

Uso de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire: estado de la Ciudad Universitaria (Madrid, España)

Alberto Fontecha, Ana Rosa Burgaz¹

Recibido: 12 junio 2017 / Aceptado: 14 agosto 2017.

Resumen. El muestreo sobre forófitos del género *Pinus* de 11 parcelas en la Ciudad Universitaria y 3 parcelas control en el Monte del Pardo ponen de manifiesto los efectos de la contaminación en la Ciudad Universitaria. A pesar de que los índices relativos a diversidad y pureza atmosférica muestren la ausencia de pérdida de diversidad, su composición revela los marcados efectos de los incendios, la eutrofización y basificación de cortezas. La flora líquénica es relativamente homogénea, con abundancia en especies toxitolerantes y nitrófilas. Estos efectos se deben a la presencia de partículas en suspensión y dióxido de nitrógeno fundamentalmente. Aun así es posible afirmar que los valores de degradación son moderados por su situación privilegiada.

Palabras clave: bioindicadores; contaminación; eutrofización.

[en] Use of lichens as bioindicators of air quality: status of Ciudad Universitaria (Madrid, Spain)

Abstract. Sampling 11 plots on *Pinus* phorophytes in Ciudad Universitaria and 3 control plots in Monte de El Pardo the effects of pollution in Ciudad Universitaria are studied. Although the indexes of diversity and atmospheric quality show the absence of diversity loss, composition reveals the marked effects of fires, eutrophication and bark basification. The lichen flora is relatively homogeneous, with abundance of nitrophilous and toxitolerant species. These effects are mainly due to the presence of particulate matter and nitrogen dioxide. Although, the values of degradation are moderated by its privileged location.

Key words: bioindicators; pollution; eutrophication.

Introducción

El primer momento en el que la ciencia se percató de que los líquenes eran organismos bioindicadores fue gracias a Erasmus Darwin (1798), quien observó la ausencia de líquenes en las minas de cobre de Anglesey. Posteriormente, Grindon (1859), en su informe sobre la flora de Manchester, hace referencia a la mayor abundancia de líquenes en los bosques aledaños a la ciudad que en la misma. Sin embargo, no fue hasta 1866, que Nylander, al estudiar la flora líquenológica de los Jardines de Luxemburgo, en París, cataloga a los líquenes como organismos sensibles a las impurezas del aire, y comienza a utilizarlos como una herramienta para observar la salubridad de la atmósfera. Iniciando así la constante investigación de la

relación entre los líquenes y la polución que llega hasta nuestros días. La capacidad como bioindicadores de los líquenes radica en su relevancia biológica, por tratarse de organismos sensibles a los distintos contaminantes atmosféricos (WHO 2003) que pueden ser relacionados con posibles efectos sobre la población (Nimis & Cislighi 1977), metodológica y social ya que es un método no destructivo con el ecosistema y ha tenido repercusión en el establecimiento de leyes españolas (AENOR 2014).

En la Península Ibérica, se utilizó por primera vez este método en Madrid, realizando un análisis cuantitativo de las comunidades de líquenes epífitos para la realización posterior de un mapa de isocontaminación (Crespo et al. 1977). De manera general ofrece algo de in-

¹ Departamento de Biodiversidad, Ecología y Evolución (Unidad Botánica), Facultad de Ciencias Biológicas, UCM, 28040-Madrid, España. Autor para correspondencia e-mail: arburgaz@ucm.es

formación sobre Ciudad Universitaria aunque no individualmente. Se incluye en una zona con valores de IPA comprendidos entre 20-30 en las que existe una notable acidificación del aire. Posteriormente, Crespo & Bueno (1982), realizan un estudio en la Casa de Campo donde encuentran comunidades acidófilas y xerófilas lo que indica aún el efecto de la contaminación ácida, aunque en descenso.

Los objetivos de este trabajo han sido registrar los taxones de líquenes epífitos presentes en el espacio urbano de la Ciudad Universitaria y en las parcelas control de El Pardo sobre *Pinus pinea* L. y *P. halepensis* Mill. para, posteriormente, determinar el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) y Valor de Diversidad Liquéstica (VDL) y poder establecer el grado de contaminación o perturbación existente.

Materiales y Métodos

La Ciudad Universitaria es un territorio de unas 400 ha, situado en el NO de Madrid, y rodeado por numerosas zonas verdes, como el parque de La Dehesa de la Villa junto con numerosos solares y zonas no urbanizadas. Existen también zonas ajardinadas como el Real Jardín Botánico Alfonso XIII y el Parque del Oeste. En términos bioclimáticos, Madrid se localiza en el piso mesomediterráneo, con ombroclima seco inferior (Rivas-Martínez 1982). Aunque el substrato no es homogéneo, predominan los substratos arenosos y sedimentarios, pobres en bases, de carácter silíceo procedentes de la sierra: arcosas, arenas, arcillas y limos. La vegetación potencial pertenece al *Junipero oxycedri-Querceto rotundifoliae* S., serie meso-supramediterránea guadarrámico-ibérica silicícola de la encina (Rivas-Martínez 1982). Sin embargo, la Ciudad Universitaria tiene una fuerte presión antrópica y con fluctuaciones continuas. Por un lado debido a la remoción de tierras y obras de infraestructura que ha sufrido durante gran parte del siglo XX, además del cultivo de plantas alóctonas y ornamentales en las zonas ajardinadas (García et al. 1993). Actualmente el árbol más representado en las zonas no ajardinadas de la Ciudad Universitaria es *Pinus pinea* debido a la repoblación que se realizó en esta zona durante la posguerra.

El Monte de El Pardo pertenece al municipio de Madrid y consta de 16.000 ha, representando la cuarta parte de la superficie

de la capital. Es el bosque mediterráneo más importante de la Comunidad de Madrid y de los mejores conservados de Europa, por ello, desde 1985 está protegido bajo la figura del Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares y desde 1987 como Zona Especial de Protección de Aves (ZEPA). Casi un 95% de su superficie está protegida y su acceso restringido, el 5% restante es el área utilizada como localidad control, por encontrarse en un buen grado conservación y al estar próxima a la Ciudad Universitaria, por lo que los factores climáticos, edafológicos y la vegetación pueden ser asumidos como prácticamente iguales o con diferencias poco significativas, encontrándose también, en menor medida pinares de repoblación de *Pinus pinea*.

Se ha seguido el método de muestreo de Asta et al. (2002). La red de parcelas se limita a los espacios verdes no ajardinados disponibles en la Ciudad Universitaria donde se encontraba el forófito utilizado y susceptibles de acceder libremente. De la misma manera, las parcelas de El Pardo son aquellas cuyo acceso es público y se disponía del forófito utilizado (Fig. 1). Se han medido 7 árboles por parcela siguiendo un muestro aleatorio simple repartido a lo largo de toda la superficie, eligiendo también de forma aleatoria el punto de inicio, evitando aquellos que muestren señales de actividad humana. Los forófitos seleccionados son mayoritariamente *Pinus pinea* y en menor medida *P. halepensis*. Las muestras recolectadas están depositadas en el herbario MACB. Los inventarios se han realizado en la orientación norte del tronco por ser la única parte que presentaba líquenes, ya que recibe menos insolación a lo largo del día. Se utiliza una plantilla transparente tamaño A4 (21 x 29,7cm) dividida en diez cuadrículas, iguales para las medidas de los valores de IPA y VDL. Se ha utilizado este tamaño de plantilla porque facilita la toma de los inventarios. La plantilla se coloca a la altura aproximada del DBH, siguiendo los criterios estándar establecidos, considerando variar la misma con objeto de recoger una muestra representativa de biodiversidad o evitar efectos de zonas del tronco con excesivo rozamiento o nudos de ramas. Se anota las veces que aparece cada especie en la plantilla de muestreo. Se toman datos adicionales sobre la altura a la que se realiza la medición, circunferencia del tronco, coordenadas UTM, altitud y muestras de las cortezas.

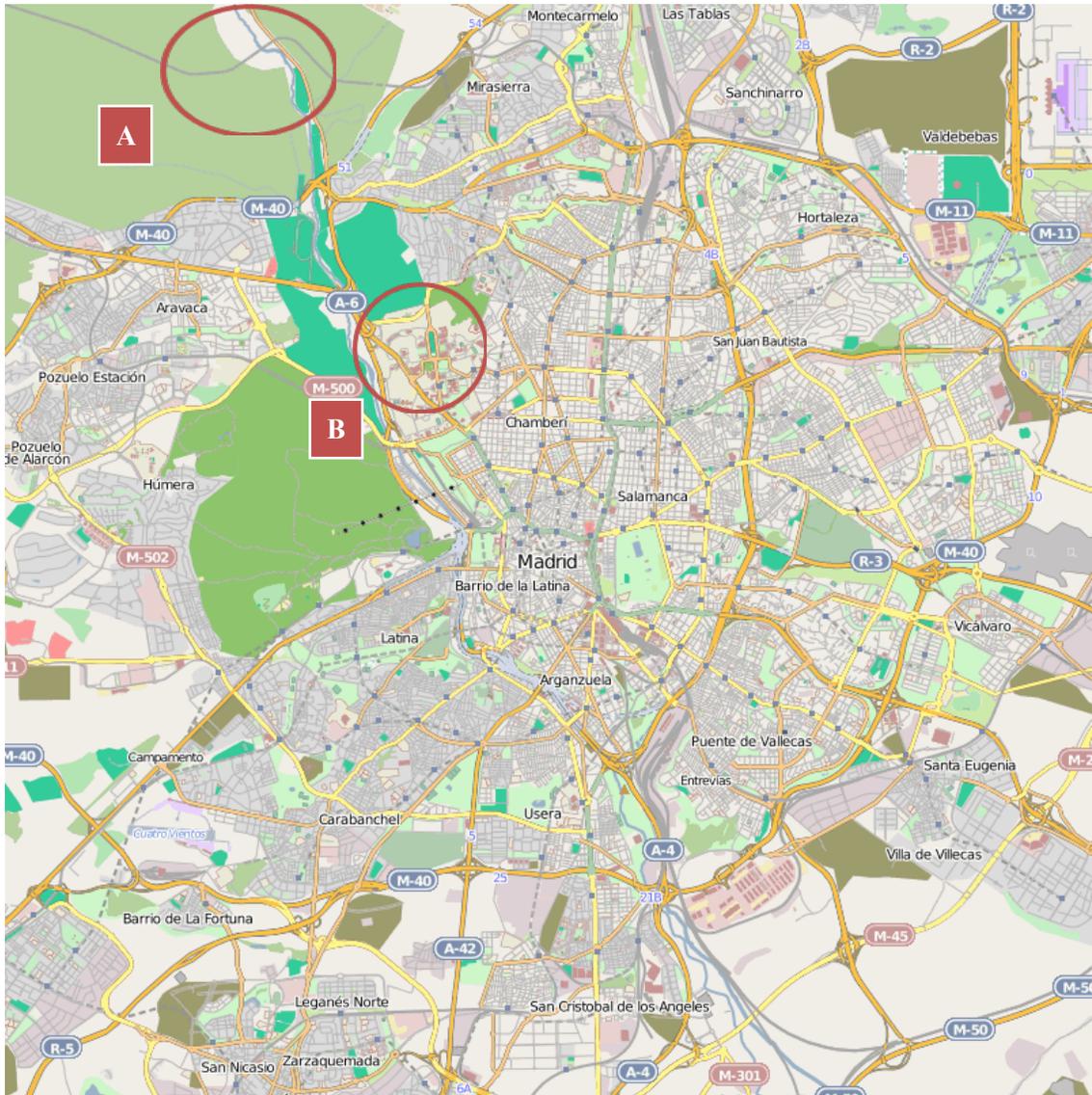
A



Figura 1. Foto aérea de las parcelas muestreadas de la Ciudad Universitaria (A) y de el Monte de El Pardo (B) y su localización en un plano de Madrid.

B





La identificación de especies se ha realizado de manera tradicional observando los caracteres morfológicos mediante una lupa estereoscópica (40x), medición de esporas y ascos mediante microscopio óptico (40x y 100x), cristales en los apotecios mediante un microscopio de luz polarizada (40x y 100x). Así como caracteres químicos como reacciones puntuales de color. El criterio taxonómico seguido es el indicado en *Species Fungorum* (<http://www.indexfungorum.org/>). Para el análisis de pH de cortezas se ha utilizado una versión modificada del protocolo de Giordani & Malaspina (2016). Se seleccionan 2 mm superficiales de la corteza de cada árbol, se muele y una porción del resultado (500 mg) se disuelve en 20 ml de agua destilada dejando reposar durante 20 h, la solución una vez filtrada se mide

con un peachímetro modelo 827 pH lab; 230 V (Metrohm).

Con los datos obtenidos se ha efectuado un cálculo para los Valores de Diversidad Líquénica (VDL) que representa el sumatorio de las frecuencias totales de aparición de líquenes en los árboles de cada parcela; Riqueza (S), Índice de Diversidad de Shannon (H), Índice de Equitatividad de Pielou (J) e Índice de Pureza Atmosférica (IPA) que representa el sumatorio de las frecuencias medias de aparición de líquenes en los árboles de cada parcela. Para el cálculo de éste último índice se ha usado el IPA_{18} (Herzig & Urech 1991) por haber resultado como el modelo más predictivo y robusto, más utilizado en la actualidad y haber desplazado a otros modelos de bioindicadores. Para el análisis estadístico de

los datos se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors para determinar la normalidad de los datos. Para comparar los datos obtenidos para las variables estudiadas se ha considerado un análisis de la varianza de una vía (ANOVA). En todos los casos se consideró un $\alpha = 0,05$. Se realiza además un análisis multivariante con distancia euclídea. Se han usado los softwares Microsoft Office Excel 2007 y Statsoft STATISTICA 10.

Resultados

En la Tabla 1 se recogen todas las características de los forófitos muestreados. Se han encontrado un total de 29 especies en ambas localidades y los datos de las frecuencias li-

quénicas (Tabla 2) han sido calculadas como el sumatorio de las frecuencias individuales de cada especie de cada árbol. Todas las parcelas presentaban líquenes excepto CIU10 y CIU11 consideradas desierto liquénico, debido a un marcado rozamiento por el tránsito humano, con lo cual, no se han tenido en cuenta en el análisis posterior. Los forófitos se encuentran en mayor o menor medida algo aislados por lo que el efecto dosel es poco marcado y las condiciones xéricas son elevadas, sin embargo, las parcelas CIU1, CIU3, CIU5 y CIU9 poseen más umbría. Hay 24 especies en la Ciudad Universitaria y 23 en El Pardo habiendo 18 especies comunes en ambas localidades, 5 especies son exclusivas de El Pardo y 6 especies son exclusivas de la Ciudad Universitaria.

Tabla 1. Características de los forófitos en las parcelas estudiadas, altitud, circunferencia, altura del inventario y pH.

Nº parcela	forófito	altitud (m)	circunferencia (cm)	altura medición (cm)	pH
CIU1	<i>Pinus pinea</i>	541,57	85,57	151,43	4,66
CIU2	<i>Pinus pinea</i>	649,60	86,40	57,53	4,64
CIU3	<i>Pinus halepensis</i>	646,00	67,14	74,86	5,15
CIU4	<i>Pinus pinea</i>	640,83	95,17	89,57	4,94
CIU5	<i>Pinus pinea</i>	651,71	103,14	128,29	5,22
CIU6	<i>Pinus pinea</i>	643,33	117,00	135,00	5,02
CIU7	<i>Pinus pinea</i>	618,50	108,29	127,57	4,60
CIU8	<i>Pinus pinea</i>	653,00	73,43	139,14	4,96
CIU9	<i>Pinus pinea</i>	663,00	100,14	149,14	5,07
Media		634,17	92,92	116,95	4,92
PAR1	<i>Pinus pinea</i>	614,14	83,14	125,71	4,55
PAR2	<i>Pinus pinea</i>	639,00	79,57	141,43	4,03
PAR3	<i>Pinus pinea</i>	613,00	77,86	131,00	4,51
Media		622,05	80,19	132,71	4,36

De la comparación entre los valores de pH se determina que existen diferencias significativas entre las localidades siendo más elevado el valor en la Ciudad Universitaria que en El Pardo (Fig. 2B).

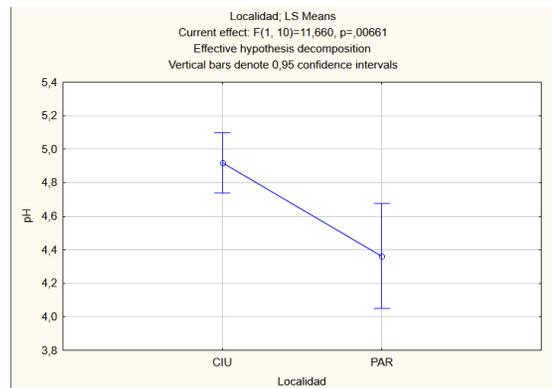
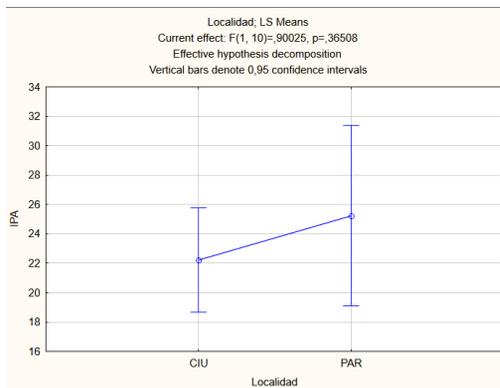
Aunque la media aritmética para el Valor de Diversidad Liquénica (VDL) en la Ciudad Universitaria es distinta a la de El Pardo (Tabla 3) el análisis de la varianza del VDL determina que no existen diferencias significativas entre ambas localidades (Fig. 2C). Aun así, la abundancia de especies, parámetro relacionado directamente con la riqueza medida mediante el VDL varía entre las localidades. Existe una

frecuencia mayor de aparición de líquenes en el área control que en la Ciudad Universitaria. Mientras que los valores permanecen constantes en El Pardo, hay una gran variación de los mismos en el Campus de la Ciudad Universitaria, encontrándose valores altos de cobertura en las parcelas menos transitadas y con un mayor efecto dosel, que incrementa la humedad, lo que ha permitido una colonización mayor incluso por encima de los niveles medios del área control. Ésta variación en la cobertura pero no en la riqueza muestra en parte la toxitolerancia y resistencia de gran parte de las especies encontradas a los contaminantes.

Tabla 2. Frecuencia de especies en los inventarios liquénicos.
 CIU: parcelas de la Ciudad Universitaria, PAR: parcelas de El Pardo.

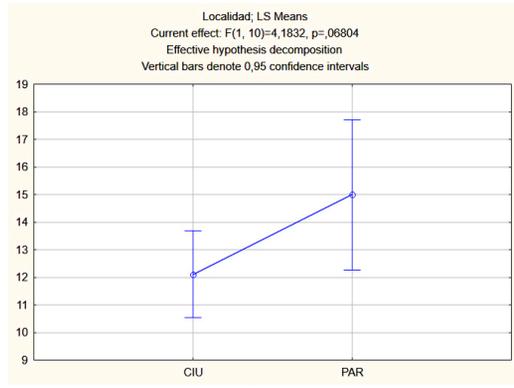
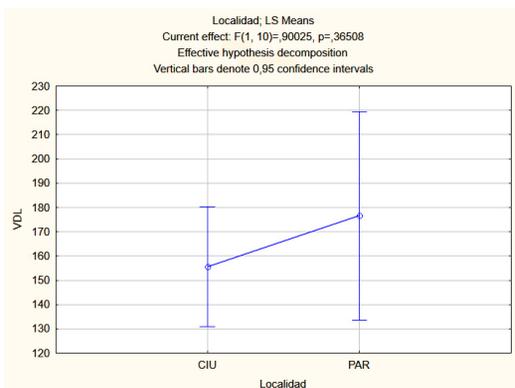
Especies	CIU1	CIU2	CIU3	CIU4	CIU5	CIU6	CIU7	CIU8	CIU9	PAR1	PAR2	PAR3
<i>Amandinea punctata</i>	20	8	39	20	17	15	4	8	37	18	9	5
<i>Blastenia crenularia</i>				6				1		1	3	3
<i>Calicium glaucellum</i>												1
<i>Candelaria concolor</i>	59	46	70	50	67	53	51	53	58	52	19	11
<i>Carbonea myrmecina</i>	49	18		8	16	28	41	14	5	4	4	3
<i>Evernia prunastri</i>	14	9		7	13	9	6	4	3	34	57	38
<i>Flavoparmelia caperata</i>	1									1	1	
<i>Flavoparmelia soredians</i>	2	3	7	3	14	5	2	2	4	2	1	3
<i>Hypogymnia tubulosa</i>					1							1
<i>Lecanora pulicaris</i>				12			1			1		
<i>Lecanora filamentosa</i>		3		13	4	6	10	1		7	22	16
<i>Lecanora varia</i>		4	4	13	2	2	17	5		7		2
<i>Lecidella elaeochroma</i>				15								
<i>Lepraria incana</i>	1	1	1			1			1	1	1	
<i>Melanelixia glabra</i>				1						1		
<i>Melanohalea elegantula</i>									1	5	8	3
<i>Melanohalea exasperata</i>											1	
<i>Parmelia sulcata</i>											1	
<i>Parmelina quercina</i>										2		1
<i>Parmelina tiliacea</i>	4	5	6	1	9	18	4	2	9	58	48	69
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>			3	1	1	1	1	3	6			
<i>Physcia aipolia</i>					1							
<i>Physcia adscendens</i>	2		42	23	43	1	12	12	32			
<i>Physcia biziana</i>			2	13								1
<i>Physcia tenella</i>	9	3	18		1				3			
<i>Physconia enteroxantha</i>			8						3			2
<i>Physconia grisea</i>			1	1	3			1			1	
<i>Punctelia subrudecta</i>											1	
<i>Xanthoria parietina</i>			1	2								

Figura 2. Análisis de la varianza para variables: IPA, pH, VDL (Valor de Diversidad Liquéncia), S (Riqueza), H (Diversidad de Shannon) y J (Equitatividad de Pielou).



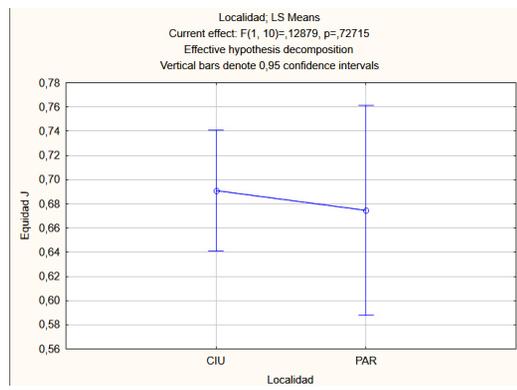
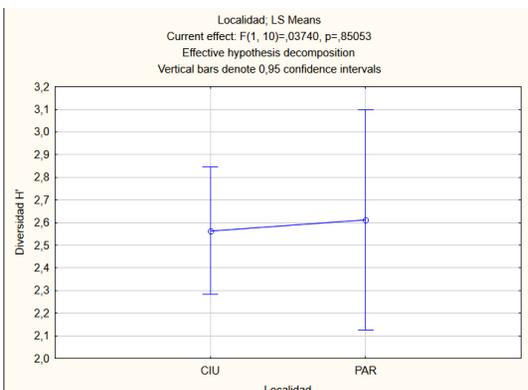
IPA	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	193,8128	1	193,8128	3267,120	0,000000
Localidad	0,6917	1	0,6917	11,660	0,006607
Error	0,5932	10	0,0593		

pH	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	5068,084	1	5068,084	222,9451	0,000000
Localidad	20,465	1	20,465	0,9002	0,365081
Error	227,324	10	22,732		



VDL	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	248336,1	1	248336,1	222,9451	0,000000
Localidad	1002,8	1	1002,8	0,9002	0,365081
Error	11138,9	10	1113,9		

S	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1653,778	1	1653,778	368,4158	0,000000
Localidad	18,778	1	18,778	4,1832	0,068044
Error	44,889	10	4,489		



H	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	60,28155	1	60,28155	422,7180	0,000000
Localidad	0,00533	1	0,00533	0,0374	0,850531
Error	1,42605	10	0,14260		

J	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	4,196408	1	4,196408	923,7292	0,000000
Localidad	0,000585	1	0,000585	0,1288	0,727154
Error	0,45429	10	0,004543		

Tabla 3. Resultados Índice de Pureza Atmosférica (IPA), Valores de Densidad Liquéncia (VDL), Riqueza (S), Diversidad (H) y Equitatividad (J). CIU: parcelas de la Ciudad Universitaria, PAR: parcelas de El Pardo.

Nº parcela	IPA	VDL	S	H	J
CIU1	23,00	161	10,00	1,85	0,53
CIU2	14,29	100	10,00	2,27	0,66
CIU3	28,71	201	11,00	2,62	0,71
CIU4	26,86	188	17,00	3,39	0,81
CIU5	27,71	194	15,00	2,86	0,72
CIU6	19,86	139	11,00	2,59	0,72
CIU7	21,29	149	11,00	2,60	0,73
CIU8	15,14	106	12,00	2,46	0,67
CIU9	23,14	162	12,00	2,43	0,68
Media	22,22	155,56	12,11	2,56	0,69
PAR1	27,71	194	15,00	2,64	0,69
PAR2	25,29	177	15,00	2,70	0,67
PAR3	22,71	159	15,00	2,50	0,66
Media	25,24	176,67	15,00	2,61	0,67

Los valores de la Riqueza (S) nos muestran que en El Pardo hay unos valores constantes mientras que en la Ciudad Universitaria está repartido heterogéneamente, éste parámetro, relacionado directamente con los valores de IPA, corrobora los acentuados efectos del tránsito y el efecto dosel en la Ciudad Universitaria, creando diferentes ambientes dentro de la misma localidad, es especialmente el efecto dosel el que permite el asentamiento de ciertas especies, generalmente foliáceas, de carácter más térmico, y de algunas basófilas. Las parcelas de El Pardo, aunque de mejor estado de conservación, no se encuentran en un estado óptimo (por tratarse de áreas de control suburbanas). Si establecemos estos efectos como similares en ambas parcelas, es posible afirmar que la contaminación no está causando una disminución de especies en la Ciudad Universitaria (Tabla 3).

El Índice de Diversidad de Shannon (H) nos indica una distribución de la diversidad más heterogénea en El Pardo, con valores más altos que en la Ciudad Universitaria, donde es posible encontrar numerosas parcelas con menor estado de conservación, escasa diversidad y valores bajos de la misma (Tabla 3). El valor de la Equitatividad de Pielou (J) nos muestra que la zona de la Ciudad Universitaria es más homogénea en cuanto a la composición de especies se refiere, exceptuando aquellas parcelas en las que la riqueza es especialmente escasa, donde al estar sobrerrepresentadas las especies más toxitolerantes, disminuyen los valores de equitatividad, no indicando esto un buen estado de conservación. Mientras que en El Pardo, presentando valores de riqueza uniformes, posee menor equitatividad entre sus especies, indicando un mayor número de especies raras o singulares y desigualdad de abundancias entre las mismas, valores más cercanos a los encontrados

en un ecosistema poco perturbado (Tabla 3). El análisis de la varianza para los valores de Riqueza (S) determina que no existen diferencias significativas. De igual manera, tampoco presentan diferencias significativas los valores de Diversidad (H) y Equidad (J) (Fig. 2D, E, F).

Los resultados del IPA (Tabla 3) dan un valor más elevado en El Pardo que en la Ciudad Universitaria. El análisis de la varianza para los valores de IPA determina que no existen diferencias significativas (Fig. 2A).

En el análisis multivariante de las parcelas estudiadas realizado en relación a su composición florística (Fig. 3) destacan dos clados, que ponen de manifiesto la gran diferencia que existe entre las dos localidades a pesar de presentar unos valores ecológicos y de pureza atmosférica muy similares. Existen, además, corroborando la heterogeneidad comentada, dos subgrupos dentro de la Ciudad Universitaria uno formado por las parcelas CIU5, CIU9 y CIU3 con una frecuencia alta de *Physcia* y *Phaeophyscia* y baja de *Lecanora*, estas parcelas presentan un estado ecológico mejor, y además el efecto dosel era más acusado (más sombrías y húmedas), lo que explica las bajas frecuencias de especies del género *Lecanora*, fotófilas, así como una mayor presencia de foliáceos como *Flavoparmelia soredians* (especie muy térmica, favorecida por la retención de humedad y de la radiación infrarroja bajo la cubierta vegetal) e incluso de *Hypogymnia tubulosa*. Estas parcelas presentan además los valores de pH más elevados (sin haber incluido esta variable en el análisis). Lo que indica la influencia del mismo en el asentamiento tanto de *Physcia* como de *Phaeophyscia*, y el grado de eutrofización de dichas parcelas, a pesar de no ser las más transitadas. Sus valores de IPA, son más altos gracias a la humedad y entrada de líquenes nitrófilos.

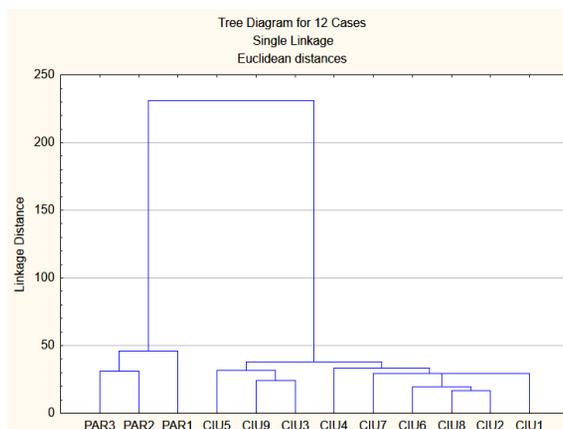


Figura 3. Dendrograma del análisis multivariante con distancia euclídea para las parcelas en relación a su composición florística.

El segundo grupo está formado por las parcelas CIU4, CIU7, CIU6, CIU8, CIU2 y CIU1, que presentan mayores valores de especies pioneras del género *Lecanora*, por ser las parcelas más xéricas y con menos presencia de *Physcia* y *Phaeophyscia*, además de valores más bajos en *Candelaria concolor*; esto muestra que poseen menor nivel de eutrofización, particularmente, también presentan altos valores de *Carbonicola myrmecina*, probablemente por su acidofilia. Podríamos, por tanto, deducir que el efecto dosel favorece la presencia de líquenes, de cortezas eutrofas y básicas, probablemente por la protección de la precipitación directa, evitando el lixiviado de cortezas y su efecto acidificador, manteniendo a su vez la humedad en el ambiente. El efecto bosque es mucho más relevante en la eutrofización de cortezas que el propio paso humano, y por ende el origen de la misma reside más en las deposiciones contaminantes que los efectos de tránsito. Las parcelas más xéricas presentan menores coberturas (reflejadas como un IPA menor) y valores más ácidos de cortezas al estar a la vez más expuestas al lixiviado directo de la precipitación.

La mayoría de las especies en ambas localidades presentan biotipo foliáceo, posteriormente, crustáceo y por último escuamuloso y fruticulado (Tabla 4). Se ha considerado funcionalmente a *Hypogymnia tubulosa* como una especie fruticulosa al madurar por su fisonomía. Se observa que no existe una variación significativa en cuanto al número de especies de cada biotipo, sin embargo, analizando la frecuencia o abundancia de los mismos sí que la hay. En el área control predominan especies crustáceas y foliáceas, esto indica el carácter xérico de esta comunidad. En menor medida aunque similar se encuentran talos escuamulosos y fruticulosos, es decir, todas las formas están bien representadas. En la Ciudad Universitaria más del 50% de la cobertura se debe a líquenes escuamulosos que indican un comportamiento de tipo invasor u oportunista, los talos crustáceos y foliáceos tienen una proporción similar aunque menor que en el área control, los fruticulosos están muy poco representados. La contaminación modula las frecuencias de biotipos teniendo en cuenta su resistencia a la misma, siendo generalmente los fruticulosos los más sensibles, posteriormente los foliáceos y por último los crustáceos, que constituyen el biotipo más resistente (Hawsworth & Rose 1970).

Tabla 4. Número de especies atendiendo a sus biotipos. CIU: parcelas de la Ciudad Universitaria, PAR: parcelas de El Pardo.

Biotipo	CIU	PAR
	nº especies	nº especies
crustáceos	6	7
escuamulosos	2	2
foliáceos	14	12
fruticulosos	2	2

En una sucesión normal las comunidades líquénicas pioneras en la colonización de cortezas ácidas pueden ser englobadas dentro de la as. *Lecanorion variaie*, posteriormente, una vez maduro el ecosistema, la comunidad va avanzando hasta un estado clímax con especies foliáceas y fruticulosas más propias del *Pseudevernia furfuraceae* (Barkman 1958). Muchas de las especies de estas comunidades han sido encontradas en la zona de la Casa de Campo (Crespo & Bueno 1982) y de la Ciudad Universitaria (Crespo et al. 1977). En éste último estudio, se acusan efectos de contaminación ácida de SO₂ sobre el Campus de la Ciudad Universitaria, procedentes de la industria del sur de Madrid. Esta contaminación acidifica las cortezas de los árboles, haciendo que las comunidades propias de gimnospermas y cortezas ácidas, colonicen también planifolios de cortezas neutras o eutrofas. La contaminación ácida por SO₂ ha sido uno de los tipos de contaminación más importantes y con más efectos sobre la flora líquénica a lo largo de todo el siglo XX (Hawsworth & Rose 1970, Nimis 1991). Actualmente, gracias a los avances industriales, al traslado de las mismas a la periferia, en Europa éste contaminante ya no es el principal responsable de la polución, lo que queda constatado con este estudio.

El factor de la eutrofización, ha modificado drásticamente el dinamismo de las comunidades líquénicas de la Ciudad Universitaria. Especies como *Melanohalea exasperata*, *Punctelia subrudecta*, *Parmelia sulcata* o *Parmelina quercina* están ausentes, éstas dos últimas además, son especies con cierta toxisensibilidad que indican un empobrecimiento en la calidad del aire. *Flavoparmelia soredians* y *F. caperata* indican la ausencia de contaminación ácida y parecen ser las especies foliáceas más resistentes. *Melanohalea elegantula* y *Melanelixia glabra* son las parmeliáceas pardas más toxitolerantes, pero se observa un descenso de la población, especialmente en el de *Melanohalea*

elegantula, de manera similar ocurre con *Calicium glaucellum* que está ausente. Con esto queda patente la desaparición de las especies menos nitrotolerantes y más acidófilas, que sin embargo se ven sustituidas por nuevas especies como *Physcia aipolia*, *Ph. adscendens*, *Ph. tenella* y *Phaeophyscia orbicularis* que conforman una comunidad nitrofítica característica de las cortezas eutrofizadas, además con preferencia por aquellas cubiertas de polvo, son por tanto especies con un inminente carácter urbano y una toxitolerancia muy grande.

Es necesario resaltar una superficie superior de algas de vida libre sobre los troncos de la Ciudad Universitaria que en El Pardo, que es signo de empobrecimiento en la calidad del aire, puesto que cuando la flora líquénica desaparece y según esta lo hace, éste alga de vida libre toxirresistente cubre los troncos. Ha sorprendido por su presencia en la totalidad de los árboles un hongo del género *Patellaria* sp.

Aunque los efectos de los incendios y el rozamiento son factores muy patentes en la Ciudad Universitaria, enmascarando el posible efecto de los contaminantes del aire, es posible desdeñar sus efectos, atendiendo a aquellas especies que son ligeramente nitro-

tolerantes pero toxisensibles. Es posible afirmar que la calidad del aire de la Ciudad Universitaria es moderada, es decir, aunque aún posee signos de una buena calidad del aire, la basificación de cortezas y eutrofización son signos de contaminación esencialmente por partículas en suspensión, nitrogenadas y óxidos de nitrógeno respectivamente. El NO_x , junto con el O_3 y el nitrato de peroxiacilo (PAN) son los compuestos que más contribuyen al declive de los bosques, especialmente en climas mediterráneos (Barreno & Pérez-Ortega 2003).

Comparando los resultados obtenidos con los datos de acceso público ofrecidos por el Ayuntamiento de Madrid procedentes de la estación de Cuatro Caminos y de El Pardo (Tabla 5) corroboran los posibles efectos del NO_2 sobre los líquenes, siendo el contaminante más abundante medido en la estación de Cuatro Caminos, con valores de más del doble de concentración medidos en el área control de El Pardo. El origen de este contaminante es el tráfico rodado, ya sea emitido directamente por los vehículos diesel o por transformación secundaria en la atmósfera a partir de las emisiones de monóxido de nitrógeno (NO).

Tabla 5. Datos promedio (Enero 2013 a Septiembre 2016) de concentración de contaminantes en el aire en la estación de Cuatro Caminos (Avda. Pablo Iglesias esq. c/ Marqués de Lema, 699 m, 40° 26' 43,95" N 3° 42' 25,66" W) y estación de El Pardo (Avda. de la Guardia, 616 m, 40° 31' 5" N 3° 46' 28,6" W). Mediciones para SO_2 , NO_2 , PM: partículas en suspensión con diámetro aerodinámico de 10 μm , y 2,5 μm , y O_3 . (<http://www.mambiente.munimadrid.es>).

Contaminante	Cuatro Caminos				El Pardo	
	SO_2	NO_2	PM2.5	PM10	NO_2	O_3
Valor medido [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	4,22	39,02	9,84	17,38	15,82	59,11
Valor límite [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	125	40	25	40	40	180

Destacan también los valores de partículas en suspensión que serían responsables de la basificación de las cortezas y eutrofización de las mismas si son de naturaleza nitrogenada. Estas partículas son una mezcla de componentes con naturalezas fisicoquímicas distintas generadas en procesos de combustión urbanos como las calefacciones o emisiones vehiculares. También existen aportes de origen natural. Los valores medios de los contaminantes no superan los valores límites

estipulados para la salud humana por el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. Sin embargo, el NO_2 posee niveles cercanos al límite y se han superado en varias ocasiones a lo largo de los últimos años (Fig. 4), de manera que su efecto, visible en la flora líquénica (los valores de buena calidad de los ecosistemas son inferiores a las concentraciones perjudiciales para la salud) podría resultar perjudicial para la población.

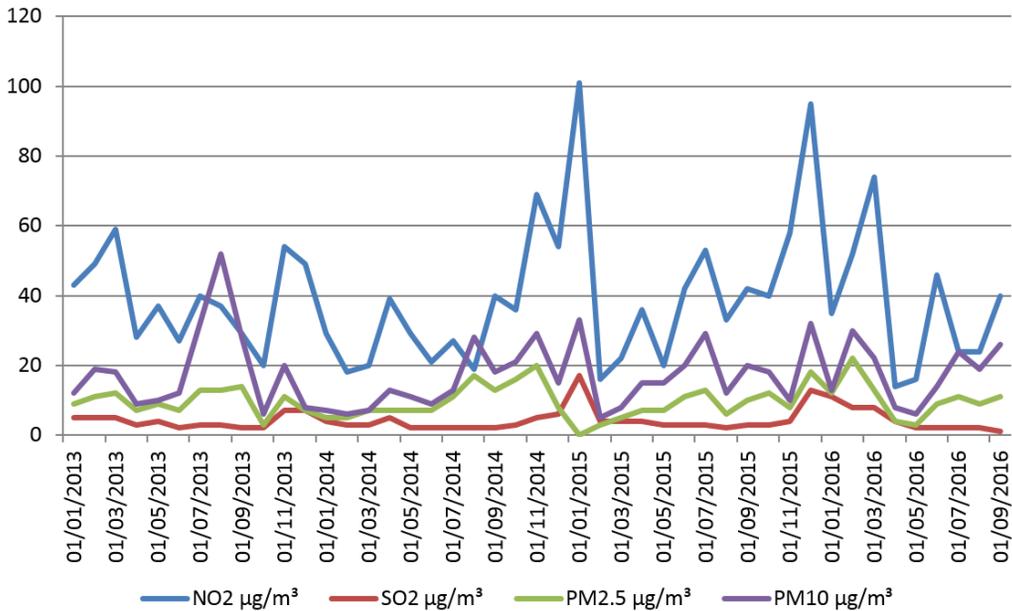


Figura 4. Niveles promedio mensuales (Enero 2013 a Septiembre 2016) de concentración de contaminantes en el aire en la estación de Cuatro Caminos (Avda. Pablo Iglesias esq. c/ Marqués de Lema, 699 m, 40° 26' 43,95" N 3° 42' 25,66" W). Mediciones para SO₂, NO₂, PM: partículas en suspensión con diámetro aerodinámico de 10 µm y de 2,5 µm.

Referencias bibliográficas

- AENOR. 2014. Norma española: calidad del aire. Bioseguimiento con líquenes. Evaluación de la diversidad de líquenes epifíticos. Madrid, España.
- Asta, J., Erhardt, W., Ferretti, M., Fornasier, F., Kirschbaum, U., Nimis, P.L. & Wirth, V. 2002. Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality. *Monitoring with lichens-monitoring lichens: 273-279*. Springer, Netherlands.
- Barkman, J.J. 1958. *Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes*. Van Gorcum, Assen.
- Barreno, E. & Pérez-Ortega, S. 2003. *Los líquenes y el medio*. Consejería del medio ambiente, ordenación del territorio e infraestructuras del Principado de Asturias. KRK ediciones.
- Crespo, A., Manrique, E., Barreno, E. & Serriña, E. 1977. Valoración de la contaminación atmosférica del área urbana de Madrid mediante bioindicadores (líquenes epifitos). *Anales Jard. Bot. Madrid*, 34(1): 71-94.
- Crespo, A. & Bueno, A.G. 1982. Flora y vegetación líquénica de la Casa de Campo de Madrid (España). *Lazaroa* 4: 327-356.
- Darwin, E. 1798. *The Botanic Garden: a poem in two parts*. T. & J. Swords.
- García, R.G.G., Echevarría, J.E. & Casas, I. 1993. Catálogo de la flora vascular de la Ciudad Universitaria de Madrid (España). *Bot. Complut.* 18: 175-202.
- Giordani, P. & Malaspina, P. 2016. Do tree-related factors mediate the response of lichen functional groups to eutrophication? *Plant Biosyst.* 1-11. DOI: 10.1080/11263504.2016.1231141
- Grindon, L.H. 1859. *The Manchester Flora*. William White, London.
- Hawksworth, D.L. & Rose, F. 1970. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature* 227: 145-148.
- Herzig, R. & Urech, M. 1991. Flechten als bioindikatoren. *VDI Ber.* 609: 619-639.
- Kauppi, M. 1976. Fruticose lichen transplant technique for air pollution experiments. *Flora* 165: 407-414.
- Kricke, R. & Loppi, S. 2002. Bioindication: the IAP approach. In: P. L. Nimis, C. Scheidegger & P. Wolseley, *Monitoring with lichens-monitoring lichens: 21-37*. Springer, Netherlands.

- Nimis, P., Lazzarin, G., Gasparo, D. 1991. Lichens as bioindicators of air pollution by SO₂ in the Veneto region (NE Italy). *Studia Geobot.* 11:3-76
- Nimis, P. & Cislighi, C. 1997. Lichens, air pollution and lung cancer. *Nature* 387(6632): 463-464.
- Nylander, M.W. 1866. Les lichens du Jardin du Luxembourg. *Bull. Soc. Bot. France* 13(7): 364-371.
- Parzych, A., Astel, A., Zduńczyk, A. & Surowiec, T. 2016. Evaluation of urban environment pollution based on the accumulation of macro-and trace elements in epiphytic lichens. *J. Environ. Sc. Health, part A*, 51(4): 297-308.
- Rivas-Martínez, S. 1982. Mapa de las series de vegetación de la provincia de Madrid. Diputación Provincial, Madrid.
- Ross, L.J., & Nash, T.H. 1983. Effect of ozone on gross photosynthesis of lichens. *Environ. Exp. Bot.* 23(1): 71-77.
- World Health Organization (WHO). 2003. Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide: report on a WHO Working Group. Informe. Bonn, Germany.