm 0,711$	2,06
	RP	1,30	$0,0828 \pm 0,108$	$,783 \pm 0,243$	1,25	$0,719 \pm 0,607$	1,59
Co	LC	0,299	$0,0391 \pm 0,0409$				
	RP	0,178	$0,0177 \pm 0,0093$				

metalls en els líquens i l'abundància en què els hem trobat en les mesures de deposició pot ser un bon indicador del comportament d'aquest líquen com a bioacumulador. Si ens fixem en les figures 1 a 6, observem que per a les quatre variables hi ha un rang similar de metalls pesants; és a dir, que el Zn és el metall amb més concentració en l'aigua de pluja, trascol i rentat de branques, i també ho és en els líquens. El Cu, el Ni, el Pb, el V i el Cd serien en un segon grup de concentracions, igual que en els líquens, excepte per al Pb. Dins d'aquest grup, el V i Cd són els que es troben en menor mesura, circumstància reflectida també en els líquens. Finalment, el Co no ha pogut ser detectat ni en la deposició, ni en el trascol, i és, justament, el metall trobat en menor concentració en els líquens. El Cr i el Hg tampoc no han superat el límit de detecció per a cap dels quatre casos. La diferència relativa entre aquests agrupaments també es mostra força similar.

La concentració del Pb en el líquen mostra un nivell respecte als altres metalls força superior al trobat en el trascol, en la deposició global i en el rentat de branques. L'explicació podria ser doble. D'una banda, que el líquen absorbeix d'una manera preferent el Pb respecte a altres metalls, o presenta molta més dificultat a possibles lixiviacions, cosa que explicaria aquesta acumulació desproporcionada en els tal·lus dels líquens. Hi ha, però, una altra explicació. Els tal·lus recollits tenien, aproximadament, de 10 a 15 anys, és a dir, que el Pb que hi ha en el tal·lus és l'acumulació de la deposició de tot aquest temps. Les altres mesures només tenen en compte els últims 16 mesos d'aquesta deposició. És coneguda la relació entre la introducció de la benzina sense plom i el descens dels valors d'immissió d'aquest metall, i és raonable pensar que també de la deposició (DGQA, 1994, Johnson *i coll.*, 1995, Jones *i coll.*, 1991). Per tant, el líquen registra deposicions de Pb d'anys anteriors que, probablement, eren superiors a les actuals i que expliquen aquesta major quantitat de Pb en els líquens.

Els resultats obtinguts reflecteixen, igualment, una gran capacitat del líquen per detectar petites diferències entre les dues zones. Aquesta capacitat, però, no es mostra igual per a tots els metalls, i per tal de discutir-ho els agruparem segons el seu comportament.

Zinc, coure, vanadi i cadmi

Tots quatre elements presenten major concentració en els líquens a la zona que té més influència de la contaminació (RP), cosa que coincideix amb el que s'ha trobat en el rentat de branques i en la concentració del trascol. En el cas del Cd i el Zn, aquesta diferència es perd, i per al V i el Cu se suavitzava molt, en les mesures de deposició global i de flux de trascol. Això indueix a pensar que el líquen té més facilitat per captar la deposició seca. Així, en el rentat de branques, en què només hi ha deposició seca, el comportament és molt similar; en el trascol, en què una part és de deposició seca, i una altra part, humida, el comportament no és tan clar; i en la deposició global el comportament encara s'allunya més. Tanmateix, no dispodem de dades que ens expliquin el possible paper de la lixiviació d'aquests metalls en l'enriquiment o no de l'aigua de trascol i de rentat de branques.

En canvi, si ens fixem en els fluxos, la diferència entre l'aportació per deposició global i per trascol és molt petita, és a dir, que sembla que l'aportació de la deposició seca respecte a la humida és especialment petita, gairebé nul·la

per al Zn, que és, en canvi, el que més abunda en els líquens. És veritat que la pluja durant aquest període (vegeu la taula 1) ha estat especialment alta respecte a la mitjana del 10 últims anys (889,1 l/m² des de l'agost de 1984 fins al febrer de 1995, dades per a LC). Probablement en anys anteriors, i, per tant, afectant només el líquen, la importància relativa de la deposició seca va ser més gran.

Malgrat tot, amb les dades obtingudes no es pot afirmar clarament que el líquen estigui més influenciat per la deposició seca que per la humida. El que sí que sembla clar és que fins i tot quan les diferències són molt petites en la deposició d'aquests metalls, si aquestes es repeteixen en el temps, el líquen té prou sensibilitat per registrar-les amb claredat. Així, el V i el Cu, que presentaven la diferència entre les dues zones amb la significació més alta, també són les que mostren diferències més clares en la major part de les variables considerades.

Níquel

Si ens fixem en el trascol, no hi ha cap diferència ni en la concentració, ni pràcticament en el flux de deposició, tal com ho reflecteix el que s'ha trobat en el líquen. El resultat de les branques resulta certament contradictori; però, com que el trascol abraça un període molt més llarg, sembla més raonable pensar que la deposició de Ni és molt similar a les dues zones. El líquen, doncs, està mostrant aquest comportament d'una manera clara.

Cobalt i plom

En aquests dos metalls, els resultats dels líquens mostren una major quantitat a LC que a RP. Si bé no d'una manera significativa per al cas del Pb. En el cas del Co, només es pot contrastar amb les mesures del rentat de branques. És veritat que aquesta aproximació dona una informació limitada; però, en tot cas, el líquen reflecteix aquest mateix resultat.

El Pb, en canvi, és comporta d'una manera contradictòria. De fet, cal esperar que en els líquens de la zona d'RP, més exposada a la contaminació urbana, industrial i de vies de circulació (i tal com indiquen els resultats de Cu, Zn, V i Cd, com també el mateix Pb en les mesures de deposició), hi hauria d'haver una quantitat significativament superior de Pb. Les referències bibliogràfiques consultades mostren, igualment, un increment de la presència de Pb en líquens propers a fonts de contaminació, especialment a vies de circulació (Bargagli *i coll.*, 1978; Loppi *i coll.*, 1994; Ólmez *i coll.*, 1985; Pérez, 1984). Encara més, acceptant la hipòtesi, expressada al principi de la discussió, que havia descendit el nivell de Pb, sembla raonable pensar que aquesta diferència amb anys anteriors havia de ser encara més pronunciada a favor d'una major deposició de Pb a RP i, per tant, reflectida en el líquen. Això, però, no passa. En conseqüència, amb les dades presentades en aquest estudi no es pot explicar el comportament del Pb d'una manera satisfactòria.

Conclusions

Els nivells de metalls pesants trobats a les dues zones no són en cap cas alarmants. Són semblants als trobats en altres zones no contaminades. Tanmateix, la zona RP, amb una hipotètica exposició més gran a la influència de la contaminació que la zona LC, té, efectivament, una deposició

superior de Cu, V, Zn i Cd. La deposició de Ni no sembla diferir a les dues zones, i la de Cr i Hg no s'ha detectat per a cap de les dues. En canvi, sembla que el Co sigui més abundant a LC i que el Pb no s'ajusti a l'esperat segons la concentració trobada en les mesures de deposició; raó per la qual no estem en condicions d'afirmar si hi ha diferències o no.

El líquen *Parmelia caperata* (L.) es pot considerar un bon indicador de la deposició atmosfèrica dels metalls pesants Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Co, Ni i Hg, per a aquests dos alzinars del Montseny, ja que, a partir de la concentració trobada en el tal·lus: 1) es pot establir prou aproximadament el rang de deposició atmosfèrica dels metalls analitzats, i 2) s'han pogut observar les possibles diferències entre les dues zones d'una manera molt més clara que en el trascol o en la deposició global. Això és especialment clar per al Cu, V i Ni. I menys clar per al Zn, Cd i Co, i no ha quedat provat per al cas del Pb.

Aquesta capacitat de *Parmelia caperata* com a bioindicador de la deposició de metalls pesants, junt amb la senzillesa del mètode d'extracció emprat, la ubiqüitat d'aquest líquen i la facilitat d'identificació que té, ens suggereixen que aquest líquen podria ser emprat àmpliament com a indicador de la deposició seca de metalls pesants. Fins i tot pot resultar útil per establir gradients de deposició atmosfèrica de metalls a escala geogràfica més general.

Creiem, a més, que pot ser convenient aprofundir la comprensió de quin és el comportament del plom.

Bibliografia

Bargagli, R. «Assessment of metal air pollution by epiphytic lichens: the incidence of crustal materials and of the possible uptake from substrate barks». *Studia Geobotanica*, 10 (1990), 97-103.

DGQA. Direcció General de Qualitat Ambiental. *La qualitat de l'aire a Catalunya. Període 1993-1994*. Barcelona: De-

partament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya, 1994.

Eaton, J.S.; Likens, G.E.; Bormann, F.H. «Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest». *Journal of Ecology*, 61 (1973), 495-508.

Johnson, Ch.E.; Siccama, T.G.; Driscoll, Ch.T.; Likens, G.E.; Moeller, R.E. «Changes in lead biogeochemistry in responses to decreasing atmospheric inputs». *Ecological Applications*, 5 (1995), 813-822.

Jones, K.C.; Symon, C.; Taylor, P.J.L.; Walsh, J.; Johnston, A.E. «Evidence for a decline in rural herbage lead levels in the UK». *Atmospherical Environment*, 25A (1991), 361-369.

Lippo, H., Poikolainen, J. and Kubin, E. «The use of moss, lichen and pine bark in the nationwide monitoring of atmospheric heavy metal deposition in Finland». *Water, Air and Soil Pollution*, 85 (1995), 2247-2252.

Loppi, S.; Chiti, F.; Corsini, A.; Bernardi, L. «Lichen biomonitoring of trace metals in the Pistoia area (central northern Italy)». *Environmental Monitoring and Assessment*, 29 (1994), 17-27.

Nash III, T. «Nutrients, elemental accumulation and mineral cycling». A: *Lichen Biology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

Ólmez, I., Cetin Gulovali, M.; Gordon G.E. «Trace element concentrations in lichens near a coal-fired power plant». *Atmospheric Environment*, 19 (1985), 1663-1669.

Pérez, R. «Estudio del contenido de metales pesados en briófitos del área metropolitana de Barcelona». *Anales de Biología*, 2 (1984), 347-352.

Lovett, G.M.; Lindberg, S.E. «Dry deposition and canopy exchange in a mixed oak forest as determined by analysis of throughfall». *Journal of Applied Ecology*, 21 (1984), 1.013-1.027.

Parker, G.G. «Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle». *Advances in Ecological Research*, 13 (1983), 57-133.

Reuss, J.O.; Johnson, D.W. *Acid deposition and the acidification of Soils and Waters*. 1986.