



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultat de Ciències

Memòria del Treball de Fi de Grau

Líquens epífits com a bioindicadors de contaminació.

Mar Gil Monterde

Grau de Biologia

Any acadèmic 2017-18

DNI de l'alumne: 43467722E

Treball tutelat per Maurici Mus Amézquita
Departament de Botànica

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	X		X	

Paraules clau del treball:

Líquens, bioindicadors, contaminació atmosfèrica, Mallorca, IPA, paràmetres ecològics

ÍNDEX

RESUM	4
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓ	5
MATERIAL I MÈTODES	8
Àrea d'estudi	8
Mostreig i obtenció d'exemplars	10
Identificació dels individus	11
Anàlisi de dades	12
Càlcul de paràmetres ecològics	12
RESULTATS	15
Comparativa de localitats	16
Flora líquènica	18
Grau de contaminació a L1, L2 i L3 en base als líquens com a bioindicadors	21
DISCUSSIÓ	24
Comparativa de localitats en relació a la flora líquènica	24
Grau de contaminació a L1, L2 i L3 en base als líquens com a bioindicadors	27
CONCLUSIONS	29
REFERÈNCIES	30

RESUM

Els líquens, principalment els epífits, són considerats bons bioindicadors de la contaminació atmosfèrica. Quan és descriuen els efectes produïts pels diferents contaminants sobre aquests organismes s'està definint la contaminació atmosfèrica, per aquest fet s'ha estudiat la flora líquènica de tres localitats: Castell de Bellver (L1), Universitat de les Illes Balears (UIB) (L2) i afores de Valldemossa (L3), assumint la capacitat d'aquests individus com a bioindicadors. Els líquens tinguts en compte han estat els epífits de *Quercus ilex* L. i de *Ceratonia siliqua* L.. S'han determinat 20 espècies, les quals s'han caracteritzat i classificat en classes de sensibilitat gràcies al càlcul de la Freqüència (F), Riquesa florística (D), Recobriment mitjà (Rm), Presència (P) i Presència mitjana (Pm) d'aquestes. Amb la descripció i classificació líquènica, juntament amb el càlcul de la Riquesa d'espècies (S), l'Índex de Diversitat de Shannon (H'), l'Equitabilitat (J) i l'Índex de Puresa Atmosfèrica (IPA) de les localitats, s'ha establert el grau de contaminació present en aquestes àrees. Els resultats obtinguts han permès identificar la UIB com la zona més contaminada degut als seus baixos valors de H', J, S i IPA, a diferència de Valldemossa que presenta els valors més elevats dels paràmetres mencionats, definint-la així com la menys contaminada.

ABSTRACT

Lichens are considered good bioindicators of air pollution. When the effects produced by different pollutants on these organisms are described, atmospheric contamination is being described. For this reason, the lichenic flora of three zones was studied: Castell de Bellver (L1), Universitat de les Illes Balears (UIB) (L2) and Valldemossa (L3), assuming the capacity of these organisms as bioindicators. The lichens that were used in this study are the epiphytic species of *Quercus ilex* L. and *Ceratonia siliqua* L.. 20 lichenic species have been determined. They have been characterized and classified in sensitivity classes thanks to calculation of the frequency (F), floristic richness (D), average coating (Rm), Presence (P) and average Presence (Pm). The description and classification of lichenic flora, with the calculation of species richness (S), Shannon Diversity Index (H'), Equity (J) and the Index of Atmospheric Purity (IPA) of the localities have established the degree of pollution present in these areas. The results obtained have allowed to identify the UIB as the most polluted area

due to its low values of H', J, S and IPA, unlike Valldemossa which presents the highest values of the mentioned parameters, defining it as the least polluted area.

INTRODUCCIÓ

Els líquens no són organismes individuals (Hawksworth et al., 2005), sinó que són individus que presenten una naturalesa doble, ja que estan constituïts per dues entitats diferents que viuen en associació (Purvis, 2000 ; Wirth et al., 2004). Aquesta associació rep el nom de relació simbiòtica, i està formada per un fong heteròtrof (micosimbiont o micobiont) i per un organisme fotosintètic (ficobiont), un alga o una cianobacteri (Purvis, 2000 ; Izquierdo, 2015). Com a resultat de la simbiosi entre aquests dos individus s'origina un cos vegetatiu estable, el denominat tal·lus, amb una estructura, fisiologia i ecologia particular, diferent a la que presenten els fongs, algues i cianobacteris de vida lliure (Nash, 2008 ; Izquierdo, 2015). El ficobiont, pel fet de ser autòtrof, realitza el procés fotosintètic pel qual capta energia solar i CO₂ per produir sucres i altres composts bàsics per a la seva supervivència i la del fong, que a canvi aquest li ofereix a l'alga o cianobacteri protecció, aigua i substàncies que ell mateix genera i que els beneficien als dos (Purvis, 2000).

Generalment, en aquesta simbiosi, els teixits del fong envolten l'alga, de forma que la relació entre aquests dos individus determina diferents tipus de creixement o biotips (Hawksworth et al., 2005). Típicament s'estableixen tres biotips: crustacis (Imatge 1), foliosos (Imatge 2) i fruticulosos (Imatge 3), encara que la diversitat d'aquests éssers és indescriptible i dins d'aquests models de creixement apareixen gran quantitat de variants, com els líquens composts, gelatinosos, pulverulents, entre d'altres (Galatayud et al., 2000 ; Wirth et al., 2004).



Imatge 1. Líquens crustacis.

Font pròpia.



Imatge 2. Líquen foliós.

Font pròpia.



Imatge 3. Líquen fruticulós.

Font pròpia.

Els líquens es troben en gran quantitat d'hàbitats, són organismes que presenten una elevada resistència a múltiples fenòmens meteorològics, pel que han estat capaços d'establir-se fins i tot en zones on és difícil que altres individus ho facin. Però cal destacar la presència d'un factor, principalment antropogènic, que afecta greument a aquests individus: la contaminació atmosfèrica. La contaminació atmosfèrica segons Giralt (1996) és qualsevol condició atmosfèrica en la qual certes substàncies assoleixen concentracions prou elevades sobre el seu nivell ambiental normal com per produir un efecte perjudicial sobre els homes, animals i la vegetació, entre d'altres. La sensibilitat que presenten els líquens davant els contaminants atmosfèrics es deu a la seva estructura: l'absència d'arrels condueix a que aquests organismes s'alimentin de fonts aèries, i el fet de que no presentin cutícula protectora, ni estructures per regular l'entrada de gasos com els estomes, i tampoc lignina i cel·lulosa en la paret cel·lular, dona lloc a la seva completa exposició a contaminants, provocant l'acumulació d'aquests en els seus teixits (Hale, 1983 ; Nimis et al., 1991). Aquests gasos afecten sobretot al ficobiont, la qual cosa condueix a la disminució de la taxa fotosintètica d'aquest, minvant així la producció de substàncies i la posterior transferència al micobiont, debilitant així la interacció entre els dos organismes (Purvis, 2000). Els gasos nocius existents a l'atmosfera provoquen el descens poblacional dels líquens, donant lloc a zones on són incapaços d'establir-se: "deserts líquènics" (Izquierdo, 2015). Cal destacar que, el principal perill per aquests organismes és el diòxid de sofre (SO₂), derivat de la combustió de petroli o carbó. La presència d'aquest gas suposa l'acidificació del tal·lus líquènic i la formació de radicals lliures, substàncies derivades de l'oxigen que perjudiquen les cèl·lules d'aquests individus (Purvis, 2000). També, cal mencionar, que no totes les espècies es veuen afectades pels mateixos gasos ni amb la mateixa intensitat (Nash, 2008), ja que alguns d'aquests individus presenten adaptacions per evitar aquest obstacle, com la presència de parietina, un pigment antioxidant present en algunes espècies com *Xanthoria parietina* (Giralt, 1996).

Quan es descriuen els efectes induïts pels diferents contaminants sobre els líquens, s'està definint la qualitat atmosfèrica. De tal manera que, aquests individus són considerats com a bioindicadors de la contaminació atmosfèrica (Ariño et al., 1997). Un organisme bioindicador es defineix, en sentit ampli, com aquell que les seves funcions vitals es relacionen amb efectes mediambientals, tant naturals com antropogènics, de tal manera que poden ser utilitzats per indicar la presència d'algun d'aquests factors. Són organismes que manifesten símptomes particulars en resposta a canvis mediambientals de manera quantitativa (Hawksworth, 1992 ; Tonnejik & Posthumus, 1987). I, en sentit més restringit, són organismes la presència dels quals mostra l'existència de contaminants antropogènics

(Hawksworth, 1999 ; Herzig & Urech, 1991 ; Steubing & Jager, 1982). Llavors, és possible conèixer quins gasos estan presents en una zona determinada, amb quina intensitat actuen i quin perill potencial suposen mitjançant l'estudi de les espècies de líquens presents i la seva freqüència (Cislaghi & Nimis, 1997).

Els líquens, principalment els epífits, són bons indicadors de la qualitat atmosfèrica (Letrouit-Galinou et al., 1992). Un dels avantatges que presenten és que actuen com a indicadors de la qualitat ambiental global, no poden aïllar l'efecte d'un contaminant d'un altre, i tampoc són capaços d'aïllar els factors ambientals, com la llum, humitat, temperatura, entre d'altres (Nimis et al., 1991). L'amplitud ecològica de les espècies és molt estricta i està ben definida, per tant, canvis en la flora líquènica es poden relacionar en les condicions del medi (Ariño et al., 1997). Altres característiques que proporcionen a aquests organismes la capacitat de ser bons bioindicadors de contaminació és el fet de ser organismes perennes, la qual cosa permet el seu mostreig durant tot l'any (Hawksworth et al., 2005). A més de la seva gran longevitat, el que fa que es trobin exposats als efectes nocius durant llargs períodes de temps, pel que proporcionen una imatge d'estats crònics i no de variacions puntuals en l'ambient (Déurelle & Lallemand, 1983). I tot això, juntament amb altres característiques ja mencionades com: la manca de mecanismes d'absorció activa del substrat, la falta d'estructures especialitzades en l'intercanvi de gasos, la diferent tolerància de les espècies als diferents contaminants, entre d'altres, és el que determina l'eficàcia dels líquens com a bioindicadors.

La contaminació de l'aire és un problema de gran importància a nivell mundial. Al llarg de la història els éssers vius s'han enfrontat a condicions ambientals pobres, però no va ser fins a finals del segle XIX quan es va fer evident el que actualment es consideren problemes ambientals, degut a l'aparició de la Revolució Industrial (Dunlap & Jorgenson, 2012). L'ambient es va començar a degradar i la qualitat de l'aire va començar a decaure, i amb això s'observà que a les grans ciutats en les que la contaminació anava creixent, la població líquènica disminuïa (Calvo & Sanz, 2000 ; Hawksworth et al., 2005). En el segle XIX es varen reconèixer els líquens com a bioindicadors (Nylander, 1866), però fins el 1960 no hi hagué un creixement exponencial dels estudis que utilitzaven aquests organismes com a bioindicadors. L'increment de publicacions dins d'aquest àmbit tingué lloc degut a la identificació del diòxid de sofre (SO₂) com el principal factor que influencia negativament el creixement i distribució dels líquens (Hawksworth et al., 2005). En els anys 70 es proposaren diferents mètodes per a l'estudi de la variació en la diversitat de líquens en les àrees contaminades, com l'Índex de Puresa Atmosfèrica (IPA), un índex quantitatiu que sorgeix a partir de Leblanc & De Sloover (1968 i 1970). Un altre treball que cal destacar d'aquesta

dècada és el de Hawksworth & Rose (1970), el que presenta un llistat de líquens epífits en el qual es relaciona la presència o absència d'aquests, en un territori donat, amb la concentració de SO₂ en l'aire (Calatayud & Sanz, 2000 ; Calvo & Sanz, 2000). El primer estudi realitzat a la Península Ibèrica sobre els líquens i la contaminació atmosfèrica fou el de Crespo et al. (1977) (Carballal & García, 1991 ; Calatayud & Sanz et al., 2000) , en el qual es varen cartografiar àrees d'isocontaminació a Madrid mitjançant anàlisis quantitativs. I a Mallorca, es realitzà un estudi sobre la flora líquènica duent a terme un catàleg florístic de les espècies presents a la Serra de Tramuntana, per així avaluar a través d'aquest l'ús de líquens com a bioindicadors de contaminació a l'illa a llarg plaç (Amo et al., 2010).

Un repte que es planteja avui dia i que ens ha estimulat a l'hora de plantejar el treball que es presenta és l'estudi líquènic associat a contaminació a l'illa a zones on el clima mediterrani i l'absència de bosc esponerós i humit poden suposar una limitació metodològica important.

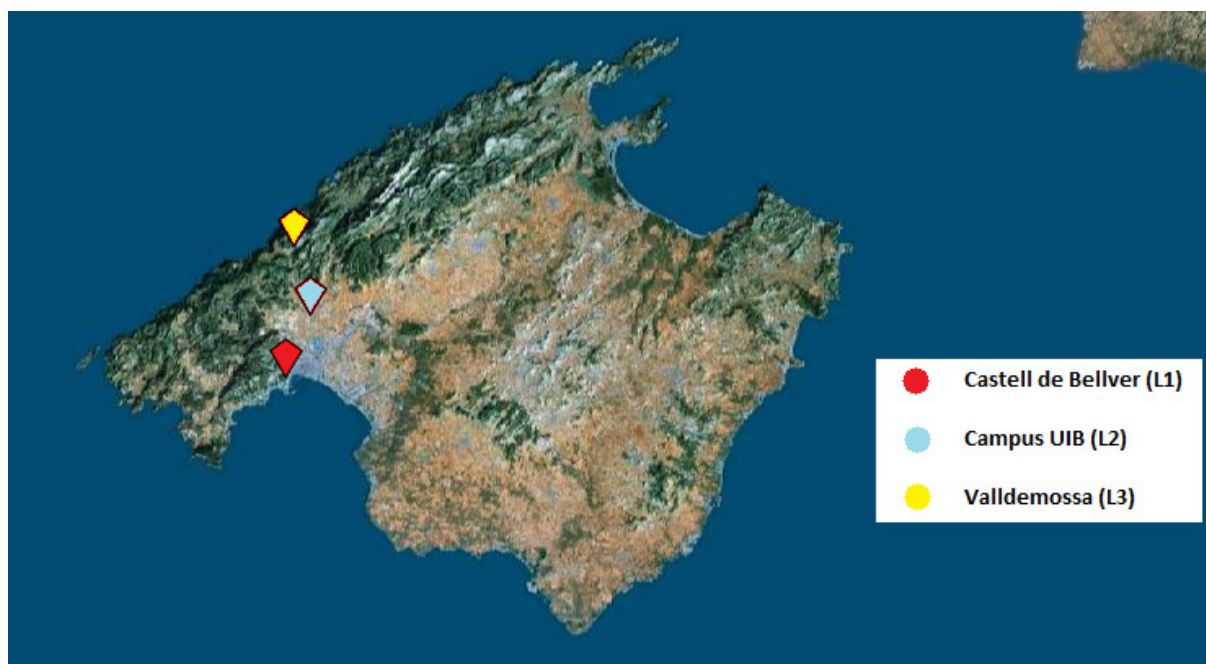
El present estudi té com a objectiu comprovar la utilitat dels líquens com a bioindicadors en unes zones de l'illa de Mallorca on la flora líquènica no és precisament esponerosa i és especialment pobre en macrolíquens. Aquest objectiu es resoldrà de la següent forma:

1. Estudi de la flora líquènica en 3 àrees distintes i 2 espècies de foròfits diferents: *Quercus ilex* L. i *Ceratonia siliqua* L.
2. Registre de la freqüència en que apareixen les espècies trobades en les 3 zones.
3. Càlcul de paràmetres ecològics a partir del registre de freqüències: Índex de Puresa Atmosfèrica (IPA), Índex de diversitat de Shannon (H'), Riquesa florística (D), entre d'altres.
4. Comparació de les localitats en relació a la contaminació present en base a la funció dels líquens com a bioindicadors.

MATERIAL I MÈTODES

Àrea d'estudi

En l'elaboració d'aquest treball s'han tingut en compte 3 àrees d'estudi, les quals es troben situades a l'illa de Mallorca. Aquestes zones són: el parc del Castell de Bellver (Localitat 1, L1), el campus de la Universitat de les Illes Balears (UIB) (Localitat 2, L2) i proximitats de Valldemossa (Localitat 3, L3) (Imatge 4).



Imatge 4. Mapa de l'illa de Mallorca, amb les diferents àrees d'estudi marcades amb distints colors. Castell de Bellver, Palma (L1): vermell; Campus UIB (L2): blau cel; i Valldemossa (L3): groc.

Tant el parc del Castell de Bellver com el campus de la UIB pertanyen al terme municipal de Palma. Aquest municipi es troba situat al sud-oest de l'illa, presentant un clima tipus mediterrani occidental, semiàrid, mesotèrmic, sense excés hídric i estius secs (Fiol, 1995). Encara que aquestes dues àrees es localitzen al mateix municipi, presenten característiques diferents.

El parc del castell és una àrea suburbana, s'ubica a la perifèria de la ciutat de Palma. Aquest recinte el trobem en un turó d'uns 100 metres d'altura sobre el nivell del mar, i representa la única àrea del nucli urbà amb presència de bosc. Aquestes característiques permeten que l'àrea, en certa manera, es trobi més o menys aïllada dels gasos contaminants que es produeixen a l'àrea urbana. La zona seleccionada pel mostreig és la zona baixa més propera a les cases del nucli urbà, un àrea poc exposada i, per tant, un dels indrets més clarament influenciat per la circulació de vianants i cotxes.

El campus de la UIB, està situat a les afores de la ciutat, envoltat de medi rural. Aquesta zona és d'especial interès per a l'estudi, degut als hàbits de transport de la comunitat universitària, ja que el 66,5 % dels membres accedeix al campus mitjançant cotxe propi (Seguí et al., 2013). La situació oberta i el trànsit limitat dificulta la concentració de gasos contaminants, però el nombre de vehicles que rodegen als arbres seleccionats és alt.

I en darrer lloc, els voltants de Valldemossa, localitat situada a la part occidental de Mallorca. Així com el municipi de Palma, aquesta zona presenta el clima típic Mediterrani diferenciant-se en la presència de majors pics de temperatura tant a l'hivern com a l'estiu. Aquest municipi pertany al Paratge Natural de la Serra de Tramuntana, que va ser declarat com a Patrimoni de la Humanitat per la UNESCO el mes de juny de l'any 2011 (Lladó, 2014). Cal destacar que l'àrea en la que es realitza l'estudi es troba allunyada del nucli urbà i a més, es troba a una zona forestal que envolta una explotació agrícola de secà en la que no hi ha pràcticament circulació de cotxes ni cases, així no rep influències directes de la contaminació que es genera en el nuclis urbans i carreteres.

Mostreig i obtenció d'exemplars

Els mostreigs s'han realitzat sobre dos foròfits distints: alzines (*Quercus ilex* L.) i garrovers (*Ceratonia siliqua* L.), dues de les espècies més representatives de les tres estacions estudiades (Calvo et al., 2000).

S'han seleccionat 7 alzines i 7 garrovers per localitat, un total de 42 arbres. Per tal de facilitar l'estandardització de les zones mostrejades, els arbres escollits es situen pròxims uns dels altres (Giralt, 1997). A més, es descarten aquells foròfits amb troncs inclinats i un diàmetre inferior de 20 cm (Calvo & Sanz, 2000).

Per a dur a terme el mostreig s'ha emprat un marc metàl·lic que presenta 57 subdivisions (Imatge 5). El marc presenta unes dimensions de 50 centímetres de llargada i 8 centímetres d'amplada. Aquest es col·loca a 1,50 metres sobre el sòl, per tant, la superfície d'escorça que cobreix es troba entre 1 i 1'50 metres (Imatge 6).



Imatge 5. Marc metàl·lic amb 57 subdivisions.
Font pròpia.



Imatge 6. Marc metàl·lic situat a 1'50 metres sobre el sòl. Font pròpia.

Un cop situat el marc sobre els arbres s'ha procedit a fotografiar les 57 subdivisions que aquest conté. Aquest procediment es repetí pels 42 arbres presents a l'estudi, i a més es realitzà en 4 cares del tronc del foròfit, per tal de donar una imatge el més completa possible del tronc, una imatge no esbiaixada per una exposició determinada. Les fotografies realitzades serveixen per a dur a terme el recompte del nombre de subdivisions que ocupa una espècie de líquen en concret en el marc (Calvo & Sanz, 2000).

En quant a la recol·lecció de mostres, aquesta es realitza mitjançant un bisturí. I, cal destacar que, les espècies de líquens que s'han tingut en compte en el treball són aquelles observables a simple vista o a través d'una lupa de camp (Kinnunen et al., 2003).

Identificació dels individus

Per al reconeixement de les espècies de líquens s'han tingut en compte les seves característiques morfològiques, tant macroscòpiques com microscòpiques (Giralt, 1996), de tal manera que ha sigut necessari l'ús d'una lupa i d'un microscopi binocular, a més de les següents claus d'identificació: "Les lichens: étude biologique et flore illustrée" de Ozenda & Clauzade (1970); "Likenoj de Okcidenta Europo: ilustrita determinlibro" de Clauzade & Roux (1985); "Guía de líquenes epífitos" de Calatayud & Sanz (2000); i "Guía de campo de lo líquenes, musgos y hepáticas" de Wirth et al. (2004). Per a determinar les mostres també ha estat de gran utilitat realitzar tests químics, per als quals s'han utilitzat dos reactius: hidròxid potàssic i hipoclorit sòdic (Calatayud & Sanz, 2000). La preparació de la solució aquosa

d'hidròxid potàssic s'ha realitzat al 10% de concentració (Wirth et al., 2004), i per a les reaccions mitjançant solució aquosa d'hipoclorit sòdic s'ha emprat lleixiu comercial (Giralt, 1996). L'ús d'aquests reactius sobre les distintes estructures dels líquens té com a finalitat un possible canvi de coloració en l'estructura a la qual s'ha aplicat. Això és degut a la relació simbiòtica entre l'alga i el fong, ja que promou per part del fong la producció de gran quantitat de substàncies químiques derivades del seu metabolisme secundari, que quan s'ajunten amb aquests reactius, entre d'altres, poden provocar distints canvis de coloració segons l'estructura i l'espècie de líquen a la que s'apliquin (Calatayud & Sanz, 2000), permetent així la classificació d'aquests organismes.

Anàlisi de dades

L'anàlisi de dades s'ha obtingut mitjançant el software R. A través d'aquest s'han calculat els supòsits de normalitat i homogeneïtat de les dades, les que han resultat ser no paramètriques (p -valor $< 0,05$).

Per a comprovar si existeixen diferències entre les distintes àrees d'estudi s'ha utilitzat el test estadístic no paramètric Wilcoxon-Mann-Whitney, el qual proporciona la comparació entre dues mitjanes, i per això s'han realitzat 3 comparacions: Localitat 1 (L1) - Localitat 2 (L2), Localitat 1 (L1) - Localitat 3 (L3) i Localitat 2 (L2) - Localitat 3 (L3).

Per a observar si la presència de cada espècie de líquen varia entre localitats s'ha usat el test no paramètric de Kruskal-Wallis, que permet la comparació entre més de dues mitjanes. Aquest test s'ha realitzat per a alzines i garrovers per separat, i té en compte un factor, que en aquest cas és la localitat, que presenta 3 nivells: Castell de Bellver, UIB i Valldemossa, i dins de cada nivell hi trobem 7 rèpliques, 7 alzines i 7 garrovers. I finalment, si com a resultat d'aquest test s'observa la presència de diferències significatives (p -valor $< 0,05$), es procedeix a realitzar el test no paramètric de Dunn. La finalitat d'aquest test és trobar on són les diferències.

Càlcul de paràmetres ecològics

Per escollir el paràmetres ecològics utilitzats s'ha tingut en compte: Giralt(1997), Calvo & Sanz(2000), Nimis et al. (1990) i Santoni & Lijteroff(2006). Els paràmetres escollits han estat Recobriment, Recobriment mitjà, Presència total, Presència mitjana, Riquesa d'espècies,

Riquesa florística, Índex de Puresa Atmosfèrica, Índex de Diversitat de Shannon i Equitabilitat.

Segons Nimis(1990) i Calvo & Sanz(2000):

Freqüència (F):

La freqüència és el nombre de subdivisions de la graella que ocupa l'espècie (s) de líquen en l'arbre (A).

Índex de Puresa Atmosfèrica (IPA):

L'Índex de Puresa Atmosfèrica (IPA és un mètode quantitatiu proposat per Leblanc & De Sloover (1970) (Ariño et. al., 1997) que permet avaluar el nivell de contaminació atmosfèrica en una àrea determinada (Conti & Cecchetti, 2001) basant-se en la freqüència (F) dels líquens presents (Nimis et. al., 1990 ; Calvo & Sanz, 2000). S'ha calculat l'índex per a alzines i per a garrovers per separat.

Per a calcular l'IPA de cada estació (E) és necessària la freqüència (F). Primer, es calcula l'IPA de cada arbre mitjançant la suma de les freqüències de cada espècie de líquen en cada arbre.

$$\mathbf{IPA(A) = \sum F(A)}$$

I finalment, es duu a terme la mitjana de l'IPA dels 7 arbres presents a cada zona (nA), essent aquest valor l'IPA de l'estació (E).

$$\mathbf{IPA(E) = \sum IPA(A) / nA}$$

Segons Giralt(1997):

Recobriment (R):

El recobriment es calcula de l'espècie de líquen (s) en l'arbre (A).

$$\mathbf{R(A) \text{ en } \% = (F \cdot 100) / nG \cdot 4}$$

nG · 4 = subdivisions de la graella (57) multiplicat per les 4 cares mostrejades del tronc de l'arbre

Recobriment mitjà (Rm):

El recobriment mitjà resulta ser la mitjana dels recobriments (R) dels arbres presents a cada zona (nA).

$$\mathbf{Rm(E) \text{ en } \% = \sum R(A) / nA}$$

Presència (P):

La presència són el nombre d'arbres d'una estació (nA) que presenten una espècie de líquen en concret.

Presència mitjana (Pm):

La presència mitjana és el quocient de la Presència i el nombre d'arbres que presenta l'estació (nA).

$$\mathbf{Pm(E) = P / nA}$$

Riquesa d'espècies (S):

La Riquesa d'espècies (S) representa el nombre d'espècies que hi ha en una estació determinada.

Riquesa florística (D):

La Riquesa florística (D) és el quocient entre la Riquesa d'espècies (S) de l'estació (E) i la Riquesa d'espècies (S) de l'estació més rica (E més rica). Aquest paràmetre ecològic es calcula per a alzines i garrovers per separat.

$$\mathbf{D(E) = S(E) / S(E \text{ més rica})}$$

Segons Santoni & Lijteroff(2006):

Índex de Diversitat de Shannon (H'):

L'Índex de Diversitat de Shannon (H') considera la riquesa específica tenint en compte les abundàncies relatives (Pi). Un valor normal de H' és entre 2 i 3. Els valor inferiors a 2 representen baixa diversitat i valors inferiors a 3 mostren una elevada diversitat d'espècies. En aquest cas, l'índex es calcula a partir de garrovers i alzines com un conjunt.

$$H' = - \sum Pi \cdot \ln(Pi)$$

$$Pi = ni / nT$$

ni = nombre de quadres de la graella que ocupa una espècie

nT = nombre total de quadres de la graella

Equitabilitat (J):

Aquest paràmetre és el quocient entre la diversitat i la diversitat màxima que es pot assolir amb la riquesa d'espècies (S) de la mostra. L'equitabilitat (J) màxima és 1 (Tramer, 1969). De la mateixa manera que a l'Índex de Diversitat de Shannon, aquest també es calcula per alzines i garrovers com un conjunt.

$$J = - \sum Pi \cdot \ln(Pi) / \ln(S) = H' / S$$

S = nombre d'espècies en l'àrea d'estudi

RESULTATS

Com ja s'ha mencionat en apartats anteriors, el mostreig es va realitzar a tres zones diferents: Castell de Bellver (L1), UIB (L2) i a les afores de Valldemossa (L3). El nombre total d'arbres mostrejat fou de 42: 21 alzines i 21 garrovers. Sobre aquests arbres s'han identificat 20 taxa líquènics diferents, 16 a nivell d'espècie i 4 a nivell de gènere. Dins d'aquests taxa líquènics, 16 presenten biotip crustaci, 2 de tal·lus foliós i 1 de fruticulós, i un d'ells és un gènere de fong liquenitzat.

Cada espècie de líquen es troba caracteritzada per uns paràmetres específics que els hi han estat assignats: Recobriment mitjà (Rm), Presència (P) i Presència mitjana (Pm) (Taula 5). I

cada localitat o estació ha estat caracteritzada per: la riquesa (S) (Taula 2 i Taula 4), l'Índex de diversitat de Shannon (H'), Equitabilitat (J) (Taula 2), l'Índex de Puresa Atmosfèrica (IPA) (Taula 3) i Riquesa florística (D) (Taula 4) (Giralt, 1997 ; Calvo & Sanz, 2000 ; Nimis et al., 1990 ; Santoni & Lijteroff, 2006. Cal destacar, que alguns d'aquests paràmetres s'han calculat diferenciant alzines de garrovers, això és degut a que les espècies de líquen mostren preferències de foròfits, per tant, la presència i freqüència d'aquestes poden variar de *Q. Ilex* L. a *C. Siliqua* L., alterant així els valors d'alguns dels paràmetres (Cáceres et al., 2007).

Comparativa de localitats

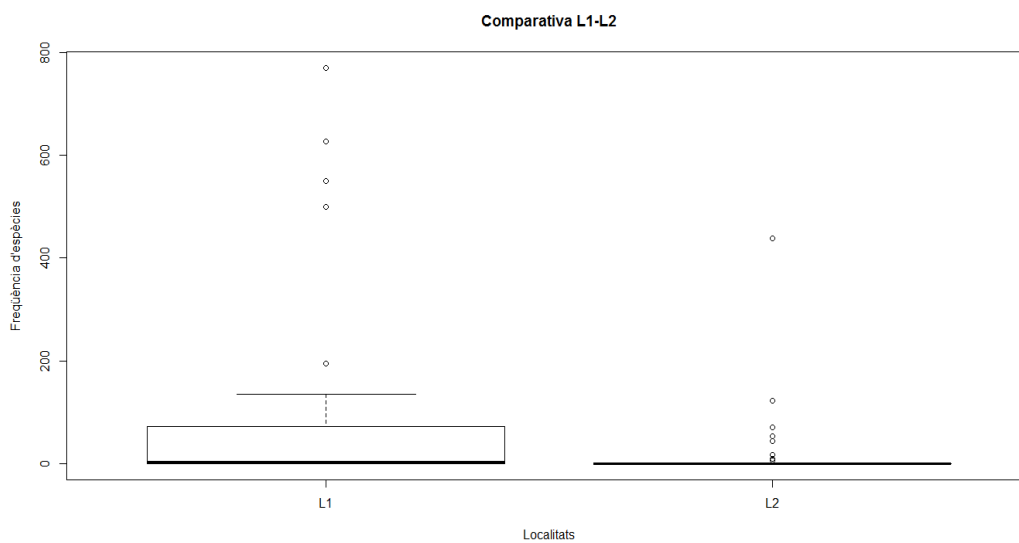


Figura 1. Comparativa de la freqüència d'espècies entre L1 i L2.

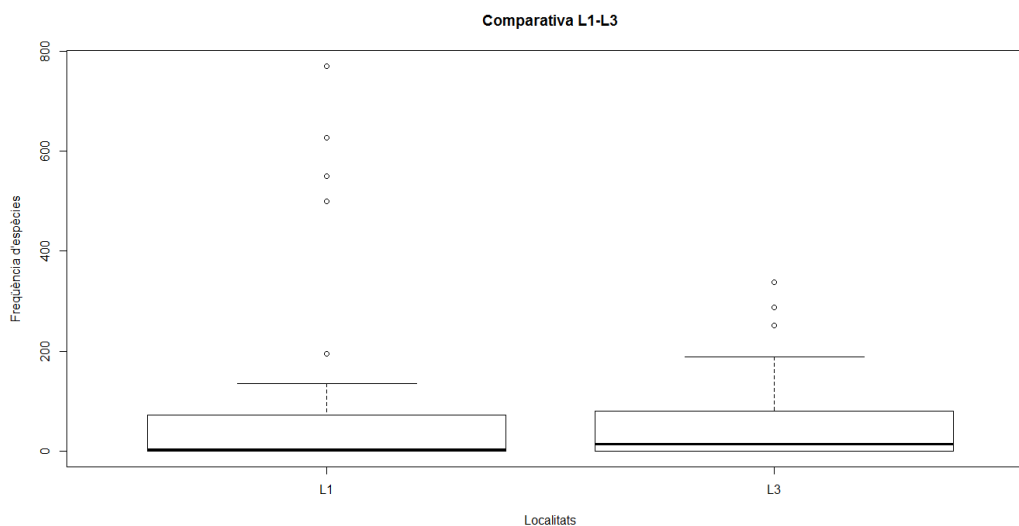


Figura 2. Comparativa de la freqüència d'espècies entre L1 i L3.

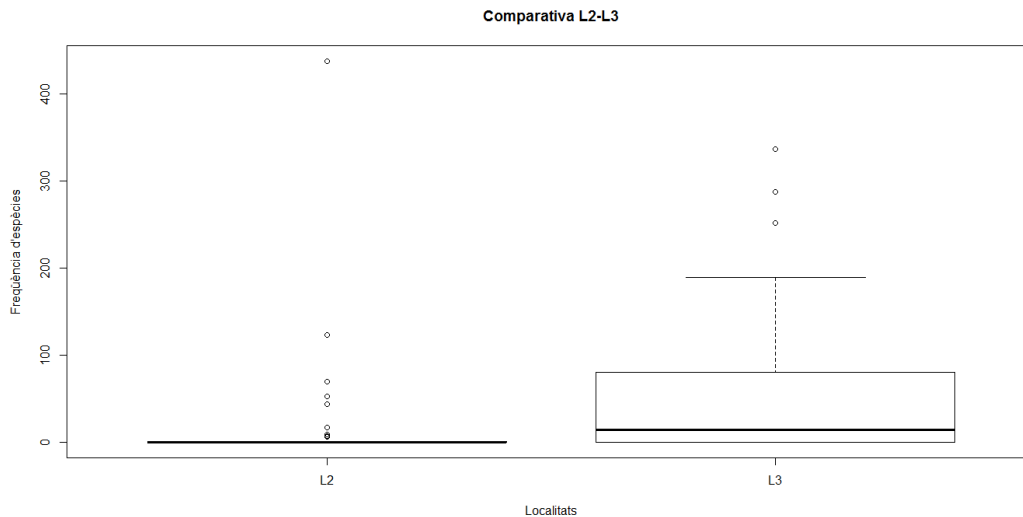


Figura 3. Comparativa de la freqüència d'espècies entre L2 i L3.

Taula 1. P-valors resultants de la comparativa de mitjanes entre L1-L2, L1-L3 i L2-L3. X* = resultat estadísticament significatiu (p-valor < 0,05).

	L1-L2	L1-L3	L2-L3
p-valor	0,003978*	0,6108	0,0004174*

Les freqüències de les 20 espècies estudiades s'han comparat entre elles per localitats. La localitat 2 és aquella en que les espècies de líquens presenten freqüències més baixes. La mediana d'aquestes freqüències en la localitat és 0, i els altres valors es concentren al voltant d'aquest nombre, no hi trobem pràcticament valors fora de la distribució central (Figura 1 i Figura 3). La localitat 1 i 3 presenten una distribució de dades més ampla, i amb una mediana dels valors de freqüència de les espècies superior a 0 (Figura 1 i Figura 3), el que fa que estadísticament la comparativa entre L1-L2 i L2-L3 resulti en la presència de diferències significatives (p-valor < 0,05) (Taula1). Si es comparen les localitats 1 i 3, s'observa que les freqüències que presenten les espècies són més elevades a L3 que a L1 (Figura 2), però estadísticament no es mostren diferències significatives entre aquestes dues zones (Taula 1), per tant les diferències no són tan evidents, però si que cal mencionar el fet de que s'aprecien un valors més elevats a la localitat 3.

Taula 2. Riquesa d'espècies (S), Índex de diversitat de Shannon (H') i Equitabilitat (J) de L1, L2 i L3.

	L1	L2	L3
S	13	9	15
H'	1,87	1,39	2,35
J	0,73	0,63	0,87

Com era d'esperar, la riquesa (S), l'Índex de Diversitat de Shannon (H') i l'Equitabilitat (J) prenen el seu valor màxim a la localitat 3, Valldemossa. Els valors més baixos venen donats per la localitat 2, UIB. H' en la localitat 3 presenta un valor normal de diversitat seguint Tramer (1969), entre 2 i 3. L1 mostra un valor d'H' quasi de 2, presentant així una diversitat normal tirant a baixa, i L2 amb un valor de 1,39 que representa baixa diversitat (Taula 2).

Flora líquènica

El catàleg de les 20 espècies determinades en l'estudi és el següent :

Arthonia albouleverea Nyl.; *Arthonia melanophthalma* Dufour; *Bacidia laurocerasi* (Delise ex Duby) Zahlbr.; *Bacidia* de Not. spp.; *Buellia punctata* (Hoffm.) Massal.; *Caloplaca cerina* (Hedwig) Th. Fr.; *Caloplaca phlogina* (Ach.) Flagey; *Dirina ceratoniae* (Ach.) Fr.; *Lecanora* Ach. spp. 1; *Lecanora* Ach. spp. 2; *Lecidella elaeochroma* (Ach.) Haszl.; *Opegrapha atra* Pers. var. 1; *Opegrapha atra* Pers. var. 2; *Opegrapha celtidicola* (Jatta) Jatta; *Opegrapha varia* Pers.; *Pertusaria leioplaca* DC.; *Physcia tenella* (Scop.) DC.; *Ramalina canariensis* J. Steiner; *Sphinctrina* Fr. spp.; *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr..

A les taules següents (Taula 3, Taula 4 i Taula 5) es relacionen el llistat de les 20 espècies que s'han tingut en compte a l'estudi, ordenades alfabèticament, traslladant-se a cada taula la sèrie de característiques observades o mesurades per a cada localitat.

Taula 3. Riquesa d'espècies (S) i Riquesa florística (D) de cada localitat (L1, L2 i L3), diferenciant alzines de garrovers. 0: absència de l'espècie de líquen en la localitat; 1: presència de l'espècie de líquen en la localitat.

	<i>Quercus ilex</i> L.			<i>Ceratonia siliqua</i> L.		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
<i>A.albopulverea</i>	0	0	0	1	0	0
<i>A.melanophthalma</i>	0	0	0	1	0	0
<i>B.laurocerasi</i>	0	0	1	0	0	1
<i>B.punctata</i>	0	0	1	0	1	1
<i>Bacidia</i> spp.	1	0	0	0	0	0
<i>C.cerina</i>	1	0	0	1	1	0
<i>C.phlogina</i>	0	0	1	0	1	1
<i>D.ceratoniae</i>	1	0	1	1	0	0
<i>L.elaeochroma</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Lecanora</i> spp. 1	1	0	1	1	1	1
<i>Lecanora</i> spp. 2	1	0	1	1	1	1
<i>O.atra</i> var. 1	0	0	0	0	1	1
<i>O.atra</i> var. 2	1	0	1	0	0	0
<i>O.celtidicola</i>	1	0	1	0	0	0
<i>O.varia</i>	0	0	1	0	0	0
<i>P.leioplaca</i>	0	0	1	0	0	1
<i>P.tenella</i>	1	0	1	1	1	1
<i>R. canariensis</i>	1	0	1	1	0	1
<i>Sphinctrina</i> spp.	0	0	1	0	0	0
<i>X.parietina</i>	1	1	0	1	1	1
S	11	1	14	10	9	11
D	0,79	0,07	1	0,91	0,82	1

La Taula 3 proporciona els valors de Riquesa d'espècies (S) i de Riquesa florística (D) de cada localitat diferenciant els foròfits. La localitat 3 presenta la Riquesa d'espècies (S) més elevada, seguida de la localitat 1 i finalment de l'S de la localitat 2. Aquest mateix patró és troba present tant en alzines com en garrovers, i també, s'ha vist en el resultat de la riquesa

d'espècies (S) per zona, sense diferenciar els foròfits. La Riquesa florística (D) presenta resultats que mostren el mateix patró que els resultats de S (Taula 2 i Taula 3).

Taula 4. Recobriment mitjà (Rm), Presència (P) i Presència mitjana (Pm) de cada espècie de líquen present a l'estudi a L1, L2 i L3.

	L1			L2			L3		
	Rm (%)	P	Pm	Rm (%)	P	Pm	Rm (%)	P	Pm
<i>A. albopulverea</i>	19,64	7	0,5	0	0	0	0	0	0
<i>A. melanophthalma</i>	15,66	7	0,5	0	0	0	0	0	0
<i>B. laurocerasi</i>	0	0	0	0	0	0	6,05	11	0,79
<i>B. punctata</i>	0	0	0	1,66	6	0,43	6,64	12	0,86
<i>Bacidia</i> spp.	3,73	1	0,07	0	0	0	0	0	0
<i>C. cerina</i>	0,97	4	0,29	0,53	5	0,36	0	0	0
<i>C. phlogina</i>	0	0	0	2,19	4	0,29	0,53	5	0,36
<i>D. ceratoniae</i>	41,35	14	1	0	0	0	1,16	5	0,36
<i>L. elaeochroma</i>	8,62	11	0,79	3,85	7	0,5	3,98	12	0,86
<i>Lecanora</i> spp. 1	3,85	8	0,57	13,72	7	0,5	1,82	10	0,71
<i>Lecanora</i> spp. 2	5,86	8	0,57	0,03	1	0,07	16,92	14	1
<i>O. atra</i> var. 1	0	0	0	1,38	6	0,43	13,75	14	1
<i>O. atra</i> var. 2	0,78	4	0,29	0	0	0	10,56	7	0,5
<i>O. celtidicola</i>	1,16	6	0,43	0	0	0	2,76	7	0,5
<i>O. varia</i>	0	0	0	0	0	0	1,85	6	0,43
<i>P. leioplaca</i>	0	0	0	0	0	0	3,92	10	0,71
<i>P. tenella</i>	4,39	8	0,57	0,19	4	0,29	4,29	10	0,7
<i>R. canariensis</i>	0,06	2	0,14	0	0	0	0,72	8	0,57
<i>Sphinctrina</i> spp.	0	0	0	0	0	0	2,26	6	0,43
<i>X. parietina</i>	1,10	6	0,43	0,5	5	0,36	0,56	4	0,29

Les espècies que presenten els Recobriments mitjans (Rm) més elevats en la localitat 1 són: *A. albopulverea*, *A. melanophthalma* i *Dirina ceratoniae*, aquesta darrera presenta el pic màxim d'aquesta localitat. A L2 l'espècie que destaca pel seu Rm és *Lecanora* spp. 1, i en la localitat 3 destaquem els següents taxa líquenics: *Lecanora* spp. 2, *O. atra* var. 1 (Taula 4).

Mitjançant l'anàlisi dels paràmetres Presència (P) i Presència mitjana (Pm), s'ha observat que en les tres localitats, les espècies que presenten un major Recobriment mitjà (Rm) també resulten ser les espècies amb una Presència (P) i Presència mitjana (Pm) més elevada. Cal mencionar que a L3, en general, les espècies obtenen majors valors de P i Pm (Taula 4).

L'espècie *Lecidella elaeochroma* presenta uns resultats destacables. Aquesta espècie no té uns valors de Rm elevats en cap de les 3 localitats, però resulta ser de les espècies amb una P i Pm més elevada de les tres estacions.

Grau de contaminació a L1, L2 i L3 en base als líquens com a bioindicadors

La Taula 3, a més de proporcionar valors de riquesa també, dóna informació sobre la presència (1) o absència (0) de les espècies en cada localitat i sobre quin foròfit es troben. La presència / absència de les espècies a les localitats, així com els paràmetres de Rm, P i Pm (Taula 4) que aquestes presenten a cada cas ha permès realitzar una classificació sobre la sensibilitat i tolerància de les espècies tal com fa Giralt (1996, 1997): Classe I (espècies presents en les 3 localitats), Classe II (aparèixen en 2 localitats) i Classe III (només aparèixen en una localitat).

La coincidència de caracterització d'una espècie en la classe corresponent aquí considerada amb una referència bibliogràfica es marca entre parèntesi.

Classe I (espècies tolerants a la contaminació): *Lecidella elaeochroma* (Davies et al., 2007), *Lecanora* spp. 1, *Lecanora* spp. 2 (Wirth et al., 2004), *Physcia tenella* (Sigal & Nash, 1983; Davies et al., 2007) i *Xanthoria parietina* (Silberstein et al., 1996). Aquestes espècies han estat determinades com a tolerants pel fet d'aparèixer a les 3 localitats amb un Rm i una P quasi constants en les 3 estacions (Taula 4).

Classe II (espècies que toleren un cert grau de contaminació): *Buellia punctata* (Wirth et al., 2004), *Caloplaca cerina*, *Caloplaca phlogina* (Barkman, 1969), *Dirina ceratoniae* (Wirth et al., 2004), *Opegrapha atra* var.1, *Opegrapha atra* var. 2, *Opegrapha celtidicola* (Barkman, 1969) i *Ramalina canariensis* (LijteRoff & & PRieRi, 2009). Dites espècies es classifiquen en aquesta classe de sensibilitat degut a que es troben presents en 2 localitats, i mantenen uns valors de Rm i P constants en les localitats, o valors més elevats en L3. *Dirina ceratoniae*,

dins d'aquest grup, és la que presenta una major tolerància el que es reflecteix en el seu valor de Rm a L1 (Taula 4).

Classe III (espècies sensibles a contaminants): *Arthonia albopulverea*, *Arthonia melanophthalma* (Giralt, 1997), *Bacidia laurocerasi*, *Bacidia* spp. (Wirth et al., 2004), *Opegrapha varia* (Barkman, 1969), *Pertusaria leioplaca* (Wirth et al., 2004) i *Sphinctrina* spp., les quals només es troben presents a una de les localitats, presentant valors intermitjos de Rm i P les que es troben presents a L3, i en cas de trobar-se a una altra localitat presenten valors més baixos d'aquests paràmetres. Cal destacar les espècies *A. albopulverea* i *A. melanophthalma*, que dins d'aquest grup són les que tenen una petita tolerància a contaminants (Giralt, 1997), el que es troba definit pel seu valor de Rm i P a L1.

Taula 5. P-valors resultants de la comparació entre les freqüències de cada espècie de líquen present a l'estudi entre localitats: L1-L2, L1-L3 i L2-L3. Els resultats de la comparativa es donen per alzines i garrovers per separat. X* = resultat estadísticament significatiu (p-valor < 0,05).

	<i>Quercus ilex</i> L.			<i>Ceratonia siliqua</i> L.		
	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1-L2	L1-L3	L2-L3
<i>A. albopulverea</i>	---	---	---	0.0001*	0.0001*	0.5000
<i>A. melanophthalma</i>	---	---	---	0.0001*	0.0001*	0.5000
<i>B. laurocerasi</i>	0.5000	0.0001*	0.0001*	0.5000	0.0042*	0.0042*
<i>B. punctata</i>	---	---	----	---	---	---
<i>Bacidia spp.</i>	0.5000	0.0001*	0.0001*	0.0010*	0.0150*	0.1746
<i>C. cerina</i>	---	---	---	---	---	---
<i>C. phlogina</i>	---	---	---	---	---	---
<i>D. ceratoniae</i>	0.0000*	0.0060*	0.0581	0.0001*	0.0001*	0.5000
<i>L. elaeochroma</i>	0.0010*	0.0450*	0.0794	0.0005*	0.2305	0.0053*
<i>Lecanora spp. 1</i>	0.0440*	0.0124*	0.0000*	0.0788	0.0458*	0.0010*
<i>Lecanora spp. 2</i>	0.0023*	0.5000	0.0023*	---	---	---
<i>O. atra var. 1</i>	0.5000	0.0001*	0.0001*	0.0119*	0.0001*	0.0631
<i>O. atra var. 2</i>	0.0931	0.0044*	0.0000*	---	---	---
<i>O. celtidicola</i>	0.0166*	0.0362*	0.0000*	---	---	---
<i>O. varia</i>	0.5000	0.0003*	0.0003*	---	---	---
<i>P. leioplaca</i>	0.5000	0.0001*	0.0001*	0.5000	0.0129*	0.0129*
<i>P. tenella</i>	0.0004	0.3792	0.0011	---	---	---
<i>R. canariensis</i>	0.3131	0.0074	0.0017	---	---	---
<i>Sphinctrina spp.</i>	0.5000	0.0003	0.0003	---	---	---
<i>X. parietina</i>	---	---	---	---	---	---

La Taula 5 informa de quines espècies presenten diferències significatives (p-valor < 0,05) entre les seves freqüències en les distintes àrees d'estudi. A més, dona informació de quin és el foròfit que aporta més informació en quant als líquens com a bioindicadors de contaminació atmosfèrica, les alzines.

Les espècies de líquen que presenten diferències significatives entre les 3 àrees d'estudi són *D. ceratoniae*, *Lecanora spp. 1* i *O. celtidicola*, sobre *Quercus ilex* L. (Taula 6).

Taula 6. Índex de Puresa Atmosfèrica (IPA) de cada arbre de l'estudi i la mitjana de cada localitat (L1, L2 i L3) diferenciant alzines de garrovers: 21 alzines i 21 garrovers.

<i>Q. ilex</i> L.	L1	L2	L3	<i>C. siliqua</i> L.	L1	L2	L3
IPA A1	270	3	271	IPA G1	566	85	78
IPA A2	209	0	265	IPA G2	170	115	97
IPA A3	162	1	286	IPA G3	140	119	82
IPA A4	236	0	232	IPA G4	127	154	143
IPA A5	222	2	295	IPA G5	179	101	108
IPA A6	122	0	342	IPA G6	570	69	55
IPA A7	90	1	181	IPA G7	358	118	48
IPA mitjana	187,29	1	267,43	IPA mitjana	301,43	108,71	87,29

I finalment, a la Taula 6 s'hi troben els valors de l'Índex de Puresa Atmosfèrica (IPA) de cada un dels arbres present a l'estudi. Cal mencionar que, valors elevats d'aquest índex representen una millor qualitat de l'aire (Conti & Cecchetti, 2000). Per tant, els resultats donats per les alzines són els esperats, ja que estableixen Valldemossa, àrea més allunyada de qualsevol focus de contaminació, com la localitat amb una major qualitat de l'aire. En canvi, els resultats d'IPA proporcionats per les freqüències de líquens presents als garrovers estableixen l'àrea de Valldemossa com la més contaminada, resultat que cal discutir.

DISCUSSIÓ

Comparativa de localitats en relació a la flora líquènica

La localitat 1 mostra una Riquesa d'espècies (S) de 13 (Taula 2). Aquests individus són: *A. albopulverea*, *A. melanophthalma*, *Bacidia spp.*, *C. cerina*, *D. ceratoniae*, *L. elaeochroma*, *Lecanora spp. 1*, *Lecanora spp. 2*, *O. atra var. 2*, *O. celtidicola*, *P. tenella*, *R. canariensis* i *X. Parietina* (Taula 3). Quasi totes les espècies presents posseeixen tal·lus de tipus crustaci, excepte *P. tenella* i *X. parietina*, el biotip de les quals és foliós, i *R. canariensis* de tipus fruticulós. Les freqüències (F) de les espècies d'aquesta àrea d'estudi oscil·len des de valors de 0, representant aquelles espècies estudiades però no presents en aquesta localitat, i valors de F d'uns 140 (Figura 1 i Figura 2).

En la localitat 2 s'hi troben 8 espècies líquèniques ($S = 8$) (Taula 2): *B. punctata*, *C. cerina*, *C. phlogina*, *L. elaeochroma*, *Lecanora* spp. 1, *Lecanora* spp. 2, *O. atra* var. 1, *P. tenella* i *X. parietina* (Taula 3). Totes mostren biotip crustaci, menys *P. tenella* i *X. parietina*, que com ja s'ha mencionat presenten biotip foliós. En quant a la F de les espècies és bastant reduïda, quasi tots els valors són igual a 0 o molt propers a aquest (Figura 1 i Figura 3).

La localitat 3 té una S de 15 (Taula 2), les espècies que es troben representades en la zona són: *B. laurocerasi*, *B. punctata*, *C. phlogina*, *D. ceratoniae*, *L. elaeochroma*, *Lecanora* spp. 1, *Lecanora* spp. 2, *O. celtidicola*, *O. varia*, *P. leioplaca*, *P. tenella*, *R. canariensis*, *Sphinctrina* spp. i *X. parietina* (Taula 3). El biotip predominant en aquesta àrea també ve representat pel de tipus crustaci, i com a L1, es mostren les 2 mateixes espècies de biotip foliós i la mateixa de tal·lus fruticulós. I en aquest cas, les freqüències (F) de les espècies presents, prenen valors d'entre 0 (espècies no present en L3 però sí a l'estudi) i valors al voltant de 200 (Figura 2 i Figura 3).

En resum, L2 és la localitat que presenta menors valors de S (Taula 2) i de F (Figura 1 i Figura 3), la qual cosa influeix als resultats de l'Índex de Diversitat de Shannon (H') i de Equitabilitat (J). S i F determinen la baixa diversitat d'espècies (H') i baixa Equitabilitat (J) de la localitat en qüestió (Taula 2). L3 és la localitat amb una major Riquesa d'espècies (S), major diversitat (H') i Equitabilitat (J) d'aquestes, deixant a L1 com la localitat amb valors entremitjos (Taula 2).

La presència / absència de les espècies líquèniques en les àrees d'estudi permet el càlcul de la Riquesa d'espècies (S) i de la Riquesa florística (D) (Taula 3). La Riquesa florística (D) es veu influenciada pel valor de S, com major és la Riquesa d'espècies (S) en una localitat, major Riquesa florística (D) tindrà. D'aquesta forma, tenint en compte la S de cada localitat, es demostra que L3 és la localitat amb una Riquesa florística (D) més elevada, i que L2 presenta els valors més baixos, tant en alzines com en garrovers (Taula 3).

És interessant caracteritzar la flora líquènica segons la seva presència o absència en les localitats (Taula 3), a més de l'ús dels paràmetres ecològics calculats en relació a aquesta: R_m , P i P_m (Taula 4). Per tant, l'anàlisi es durà a terme de les 20 espècies de líquens que s'han trobat segons la Taula 4:

Arthonia albopulverea i *Arthonia melanophthalma*: les dues espècies només es troben presents a L1 amb un Recobriment mitjà (R_m) i Presència (P) elevades.

Bacidia laurocerasi i *Bacidia spp.*: les espècies determinades del gènere *Bacidia* es troben només en una localitat. Aquesta difereix entre elles, ja que *Bacidia laurocerasi* es presenta a L3 amb una P elevada i un Rm intermedi, i *Bacidia spp.* la trobem a L1 amb una baixa P i un recobriment intermedi.

Buellia punctata: apareix a L2 i a L3, i cal mencionar que els resultats de Rm i de P augmenten de L2 a L3.

Caloplaca cerina i *Caloplaca phlogina*: les dues espècies presents en l'estudi del gènere *Caloplaca* es troben presents en dues localitats. *C. cerina* la trobem a L1 i L2, on els Rm i P es mantenen constants en les dues localitats. I *C. phlogina*, apareix a L2 i L3, mostrant una P similar en les dues àrees i un Rm una mica superior a L2

Dirina ceratoniae: espècie present a la localitat 1 i 3. Els valors de Rm i de P destaquen a L1, essent aquests els més elevats de la localitat. A L3, els resultats d'aquests paràmetres per a dita espècie no destaquen sobre els de les espècies restants.

Lecanora spp. 1 i *Lecanora spp. 2* : aquestes espècies es troben presents en les 3 àrees d'estudi. De les tres estacions, *Lecanora spp. 1* mostra els màxims valors de Rm a L2, i de P a L3. En canvi, els valors resultants de Rm, P i Pm per a *Lecanora spp. 2* mostren un clar augment en el següent ordre: $L2 < L1 < L3$.

Lecidella elaeochroma: es troba en les tres localitats amb un Rm quasi constant i una P elevada en les tres estacions

Opegrapha atra var. 1, *Opegrapha atra* var. 2, *Opegrapha celtidicola* i *Opegrapha varia*: Les espècies d'aquest gènere es troben en dues localitats, excepte *O. varia* que només es troba present a L3, amb un Rm i una P intermèdia. *O. atra* var. 1 està present a L2 i L3, mostrant un Rm i una P molt més elevada a L3. I *O. atra* var. 2 i *O. celtidicola* les trobem a L1 i a L3, seguint les 2 el mateix patró: $Rm \text{ i } P \text{ L1} < Rm \text{ i } P \text{ L3}$.

Pertusaria leioplaca: espècie que només apareix en la localitat 3, amb una P elevada i Rm baix.

Physcia tenella: es troba en les tres localitats, mostrant valors similars de Rm i P a la L1 i L3, i valors més baixos a L2.

Ramalina canariensis: apareix a L1 i L3, mostrant un Rm igual de baix a L1 com a L3, i una P bastant més elevada a L3 que a L1.

Sphinctrina spp.: aquesta espècie de fong liquenícola es troba parasitant *Pertusaria leioplaca*. Sembla que podria ser *S. tubiformis*, qui parasita sovint el líquen citat (NBN atlas, 2018). Així segueix el mateix patró de creixement que *Pertusaria leioplaca*. Es troba en la localitat 3, amb un Rm i una P més baixa que *P. leioplaca*.

Xanthoria parietina: la Presència (P) d'aquesta espècie és intermitja i encara que el seu Rm sigui baix, aquesta apareix en les tres localitats.

El biotip predominant en la flora líquènica estudiada és el de tipus crustaci, el qual, segons Giralt (1996 i 1997) és considerat més resistent a la contaminació que els de tipus foliacis i fruticulosos. Encara que en el nostre estudi aquest fet no es veu gaire present, l'únic que s'observa és la desaparició de l'espècie amb biotip fruticulós (*R. canariensis*) a la localitat 2. Segons Deruelle & Lallemand (1983) aquesta sèrie establerta en relació a la forma biològica no es troba sempre, no pot ser generalitzada.

Grau de contaminació a L1, L2 i L3 en base als líquens com a bioindicadors

La contaminació atmosfèrica provoca efectes negatius sobre la flora líquènica, tant qualitatiu com quantitatiu. Els efectes qualitius s'explicarien mitjançant les classes de sensibilitat establertes. En canvi, els efectes quantitius són aquells que causen una disminució dels valors de Freqüència (F), Riquesa d'espècies (S) i dels paràmetres relacionats amb aquests.

Un cop analitzats els resultats obtinguts, s'ha establert que la localitat 2 és l'àrea més contaminada d'aquest estudi, degut als baixos valors dels paràmetres claculats. Aquest resultat no era el que s'esperava, perquè a l'hora de seleccionar les localitats amb una suposició prèvia sobre els possibles diferents graus de contaminació, aquesta es pensava que podia ser l'àrea intermitja. Estadísticament, aquesta zona presenta diferències significatives de valors de F amb L1 i L3 (Taula 1), la qual cosa aporta fermesa al resultat obtingut. Els resultats en aquest aspecte ens duen a plantejar que encara que la zona es troba en un lloc obert on és difícil que es concentrin els gasos contaminants, els arbres seleccionats per a l'estudi es troben en un punt on el trànsit de vehicles pot ser elevat, així com menciona Seguí et al. (2013).

L3 presenta els valors més elevats dels paràmetres F (Figura 2 i Figura 3), S, H' i J (Taula 2), i L1 mostra valors intermedis entre L2 i L3 (Figura 1, Figura 2 i Taula 2). Les diferències entre aquestes dues localitats no són estadísticament significatives (Taula 1), però mitjançant els resultats dels paràmetres ecològics calculats i la caracterització de les localitats: L3 no rep influències directes de contaminació de cap nucli urbà a diferència de L1 que es troba a la perifèria de la ciutat de Palma, per el que es pot definir que L3 és la localitat amb menys concentració de contaminants i que L1 és la zona intermèdia.

L'establiment de les classes de sensibilitat de les espècies ha estat de gran utilitat per complementar la informació sobre quina localitat presenta una major concentració de contaminants respecte a una altra. D'aquesta forma, s'observa que a L2, àrea establerta com la més contaminada, no apareix cap de les espècies de la **Classe III**. Les espècies que apareixen són quasi totes aquelles de la **Classe I**, espècies tolerants, i unes poques de la classe intermitja, **Classe II**. A diferència d'aquesta localitat, L3, presenta espècies de les 3 classes de sensibilitat, el que acaba de confirmar la puresa de l'aire en aquesta localitat. La localitat 1 ens mostra que el grau de contaminació que presenta no és molt elevat, ja que en aquesta també apareixen espècies de les tres classes de sensibilitat, però en menor nombre que a L3.

En darrer terme, l'Índex de Puresa Atmosfèrica (IPA) ens permet aportar més veracitat als resultats de l'estudi degut a que és un índex dissenyat per a quantificar informació referida a líquens i contaminació d'una forma senzilla i que permet avaluar la contaminació atmosfèrica d'àrees determinades (Conti & Cecchetti, 2001) d'una forma estandaritzada i extrapolable d'un territori a un altre. Els resultats d'IPA obtinguts a partir de les freqüències de líquens presents en alzines mostren el mateix patró de contaminació que els altres resultats obtinguts. En canvi, l'IPA obtingut a partir de les freqüències de líquens presents a garrovers entren en contradicció amb els graus de contaminació establerts a cada localitat de l'estudi, establint L1 com l'àrea amb menys contaminació, L2 com zona intermèdia i L3 com la més contaminada (Taula 6). Aquest fet és degut a la influència que tenen les freqüències (F) de les espècies sobre el càlcul d'aquest índex, espècies amb valors elevats de F alteren els resultats (Santoni & Lijteroff, 2006). Les espècies que fan que L1 es mostri com l'àrea amb menys contaminació són *A. albopulverea* i *A. melanophthalma*, les quals presenten valors de F molt elevats a L1 sobre garrovers. El mateix passa amb L2, on l'espècie *Lecanora* spp. 1 presenta una elevada freqüència que altera l'IPA d'aquesta localitat sobre aquesta espècie d'arbre. Aquest fet es pot apreciar a la Taula 5.

I finalment, respecte a l'interès que té aquest estudi a l'àmbit de l'illa, mencionar que l'enfoc ampli de la parametrització ecològica dels líquens cortícoles de zones mediterrànies que han permès establir classes de sensibilitat poden ser de gran utilitat per a propers treballs sobre el tema. A més, segons els nostres resultats, el foròfit que millor expressa la capacitat dels líquens com a bioindicadors és *Q. ilex* L.. En aquesta espècie d'arbre es fan notar més les diferències entre les freqüències dels líquens trobats, essent gran part d'aquestes estadísticament significatives entre localitats (Taula 5).

L'ús de líquens com a bioindicadors de contaminació atmosfèrica, que no proporciona mesures detallades de les concentracions dels contaminants (Ariño et al., 1997), i que, per tant, no poden arribar a substituir les estacions enregistradores de gasos contaminants, proporcionen una estimació del grau de contaminació present molt útil, tal com diuen Hawksworth et al., (2005) a l'hora d'enregistrar els efectes de la contaminació sobre els éssers vius.

CONCLUSIONS

1. L'estudi permet reconèixer com a localitat més contaminada L2 (campus de la UIB), L3 (Valldemossa) resulta ser la que presenta una major puresa de l'aire i L1 (bosc de Bellver, Palma) és l'àrea intermèdia entre L2 i L3, essent fins i tot més semblant a L3.
2. Les espècies més sensibles a la contaminació atmosfèrica determinades a l'estudi són: *Arthonia albopulverea*, *Arthonia melanophthalma*, *Bacidia laurocerasi*, *Bacidia* spp., *Opegrapha varia*, *Pertusaria leioplaca* i *Sphinctrina* spp..
3. Les espècies tolerants a la contaminació són: *Lecidella elaeochroma*, *Lecanora* spp. 1, *Lecanora* spp. 2, *Physcia tenella* i *Xanthoria parietina*.
4. El foròfit que millor representa la qualitat dels líquens com a bioindicadors de contaminació és *Q. ilex* L.
5. Dels paràmetres calculats, els més útils per a comparar els graus de contaminació entre localitats, a més de l'IPA, són: S de la localitat, H', la presència o absència de les espècies en les localitats, el Rm i la P.
6. S'ha comprovat la capacitat dels líquens epífits de zones poc humides de l'illa de Mallorca com a bioindicadors dels efectes de la contaminació ambiental.

REFERÈNCIES

- Amo de Paz, G., Núñez, J., Divakar, P. K., Gutierrez, A., Vivas, M. & Crespo, A. (2010). Uso de líquenes como bioindicadores y el cambio climático en la sierra de tramuntana. Informe de proyecto (no publicat). Universidad Complutense de Madrid.
- Ariño Vila, X., Azuaga García, T. & Gómez-Bolea, A. (1997). Els líquens com a bioindicadors de la qualitat atmosfèrica: el cas de la vall de Fumanya (Cercs, Barcelona). *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 5-13.
- Barkman, J. J. (1969). The influence of air pollution on bryophytes and lichens. *Air pollution*, 197-209.
- Cáceres, M. E., Lücking, R., & Rambold, G. (2007). Phorophyte specificity and environmental parameters versus stochasticity as determinants for species composition of corticolous crustose lichen communities in the Atlantic rain forest of northeastern Brazil. *Mycological Progress*, 6(3), 117-136.
- Calatayud Lorente, V., & Sanz, M. J. (2000). Guía de líquenes epífitos en las parcelas del sistema Pan-Europeo para el seguimiento intensivo y continuo de los sistemas forestales (Red CE de Nivel II) en España. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Calvo, E., & Sanz, M. J. (2000). Líquenes como bioindicadores de la calidad ambiental en el Parque Natural de la Font Roja (Alicante, España). *Ecología*, 14, 103-115.
- Carballal Durán, R., & García Molares, A. (1991). Valoración de la contaminación atmosférica por SO₂ en la zona de Ferrol-Fene (La Coruña) mediante líquenes epífitos. *Acta Botánica Malacitana*, 16 (1), 197-206.
- Cislaghi, C., & Nimis, P. L. (1997). Lichens, air pollution and lung cancer. *Nature*, 387, 463-464.
- Clauzade, G. & Roux, C. (1985). Likenoj de Okcidenta Eùropo. Ilustrita determinlibro. *Bull. Soc. Bot. du Centre-Ouest, nouv. série, num. spec. 7*, 893p, Royan.
- Conti, M. E., & Cecchetti, G. (2001). Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment—a review. *Environmental pollution*, 114(3), 471-492.
- Déruelle, S. & Lallemand, R. (1983). Les lichens, témoins de la pollution. *Thèmes Viubert Université Biologie*, Paris, 108 p.
- Fiol, L. A. (1995). Líquens epífitos de l'àrea urbana de Palma de Mallorca. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 38, 131-151.
- Giralt, M. (1996). Líquens epífitos i contaminació atmosfèrica a la plana i serrallades litorals tarragonines. *Arxius de les Seccions de Ciències, Secció de Ciències Biològiques* 113: 1-528.
- Giralt, M. (1997). Estudi de la contaminació atmosfèrica de la plana del Camp de Tarragona (Catalunya) prenent els líquens com a bioindicadors. *Collectanea Botanica*, 23, 53-71.

- Hale, M. E. (1983). The biology of lichens. Edward Arnold, London.
- Hawksworth, D. L., & Rose, F. (1970). Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*, 227(5254), 145.
- Hawksworth, D. L. (1992). Litmus tests for ecosystem health: the potential of bioindicators in the monitoring of biodiversity. *Biodiversity: implications for global food security.*, 184-204.
- Hawksworth, D. L. (1999). Lichens (lichen-forming fungi) in Buckingham Palace Garden. *The Natural History of Buckingham Palace Garden, London*, 1.
- Hawksworth, D. L., Iturriaga, T., & Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de micología*, 22(2), 71-82.
- Herzig, R., & Urech, M. (1991). Flechten als bioindikatoren: *Integriertes biologisches Messsystem der Luftverschmutzung für das Schweizer Mittelland*. Cramer, Berlin.
- López, A. I. (2015). El món dels líquens: naturalesa i utilització d'uns organismes únics. *Biologia on-line: revista de divulgació de la Facultat de Biologia*, 4(1), 1.
- Kinnunen, H., Holopainen, T., & Kärenlampi, L. (2003). Sources of error in epiphytic lichen variables mapped as bioindicators: needs to modify the Finnish standard. *Ecological Indicators*, 3(1), 1-11.
- Davies, L., Bates, J. W., Bell, J. N. B., James, P. W., & Purvis, O. W. (2007). Diversity and sensitivity of epiphytes to oxides of nitrogen in London. *Environmental Pollution*, 146(2), 299-310.
- De Sloover, J., & LeBlanc, F. (1968). Pollutions atmosphériques et fertilité chez les mousses et chez les lichens épiphytiques. *Académie & Société Lorraines des Sciences*, 9, 82-90.
- Lladó, J. M. I. (2014). Los paisajes culturales patrimonio mundial como herramientas de gestión territorial. El caso de la Serra de Tramuntana de Mallorca. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (66).
- LeBlanc, S. F., & Sloover, J. D. (1970). Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany*, 48(8), 1485-1496.
- Letrouit-Galinou, M. A., Seaward, M. R., & Deruelle, S. (1992). A propos du retour des lichens épiphytes dans le Jardin du Luxembourg (Paris). *Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques*, 139(2), 115-126.
- LijteRoff, R., Lima, L., & PRieRi, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(2), 111-120.

- Matos, P., Geiser, L., Hardman, A., Glavich, D., Pinho, P., Nunes, A. & Branquinho, C. (2017). Tracking global change using lichen diversity: towards a global-scale ecological indicator. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(7), 788-798.
- Nash, T. H. (2008). Lichen sensitivity to air pollution. *Lichen biology*, vol. 2.
- NBN atlas (2018). <https://species.nbnatlas.org/species/NBNSYS0000019399>
- Nimis, P. L., Castello, M., & Perotti, M. (1990). Lichens as biomonitors of sulphur dioxide pollution in La Spezia (Northern Italy). *The Lichenologist*, 22(3), 333-344.
- Nimis, P. L., & Lazzarin, A. G. (1991). Lichens as bioindicators of air pollution by SO₂ in the Veneto Region (NE Italy). *Studia Geobotanica*, 11, 3-76.
- Ozenda & Clauzade (1970). Les lichens. Etude biologique et flore illustree. Masson et Cie Ed. 801 p. Paris.
- Purvis W. (2000). Lichens. *Smithsonian Institution Press: Washington*, 122 p.
- Santoni, C. S., & Lijteroff, R. (2006). Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la provincia de San Luis, Argentina. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 22(1), 49-58.
- Seguí Pons, J. M., Ruiz, M., & Luna, M. (2013). Movilidad y transportes en el acceso al Campus de la Universitat de les Illes Balears: una perspectiva de género. In *XIII Congreso de Geógrafos Españoles. Espacios Insulares y de frontera, una visión geográfica*, 685-695.
- Silberstein, L., Siegel, B. Z., Siegel, S. M., Mukhtar, A., & Galun, M. (1996). Comparative studies on *Xanthoria parietina*, a pollution resistant lichen, and *Ramalina duriaei*, a sensitive species. II. Evaluation of possible air pollution-protection mechanisms. *The Lichenologist*, 28(4), 367-383.
- Sigal, L. L., & Nash, T. H. (1983). Lichen communities on conifers in southern California mountains: an ecological survey relative to oxidant air pollution. *Ecology*, 64(6), 1343-1354.
- Steubing, L., & Jager, H. J. (1982). Monitoring of air pollutants by plants. Method and Problems. Dr. W. Junk Publishers, The Hauge, The Netherlands, 163 p. Kluwer, Boston.
- Tonneijck, A. E. G., & Posthumus, A. C. (1987). Use of indicator plants for biological monitoring of effects of air pollution: the Dutch approach. *VDI-Berichte*, 609, 205-216.
- Tramer, E. J. (1969). Bird species diversity: components of Shannon's formula. *Ecology*, 50(5), 927-929.
- Wirth, V., Düll, R., Llimona, X., Ros, R. M. & Werner, O. (2004). Guía de campo de los líquenes, musgos y hepáticas: con 288 especies de líquenes y 226 de briófitos (musgos y hepáticas). Ediciones Omega, Barcelona, 589 p.