

## OFICI DE NATURALISTA

# Els líquens com a bioindicadors de la qualitat atmosfèrica: el cas de la vall de Fumanya (Cercs, Barcelona)

Xavier Ariño Vila\*, Teresa Azuaga García\*  
& Antonio Gómez-Bolea\*

Rebut: 04.06.97  
Acceptat: 23.09.97

## Resum

En aquest article es dona una visió general de l'ús dels líquens com a indicadors de qualitat atmosfèrica i es presenta una classificació de les diferents metodologies utilitzades. S'exposa el cas de la vall de Fumanya, directament afectada per la contaminació que arriba de la central tèrmica de Cercs, que exemplifica la utilitat dels líquens epífits de *Pinus sylvestris* com a indicadors de la qualitat atmosfèrica. Les observacions demostren un fort increment del nombre d'espècies líquèniques epifítiques en augmentar la distància respecte del focus contaminant.

MOTS CLAU: Contaminació atmosfèrica, líquens epífits, *Pinus sylvestris*.

## Abstract

**The lichens as bioindicators of the atmospheric quality: the example of the vall de Fumanya (Cercs, Barcelona)**

\* Departament de Biologia Vegetal (Unitat de Botànica). Facultat de Biologia (UB). Av. Diagonal, 645. E-08028. Barcelona.

In this paper a general view of the use of lichens as indicators of atmospheric quality is given. A classification of the different methodologies used is also given. We present the case of the *vall de Fumanya*, a valley directly affected by the pollution from the coal-fired power plant. This will show the use of epiphytic lichens on *Pinus sylvestris* as indicators of atmospheric quality. Our observations show that high increase in the number of epiphytic lichens species is proportional with the distance to the coal-fired power plant.

KEYWORDS: Atmospheric pollution, epiphytic lichens, *Pinus sylvestris*.

## Resumen

**Los líquenes como bioindicadores de la calidad atmosférica: el caso de vall de Fumanya (Cercs, Barcelona)**

En este artículo se da una visión general del uso de los líquenes como indicadores de calidad atmosférica y se presenta una clasificación de las diferentes metodologías utilizadas. Se expone el caso del valle de Fumanya, directamente afectado por la contaminación procedente de la central térmica, que ejemplifica la utilidad de los líquenes epífitos de *Pinus sylvestris* como indicadores

## OFICI DE NATURALISTA

de qualitat atmosfèrica. Las observaciones demuestran un gran aumento en el número de especies líquénicas epifíticas, al distanciarnos del foco emisor de contaminantes.

PALABRAS CLAVE: Contaminación atmosférica, líquenes epífitos, *Pinus sylvestris*.

## Contaminació i qualitat atmosfèrica

El concepte de *contaminació atmosfèrica* es refereix a l'alteració de la composició de l'atmosfera a causa de la presència de certes concentracions de substàncies, pol·luents, antropogèniques o no. Aquests pol·luents poden ser en alguns casos innocuus, però en d'altres, per la seva naturalesa, repercuteixen negativament en l'equilibri ambiental, en la salut humana o bé en la conservació dels béns de naturalesa diversa. Des dels anys setanta, van ser iniciades a Catalunya mesures sistemàtiques d'alguns pol·luents atmosfèrics, que actualment es porten a terme mitjançant la «Xarxa de vigilància i previsió de la contaminació atmosfèrica a Catalunya (XVPCA)» (González i Cabré *et al.*, 1985 i «La contaminació atmosfèrica», Generalitat de Catalunya, 1991). La legislació dictada pels organismes competents estableix, per a cadascun dels pol·luents, com s'han de mesurar i quines són les concentracions màximes tolerables. En qualsevol cas, aquests valors corresponents a concentracions relatives o absolutes de pol·luents a l'atmosfera no tenen en compte les particularitats microambientals i donen poca informació o nul·la de l'impacte en el medi natural. En realitat, quan ens referim als efectes dels diferents contaminants atmosfèrics en els organismes estem definint la qualitat atmosfèrica. Per a l'estimació d'aquesta qualitat, el millor mètode és, sens dubte, la utilització dels propis organismes, que anomenem *bioindicadors*,

ja que recullen de manera global l'alteració de les condicions ambientals. Són bons organismes indicadors aquells organismes amb els quals és possible posar en evidència diferents graus de contaminació i on, a més a més, les alteracions són fàcilment detectables. En el cas concret de la qualitat atmosfèrica, considerem que són bons indicadors quan *a)* són sensibles als contaminants, *b)* presenten una àmplia distribució pel territori i *c)* tenen gran longevitat. L'ús de bioindicadors no proporciona les concentracions puntuals dels contaminants en un moment donat, però sí que permet d'estimar la quantitat acumulada durant la vida de l'organisme, posant de manifest, a més a més, els danys que realment s'han produït lloc en els éssers vius, integrant tots els factors com ara durada de la contaminació, climatologia, possibles efectes sinèrgics entre els diferents contaminants, etc.

## L'ús dels líquens com a bioindicadors

Els líquens, principalment els epífits, són reconeguts com a bons indicadors de la qualitat atmosfèrica, i han estat molt utilitzats arreu del món. Una compilació dels treballs sobre líquens i la qualitat de l'aire la podem trobar en la sèrie de reculls titulats «Literature on air pollution and lichens» (Henderson, 1996). El seu ús no es troba restringit solament als estudis puntuals al voltant de zones especialment conflictives (indústries, centrals tèrmiques, etc.), sinó també de grans extensions geogràfiques.

La repetició periòdica dels estudis en àrees concretes permet de fer un seguiment dels líquens. Les variacions observades es poden correlacionar amb canvis en la concentració de contaminants en l'atmosfera, tal com s'ha posat en evidència recentment a París (Letrouit-Galinou *et al.*, 1992). Un

dels avantatges és que els líquens actuen com a indicadors de la qualitat ambiental global: no podem aïllar l'efecte d'un contaminant de l'efecte d'altres contaminants ni del d'altres factors ecològics com la llum, la humitat, la temperatura, etc. A causa d'això, la correlació entre la contaminació i el creixement dels líquens serà més bona com més contaminants (com SO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, Cu, Pb, Cl, etc.) es tinguin en compte. En aquest mateix sentit, i com a conseqüència de l'alta sensibilitat enfront les pertorbacions del medi, els líquens han estat utilitzats com a indicadors de «l'estat de salut» dels boscos (Rose, 1976 i Etayo & Gómez-Bolea, 1992), ja que certs tàxons o comunitats líquèniques ens poden servir per a valorar el grau de preservació de la massa forestal.

Quins són els principals factors que determinen l'eficàcia dels líquens com a bioindicadors? Podem considerar les característiques següents (Nimis *et al.*, 1991 i 1992):

- No tenen estructures selectives o protectoras (tipus epidermis) que actuïn de barrera davant les substàncies de l'ambient. El component que confereix estructura al líquen és fúngic, sense cel·lulosa ni lignina a les parets cel·lulars que les facin impermeables.

- Estan mancats de mecanismes d'absorció activa del substrat. La major part dels nutrients que utilitzen els líquens provenen de la deposició atmosfèrica.

- L'absència de mecanismes d'eliminació dels contaminants que s'acumulen en el tal·lus.

- L'amplitud ecològica de les espècies, molt estricta i ben definida. Determinats canvis en la flora líquènica es poden relacionar amb canvis en les condicions del medi.

- La diferent tolerància de les espècies a la contaminació permet d'establir una escala de tolerància i d'estimar diferents graus de

qualitat atmosfèrica a partir de la flora líquènica.

A més d'això, la gran longevitat dels líquens, juntament amb el fet de ser metabòlicament actius durant tot o gairebé tot l'any (sense període de repòs fisiològic), són uns altres factors que Deruelle & Lallemand (1983) apunten com a importants per a considerar els líquens com a bons bioindicadors.

### Tipus d'estudis

Els diferents tipus d'estudis tenen com a principal objectiu obtenir les dades necessàries per a la representació gràfica de la distribució dels contaminants. Per a això s'estableixen estacions o punts de mostreig, repartits homogèniament a l'àrea de treball, o incrementant el nombre d'estacions en zones especialment conflictives. Aquestes mateixes estacions, a més, poden servir en un futur per a fer un seguiment de l'evolució de la contaminació.

Es poden considerar dos grans tipus de mètodes:

#### a) Estudis basats en espècies individuals

Normalment fan servir espècies ben conegudes i fàcils d'identificar. No requereixen un coneixement gaire exhaustiu de la flora líquènica i, per tant, no cal ser especialista en líquens per a dur-los a terme.

- *Mesura de la concentració dels contaminants en el tal·lus.* Per a fer-ho es prenen mostres d'una espècie a diferents distàncies de la font contaminant, que posteriorment seran analitzades per mètodes espectrofotomètrics, cromatogràfics o per comptadors de radioactivitat (Nieboer *et al.*, 1972; Nash III & Sommerfeld, 1981 i Puckett, 1988).

- *Estimació del grau de vitalitat de l'espècie.* Es basa en el fet que el grau de vitalitat disminueix en disminuir la qualitat atmosfèrica. S'adopten diferents paràmetres per a estimar la vitalitat (quantitat de clorofil·la, mida del tal·lus, presència d'estructures de reproducció sexual, presència de necrosi al tal·lus, etc.). Aquest mètode s'ha aplicat amb èxit en l'estudi de l'efecte del trànsit d'automòbils al massís del Montseny (Glenn *et al.*, 1995).

- *Trasplantament.* Consisteix a trasplantar tal·lus des d'una zona suposadament no contaminada a la zona que volem estudiar. L'evolució de les mostres (mortalitat, intensitat de fotosíntesi, necrosi del tal·lus, etc.) està relacionada amb els nivells de contaminants. Aquest mètode fou proposat per primera vegada per Brodo (1961).

#### b) Estudis florístics i fitosociològics

Per a aquest tipus d'estudis és necessari el coneixement de les espècies i, per tant, cal un especialista en líquens per a realitzar-los. Es fonamenten en el fet que la disminució de la qualitat atmosfèrica va lligada a la reducció i desaparició de les espècies més sensibles i a la dominància de les més resistents. Les comunitats es van empobrint i passen a estar constituïdes per poques espècies, les quals són resistents a la contaminació, fet que condueix, en definitiva, a una homogeneïtzació i a una reducció en la biodiversitat líquènica. En darrer terme, i com passa a les zones intensament industrialitzades i en algunes grans ciutats, els líquens desapareixen totalment, originant el que s'anomena «desert líquènic» (Hawksworth & Rose, 1970).

Dins d'aquest estudi, distingim els mètodes següents:

- *Qualitatius.* Basats en la utilització d'escala biològica que relacionen la presència de certes espècies amb un cert nivell de contaminació a l'atmosfera. L'escala més utilitzada és la de Hawksworth & Rose (1970), que dona, per a Anglaterra, una llista d'espècies per a escorces no eutrofitzades i una altra per a les escorces eutrofitzades.

- *Quantitatius.* Es basen en el càlcul d'un índex a partir de dades numèriques, com el nombre d'espècies, la superfície que ocupen i la freqüència. El més utilitzat, del qual s'han fet successives millores i/o adaptacions, va ser proposat per Leblanc & De Sloover (1970) i s'anomena *índex de puresa atmosfèrica* (IPA). A Catalunya aquest mètode s'ha aplicat a la regió de la plana i les serralades litorals tarragonines (Giralt, 1996).

Ja sigui per mètodes qualitius o quantitatius, les diferents estacions seleccionades per a l'estudi, dintre d'un territori homogeni, poden agrupar-se per classes d'isocontaminació i representar en mapes les àrees d'isocontaminació.

### Un exemple: la central tèrmica de Cercs

La central tèrmica de Cercs està situada a la comarca de l'alt Berguedà (Barcelona). Fou inaugurada el 1929 i ampliada el 1971. El contaminant més important que emet és el diòxid de sofre, produït per l'oxidació del sofre durant la combustió de lignit de baixa qualitat (Martínez Millán, 1988). Al costat mateix de la central hi ha la vall de Fumanya, on es troben les antigues explotacions mineres de Fígols i Fumanya, actualment abandonades. Segons dades publicades l'any 1991 (Calidad del aire en España. MOPTMA), la concentració màxima detec-

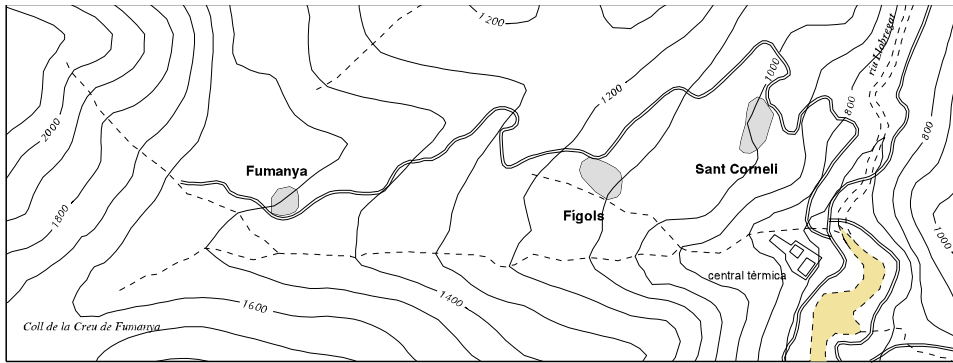
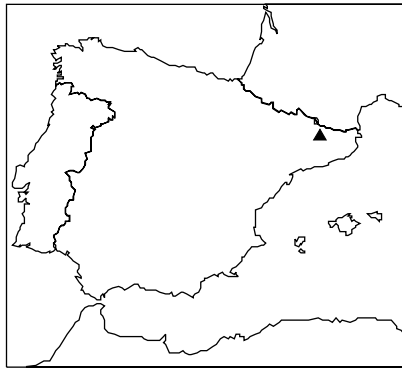


FIGURA 1. Localització de les estacions (E1-E4) a la vall de Fumanya, i de la vall a la península Ibèrica.

Location of the stations (E1-E4) in the vall de Fumanya and in the Iberian Peninsula.

tada de diòxid de sofre va ser de 211 µg/m<sup>3</sup> a Saltes i de 275 µg/m<sup>3</sup> a Berga, localitats situades al nord i al sud respectivament del focus emissor.

### Metodologia

La vegetació dominant de la vall de Fumanya és la pròpia de les zones de muntanya, amb rouredes (*Buxo-Quercetum pubescentis*) amb pi roig (*Pinus sylvestris*)

i que fan de transició en altitud cap a boscos de pi negre (*Pinus uncinata*).

Durant la tardor de 1991 es van seleccionar quatre estacions de mostreig (E1, E2, E3 i E4), situades seguint un transsecte, paral·lel a la vall, a unes distàncies lineals de la central tèrmica d'1, 2, 3,5 i 5,5 km respectivament, i amb una variació altitudinal que va des dels 1.100 als 1.600 metres (fig. 1). Aquesta variació altitudinal, la considerem irrellevant després del coneixement que tenim de la flora epifítica de *Pinus*

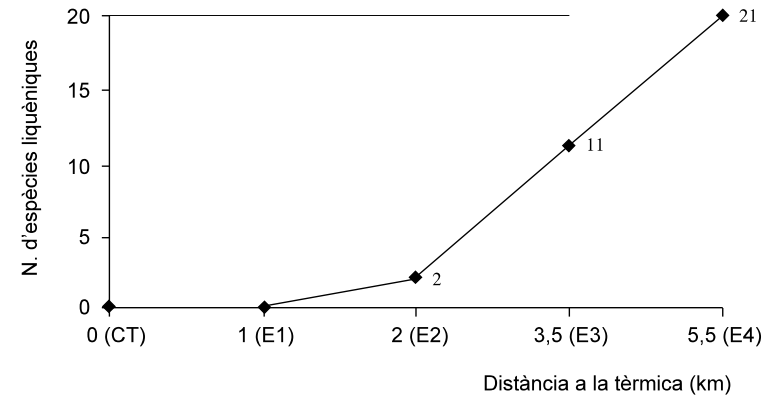


Figura 2. Nombre d'espècies líquèniques en cada estació, segons la seva distància a la central tèrmica (km).

Number of lichens species for each station, as a function of distance to the coal-fired power plant (km).

*sylvestris* i *Pinus uncinata* en llocs semblants, com ara a la collada de Toses (Gómez-Bolea, 1984). Les estacions estaven compostes per set foròfits, en el nostre cas el pi roig, que fou escollit a causa de la seva abundància i àmplia distribució en la vall. Es van seleccionar arbres isodiamètrics (30-35 cm de diàmetre), aïllats o fora de la massa forestal per tal d'evitar l'efecte de pantalla. El mostreig es va realitzar a tot el perímetre del tronc comprès entre els 50 i 150 cm d'alçada. Les espècies es van determinar *in situ* o en el laboratori quan fou necessari. Per a cada estació es va calcular el nombre mitjà de tàxons per arbre, a partir del total de presències de tots els tàxons, dividit pel nombre d'arbres (7). El valor calculat es proposa com a índex de diversitat líquènica.

### Resultats

Els tàxons de líquens identificats en cada una de les estacions del transsecte es mostren en la taula 1. És evident la dismi-

nució de la diversitat líquènica en les estacions E1 i E2, més properes a la central tèrmica. A una distància d'1 km (E1) de la central, les condicions són de desert líquènic i els troncs presenten tan sols recobriments d'algues. A l'estació E2 es van observar puntualment petits tal·lus crustacis, molt poc desenvolupats, i ben coneguts com a resistents a la pluja àcida (Leblanc & De Sloover, 1970). A l'estació E3 es va produir un increment notable en el nombre d'espècies, amb presència de tal·lus foliacis i fruticulosos (*Hypogymnia* sp. pl. i *Pseudovernia furfuracea*), sovint petits, mal desenvolupats i amb necrosi. No es fins a l'estació E4 que s'assoleix la diversitat esperable en aquest tipus de comunitats (Gómez-Bolea, 1984).

Existeix, doncs, una clara relació entre la distància a la central i el nombre de tàxons de líquens (fig. 2). L'efecte dels contaminants atmosfèrics sobre la comunitat líquènica establerta es mínim a una distància de 5,5 km de la central tèrmica (E4). Caldria esperar que, sense l'efecte de la contaminació, les comunitats líquèniques establertes

TAULA 1. Líquens identificats a les estacions estudiades a la vall de Fumanya. La xifra indica el nombre d'arbres per estació en què el tàxon ha estat identificat.

Lichens identified in the stations studied from the *vall de Fumanya*. The numbers indicate the number of trees per station where the taxon occurs.

Tàxons	Estacions			
	E1	E2	E3	E4
Algues clorococals	7	7	7	.
<i>Lecania cyrtellina</i> (Nyl.) Sandst.	.	2	.	1
<i>Scoliciosporum chlorococcum</i> (Stenh.) Vězda	.	1	.	.
<i>Hypocenomyce scalaris</i> (Liljebblad) M. Choisy	.	.	1	.
<i>Hypogymnia bitteri</i> (Lyngé) Ahti	.	.	1	1
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	.	.	6	7
<i>Hypogymnia tubulosa</i> (Schaerer) Havaas	.	.	2	7
<i>Lecanora pulicaris</i> (Pers.) Ach.	.	.	6	7
<i>Lecanora varia</i> (Hoffm.) Ach.	.	.	4	3
<i>Lepraria</i> sp.	.	.	6	7
<i>Parmelia exasperatula</i> Nyl.	.	.	4	5
<i>Imshaugia aleurites</i> (Ach.) S.F. Meyer	.	.	2	6
<i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf	.	.	6	7
<i>Usnea</i> sp.	.	.	3	7
<i>Buellia</i> sp.	.	.	.	2
<i>Caloplaca hungarica</i> Magnusson	.	.	.	4
<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.	.	.	.	4
<i>Lecanora symmicta</i> (Ach.) Ach.	.	.	.	6
<i>Parmelia acetabulum</i> (Necker) Duby	.	.	.	2
<i>Parmelia caperata</i> (L.) Ach.	.	.	.	4
<i>Parmelia subaurifera</i> Nyl.	.	.	.	2
<i>Parmelia sulcata</i> Taylor	.	.	.	4
<i>Ramalina farinacea</i> (L.) Ach.	.	.	.	2
<i>Trapeliopsis granulosa</i> (Hoffm.) Lumsch	.	.	.	1

fossin homogènies en tot el transecte estudiat, ja que els canvis en la flora que es poden produir com a conseqüència de la variació altitudinal es poden considerar, a la pràctica, irrelevants.

En la taula 2 presentem els resultats de forma comparativa per a cada estació; en la primera columna donem el nombre total de tàxons líquènics identificats per a cada estació i

en la segona columna el valor de la mitjana de tàxons per arbre en cada estació.

### Discussió sobre el cas de la vall de Fumanya

Les emissions de la central de Cercs, principalment diòxid de sofre (Martínez

TAULA 2. Estacions estudiades a la vall de Fumanya. Per a cada estació s'indica el nombre total de tàxons líquènics identificats i la mitjana de tàxons per arbre.

Stations studied in the *vall de Fumanya*. For each station the total number of lichens and the mean number of lichen species per tree are given.

Estació	nombre de tàxons	tàxons per arbre
E1	0	0
E2	2	0,4
E3	11	5,8
E4	21	12,7

Millán, 1988), tenen una forta repercussió en la flora líquènica i en altres elements de la vegetació (Martínez Millán, *op. cit.*), alterant l'estructura de la comunitat, en diferent grau, segons la distància al focus emissor. Per exemple al Portet (situat a 5,75 km en direcció NNO respecte de la tèrmica), es va detectar la presència d'*Hypocenomyce caradocensis* (Nyl.) James & Schneider, una espècie líquènica coneguda del centre i nord d'Europa com a resistent a la contaminació atmosfèrica, de la qual no es coneixia la presència a la península Ibèrica (Gómez-Bolea, 1986).

L'escorça del foròfit triat (*Pinus sylvestris*) és molt àcida (Barkman, 1958), i per tant amb poca capacitat de tamponatge, en comparació amb la d'altres arbres, com els roures o els freixes, que tenen una escorça més bàsica. Per aquesta raó la diversitat líquènica que hem trobat en cada estació és més baixa que la d'altres foròfits, com ara els roures.

El breu espai en què es recupera la diversitat líquènica (5,5 km) ens fa pensar que una part dels contaminants queden més o menys retinguts en aquesta vall. Aquest fenomen de retenció de contaminants el podríem explicar per la combinació d'un fort

gradient altitudinal amb un nivell de persistència de les boires. Per tant, el factor més important per a explicar la desaparició/disminució dels líquens no seria la pluja àcida, sinó que es tractaria de la deposició humida feta a partir de les «boires acidificades» i que actuaria negativament sobre l'escorça dels arbres i els tal·lus líquènics. Aquesta possible explicació s'hauria de confirmar amb dades microclimàtiques i d'immisió de contaminants a la vall.

La direcció del vent és molt important a l'hora d'explicar la dispersió dels contaminants, per tant caldria veure els resultats de transectes realitzats en les diferents orientacions en l'espai, a l'entorn de la central tèrmica. Malgrat que serien necessàries moltes més dades per a obtenir una bona estimació de la qualitat atmosfèrica a l'entorn de la central tèrmica de Cercs, sembla evident l'important paper que els líquens juguen com a bioindicadors.

### Agraïments

A tots els companys del curs de doctorat «Líquens i contaminació atmosfèrica» del curs 1991-92 i especialment al Dr. J. Garcia

Serrano i F. J. Tobías Jiménez pel seu interès i ajut en les sortides de camp i el laboratori.

## Bibliografia

- BARKMAN, J. J. 1958. *Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes*. Van Gorcum. Assen.
- BRODO I. M. 1961. Transplant experiments with corticolous lichens using a new technique. *Ecology*, 42: 838-841.
- Calidad del aire en España. 1991. Secretaría General Técnica. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente (MOPTMA).
- La contaminació atmosfèrica. 1991. Generalitat de Catalunya. Dept. de Política Territorial i Obres Públiques. Direcció General de Medi Ambient.
- DERUELLE, S. & LALLEMANT, R. 1983. *Les lichens témoins de la pollution*. Vuibert. Paris.
- ETAYO, J. & GÓMEZ-BOLEA, A. 1992. Estabilidad ecológica por medio de bioindicadores líquénicos en robledales de los Pirineos atlánticos. *Fol. Bot. Misc.*, 8: 61-75.
- GIRALT, M. 1996. Líquens epífits i contaminació atmosfèrica a la plana i les serralades litorals tarragonines. *IEC, Arx. Sec. Ciències*, 103: 1-525.
- GLENN, M. G.; GÓMEZ-BOLEA, A. & LOBELLO, R. 1995. Metal content and community structure of cryptogam bioindicators in relation to vehicular traffic in Montseny Biosphere Reserve (Catalonia, Spain). *Lichenologist*, 27: 291-304.
- GÓMEZ-BOLEA, A. 1984. Líquenes epífits de *Abies alba*, *Pinus sylvestris* y *P. uncinata*, en la collada de Toses (Girona). *Anales de Biología*, 1 (Sección Especial, 1): 233-235.
- GÓMEZ-BOLEA, A. 1986. *Hypocomyce caradocensis* (Leighton ex Nyl.) P. James & G. Schneider, primera cita para la península Ibérica. *Fol. Bot. Misc.*, 5: 147.
- GONZÁLEZ, M.; GRAU, R. & MONTERDE, R. 1985. *Guia tècnica per a la vigilància de la pol·lució atmosfèrica*. Generalitat de Catalunya. Dept. de Sanitat i Seguretat Social. Direcció General Promoció de la Salut.
- HAWKSWORTH, D. L. & ROSE, F. 1970. Quantitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*, 227: 145-148.
- HENDERSON, A. 1996. Literature on air pollution and lichens XLIV. *Lichenologist*, 28: 603-612.
- LEBLANC, F. & DE SLOOVER, J. 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Can. J. Bot.*, 48: 1485-1496.
- LETROUIT-GALINOU, M. A.; SEAWARD, M. R. D. & DERUELLE, S. 1992. A propos du retour des lichens épiphytes dans le Jardin du Luxembourg (Paris). *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 139, Lettres bot. (2): 115-126.
- MARTÍNEZ MILLÁN, F. J. 1988. Efectos de la contaminación atmosférica en la variación de crecimiento de las masas forestales. In: *Jornadas sobre contaminación atmosférica y lluvias ácidas* (M. González del Tánago Ed.) Univ. Pol. Madrid. ETS Ingenieros de Montes. Madrid.
- NASH III, T. H. & SOMMERFELD, M. R. 1981. Elemental concentration in lichens in the area of the Four Corners Power Plant, New Mexico. *Environ. Exp. Bot.*, 21: 153-162.
- NIEBOER, E.; AHMED, H. M.; PUCKETT, K. J. & RICHARDSON, D.H.S. 1972. Heavy metal content of lichens in relation to distance from a nickel smelter in Sudbury, Ontario. *Lichenologist*, 5: 292-304.
- NIMIS, P. L.; LAZZARIN, A. & G.; GASPARO, D. 1991. Lichens as bioindicators of air pollution by SO<sub>2</sub> in the Veneto Region (NE Italy). *Studia Geobotanica*, 11: 3-76.
- NIMIS, P. L.; CICCARELLI, A.; LAZZARIN, G.; BARGAGLI, R.; BENEDET, A.; CASTELLO, M.; GASPARO, D.; LAUSI, D.; OLIVIERI, S. & TRETACH, M. 1992. *I lichen come bioindicatori di inquinamento atmosferico nell'area di Schio - Thiene - Breganze*. Secretaria per il territorio. Dipartimento ecologia e tutela dell'ambiente. Ecothema S.R.L. Trieste.
- PUCKETT, K. J. 1988. Bryophytes and lichens as monitors of metal deposition. In: *Lichens, Bryophytes and Air Quality* (T. H. Nash & V. Wirth. Ed.) *Bibliotheca Lichenologica*, 30. Berlin, p. 231-267.
- ROSE, F. 1976. Lichenological indicators of age and environmental continuity in woodlands. In: *Lichenology: Progress and problems* (D. H. Brown; D. L. Hawksworth & R. H. Bailey, Ed.) Academic Press. New York, p. 279-307.