

LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PARQUE NATURAL DE LA FONT ROJA (ALICANTE, ESPAÑA)

ESPERANZA CALVO * Y MARÍA JOSÉ SANZ *

RESUMEN

Uno de los espacios naturales protegidos más singulares de la Comunidad Valenciana es el Parque Natural del Carrascal de la Font roja. Dada la proximidad de la ciudad de Alcoi a este enclave y la importante flora líquénica en él existente, se ha realizado un estudio cuyo objetivo es evaluar la calidad del aire en el entorno del Parque Natural, utilizando los líquenes como bioindicadores. Para ello, se han utilizado dos aproximaciones metodológicas que, aunque de índole diferente, se complementan: el Índice de Pureza Atmosférica (IPA), y la cuantificación del contenido en pigmentos en diversas especies de amplia distribución en la zona de estudio. Entre los resultados obtenidos, cabe destacar que los valores de IPA son más bajos en las áreas directamente orientadas al valle en el que se sitúa la ciudad de Alcoi. Así mismo, el contenido en clorofilas de las muestras de algunas especies recogidas en el entorno del Parque Natural, es menor que para el resto de las parcelas fuera del Parque y/o protegidas de la influencia de la ciudad.

Palabras clave: Líquenes, Índice de Pureza Atmosférica, contenido en clorofilas, contaminación atmosférica, bioindicadores.

SUMMARY

One of the most singular natural protected area in the Valencian Community is the Font Roja Natural Park in the province of Alicante (Spain). Given its significant epiphytic lichen population and its proximity to the important industrial city of Alcoi, we undertook an evaluation of the air quality around the park, using lichens as bioindicators of air pollution. For this, we utilized two complementary methodologies, the IPA index and the determination of chlorophyll content in the different lichen species present in the study area. Results showed that IPA values are lower in the areas oriented towards the predominant wind direction in the Alcoi valley. Moreover, chlorophyll content values from some species samples collected in the immediate vicinity of the Natural Park are also lower than those found in other sampling sites outside the Park.

Key words: Lichens, IPA index, chlorophyll content, air pollution, bioindicators.

* CEAM. Parque Tecnológico C/ Charles R. Darwin 14. Paterna, Valencia, 46980.

Recibido: 14/03/00.

Aceptado: 31/05/00.

INTRODUCCIÓN

Los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire. Los primeros indicios de la sensibilidad de los líquenes como bioindicadores de calidad ambiental datan de finales del siglo XVIII. Es Nylander (NYLANDER 1866) quien, tras estudiar la flora líquénica del Jardín de Luxemburgo, en París, constata su sensibilidad y propone su utilización como bioindicadores de contaminación atmosférica. En un estudio más exhaustivo en la ciudad de Londres HAWKSWORTH & ROSE (1970) constataron también la desaparición de algunas especies. Posteriormente, son muchos los estudios llevados a cabo y que sugieren que estos organismos son muy sensibles y pueden utilizarse como bioindicadores de la calidad del aire, como queda recogido en varias revisiones (RICHARDSON 1988; FIELDS 1988; NASH & GRIES 1991).

En la Península Ibérica, este tipo de organismos se utilizaron por primera vez cartografiando áreas de isocontaminación en la ciudad de Madrid mediante análisis cuantitativos de las comunidades de líquenes epífitos (CRESPO *et al.* 1977); posteriormente, con técnicas similares, se abordó el establecimiento de una red de valoración atmosférica para las proximidades de la central térmica de Meirama (La Coruña) (CRESPO *et al.* 1981); la ciudad de Sabadell (RODA 1979); la de Avilés (VÁZQUEZ 1981); el parque seminatural de la casa de campo de Madrid (CRESPO & BUENO 1982); la ciudad de Lisboa (BENTO PEREIRA & SERGIO 1983); el núcleo urbano de Vigo (GARCÍA & CARBALLAL 1985); la zona industrial de Ponferrada (TERRÓN & DÍAZ GONZÁLEZ 1985) y el entorno de la central térmica de la Robla en León (TERRÓN & BARRENO 1993).

Antecedentes metodológicos y objetivos. Los estudios florísticos han sido extensamente utilizados en la bioindicación con líquenes por su sencillez, bajo coste, y la posibilidad de ser repetidos con posterioridad. Los métodos de trabajo desarrollados, al utilizar los líquenes como bioindicadores de contaminación, tienden a relacionar la presencia o ausencia de especies, su número, su frecuencia de aparición, su cobertura y los síntomas de daño externos o internos con el grado de pureza de la atmósfera. Desde la formulación de

la existencia de zonas centrífugas de isocontaminación alrededor de los núcleos urbanos (SENANDER 1912), se han desarrollado un número elevado de técnicas y métodos destinados a realizar mapas o delimitar áreas de isocontaminación utilizando líquenes epífitos. Básicamente, pueden reducirse a dos las líneas principales de profundización en esta aproximación: análisis cualitativos (presencia/ausencia de especies) (p.e. HAWKSWORTH & ROSE 1970) y análisis cuantitativos (fitosociológicos e índices de diversidad, estudio de las comunidades) (p.e. AMMAN *et al.* 1987). La desaparición de las especies está condicionada por su sensibilidad a los diferentes contaminantes, sensibilidad que ha sido constatada a corto plazo antes de la desaparición de las especies, tal es el caso de la reducción de las tasas fotosintéticas (SANZ *et al.* 1992; GRIES *et al.* 1995), disminución de los pigmentos fotosintéticos (RONEN & GALUN 1984; MANRIQUE *et al.* 1989; VON ARB *et al.* 1990; SANZ *et al.* 1992; BARNES 1992; GARTY *et al.* 1988), alteración de los parámetros relacionados con la fluorescencia temprana (GRIES *et al.* 1995; CALATAYUD *et al.* 1996). A más largo plazo, también se puede observar cambios morfológicos, tal es el caso de las deformaciones del talo de *Hypogymnia enteromorpha* (Ach.) Nyl. observadas en California donde la contaminación por fotooxidantes es muy elevada (SIGAL & NASH 1983). Así pues, se puede considerar que la desaparición de las especies más sensibles es el resultado final de la acumulación de todos estos efectos y otros. Por tanto, la evaluación de los cambios en la diversidad de las comunidades, o en la distribución de las especies, es la respuesta última a los cambios ambientales. No es pues la más específica porque puede responder a diversos contaminantes, pero puede ilustrar sobre cual es la calidad del aire, en general, en áreas relativamente extensas donde una o varias comunidades líquénicas estén presentes. Algunos autores presentan sus resultados sobre la base de mapas de distribución de determinados táxones, considerados por ellos como mejores bioindicadores; p.e. *Lecanora comizaeoides* Nyl. es, debido a su alto grado de resistencia, el taxon del que se han realizado un mayor número de estudios de distribución (AHTI 1965; BAYLEY 1968). También son de interés las comparaciones entre la flora líquénica

actual y la existente hace décadas, realizadas a partir de revisiones de herbarios (SEAWARD 1980), así mismo es interesante confeccionar la lista de especies con vistas a futuras comprobaciones en años venideros. En este sentido en algunos trabajos se documenta la recolonización por parte de especies desaparecidas con anterioridad cuando la calidad del aire mejora en la zona (ROSE & HAWKSWORTH 1981, HAWKSWORTH & MCMANUS 1989). Es importante destacar que en el caso de áreas muy heterogéneas, donde pueden existir grandes diferencias en los hábitats que deriven en diferentes comunidades líquenicas, los seguimientos temporales en los cambios de distribución y/o diversidad de las especies son más adecuados que el establecimiento de áreas de isocontaminación.

Estudios previos de la flora líquénica del Parque Natural de la Font Roja indican que podía estar siendo afectada por la contaminación atmosférica (BARRENO *et al.* 1989), además el Parque Natural es un ecosistema que por su ubicación en la cabecera de un valle abierto al mar, donde se encuentran las ciudades de Gandía en la costa y Alcoi en la cabecera (ciudad tradicionalmente industrial), puede verse afectado por la contaminación atmosférica. El objetivo de este trabajo es estudiar si la contaminación puede estar afectando la flora líquénica epífita del Parque Natural de la Font Roja en Alicante. En 1991, se decidió establecer una red de puntos de muestreo en el Parque y sus alrededores, la red se dispuso en función de la topografía y el conocimiento que se tenía de las circulaciones de las masas de aire en la zona, teniendo en cuenta que el fenómeno más común en un valle de este tipo es el desarrollo de brisas de mar y/o de valle y de dónde podían proceder las masas de aire más contaminadas. Así mismo se determinan los contenidos en clorofilas de algunas especies de macrolíquenes de mayor distribución como indicador del estado fisiológico en el momento de los muestreos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de Estudio

El área de estudio la constituye el Parque Natural de la Font Roja y su entorno (Alicante) (figura

1). Topográficamente se sitúa en un valle irregular y ramificado drenado por los ríos Serpis, Barxell y Molinar. La presencia de estos cursos fluviales justifica el emplazamiento de la ciudad de Alcoi y como consecuencia la existencia desde hace siglos de una marcada actividad industrial en toda la comarca y especialmente en el entorno de la ciudad. El clima de la zona es mediterráneo, siendo el valle del Serpis más húmedo (PANAREDA & NUET 1979), por canalizar la entrada de los vientos húmedos del NE responsables de las mayores precipitaciones en esta zona.

Desde el punto de vista bioclimático, las estaciones meteorológicas más próximas al carrascal se encuadran en el piso mesomediterráneo con ombroclima desde subhúmedo a húmedo (RIVAS-MARTÍNEZ 1983). En el área de estudio merece especial atención «El Carrascal» de la Font Roja que se enclava en la Sierra del Menetjador junto a la ciudad de Alcoi, y constituye uno de los ecosistemas más relevantes y valiosos de la Comunidad Valenciana, por lo que fue declarado Parque Natural en 1987.

La red de parcelas de muestreo se instaló en 1991 y cuenta con 10 parcelas dentro de los límites del Parque Natural y 6 fuera del Parque, en la comarca de Alcoi (tabla 1), más alejadas de la zona urbana e industrial o a sotavento de la Sierra del Menetjador, y que sirven como emplazamientos para contrastar los resultados obtenidos dentro del entorno del Parque.

Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

Para la confección del los IPA (NIMIS *et al.* 1990) sólo se han considerado los líquenes epífitos sobre los troncos de las especies de árboles más comunes en el área de estudio: *Pinus halepensis* Miller, *Quercus rotundifolia* Lam. y *Quercus faginea* Lam.

Los inventarios se realizaron en 5 árboles escogidos al azar en cada una de las localidades descritas en la tabla 1 durante 1992 (excluyéndose árboles con troncos inclinados y/o diámetros inferiores a 20 cm). Sobre cada uno de los troncos seleccionados se superpuso una retícula de 30 x 50 cm subdividida en 10 cuadrados iguales. A cada una de

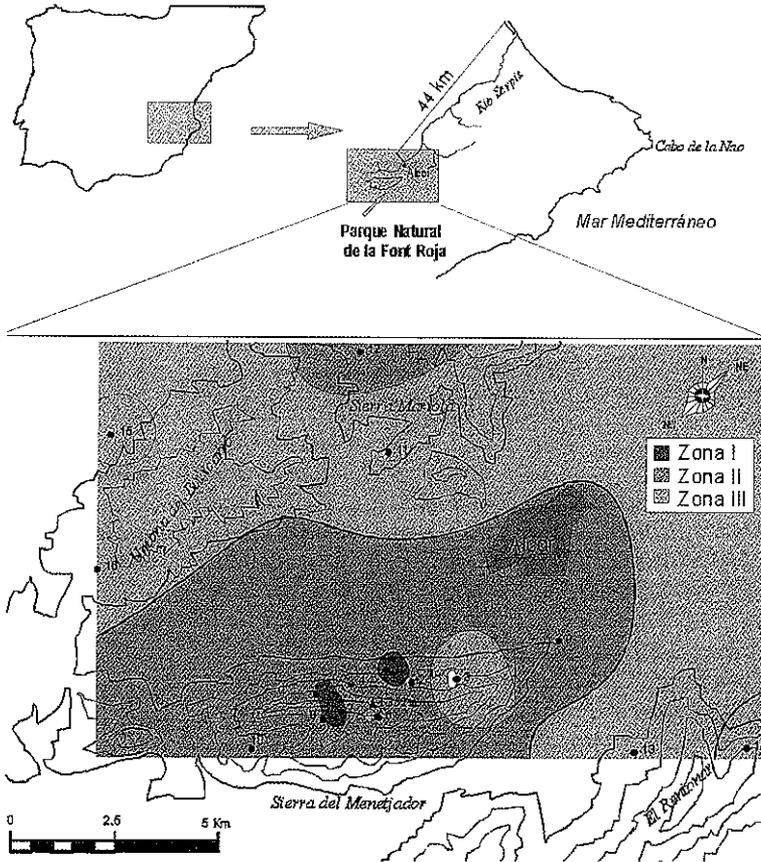


Fig. 1. Mapa de situación del área de estudio y de los puntos de muestreo, mapa topográfico de la comarca de Alcoi con cotas de nivel desde 900 hasta 1300 m en incrementos de 100 m. El área sombreada es el resultado del mapa de isoáreas de contaminación realizado automáticamente (Surfer, golden Software) con los valores de IPA de las parcelas estudiadas (Zona I: área con baja calidad de aire; Zona II: área con calidad de aire intermedia; Zona III: área con alta calidad de aire). [(Studied area and sampling plots. the shaded area is the result of the isopollution zone map automatically obtained with IPA values from the sampling sites (zone I: low quality air; zone II: medium quality air; zone III: high quality air).]

las especies se le asignó un valor en función del número de subdivisiones de la gradilla en las que se encontraba presente, este valor representa la frecuencia de dicha especie en el inventario. El IPA del árbol se calcula como el sumatorio de las frecuencias de todas las especies presentes en el inventario (NIMIS *et al.* 1990). El IPA de cada parcela corresponde al promedio de los IPA de los 5 árboles en los que se ha realizado el inventario. A partir de los valores de IPA obtenidos para cada uno de los puntos de muestreo se realizaron representaciones espaciales de los valores de IPA

sobre la topografía, en las que se observan áreas con la misma pureza atmosférica, trazando isolíneas que delimitan tres zonas de isocontaminación (McCUNE 1988; DIAMANTOPOULUS *et al.* 1992; NIMIS *et al.* 1990, 1991). Los mapas de IPA se confeccionaron con ayuda del programa SURFER (Golden Software), utilizando como algoritmo para la interpolación la inversa del cuadrado de la distancia entre los puntos. En la representación de las áreas de isocontaminación se ha optado por incluir todos los forófitos (*Quercus* y *Pinus*), de este modo se consigue una mayor

TABLA 1
RED DE PARCELAS DE ESTUDIO.
[STUDIED SITES]

N.º	Nombre	Forófito	Altitud (m)	Orientación	UTM X	UTM Y
Localidades dentro del Parque Natural (FR)						
1	Carrascal de la Teixera	<i>Quercus rotundifolia</i>	1020	NE	715	4282
2	Mas del Baró	<i>Quercus rotundifolia</i>	1100	N	715	4282
3	Mas del Baró	<i>Quercus rotundifolia</i>	1100	S	715	4282
4	Pla dels Gal·lers	<i>Quercus rotundifolia</i>	1190	N	714	4282
5	Cava coioma	<i>Quercus rotundifolia</i>	1290	NW	713	4282
6	Menerjador	<i>Quercus rotundifolia</i>	1352	S	714	4282
7	Cingleras del Baró	<i>Quercus faginea</i>	1300	NE	713	4281
8	Cingleras del Baró	<i>Quercus rotundifolia</i>	1300	NE	713	4281
9	Pinar de Sant Antoni	<i>Pinus halepensis</i>	930	N	718	4282
10	Casa Foaiaderetes	<i>Quercus rotundifolia</i>	900	NE	713	4281
Localidades dentro de la comarca de Alcoi (A)						
11	Pla Giner	<i>Pinus halepensis</i>	820	S	714	4288
12	Font de Mariola	<i>Pinus halepensis</i>	900	S	714	4291
13	La Sarga	<i>Quercus rotundifolia</i>	840	N	721	4280
14	El Rentonar	<i>Quercus rotundifolia</i>	1010	NNE	725	4280
15.1	Casa Guilella	<i>Quercus rotundifolia</i>	900	E	707	4289
15.2	Casa Guilella	<i>Pinus halepensis</i>	900	E	707	4289
16	Casa Buixcarró	<i>Quercus rotundifolia</i>	900	S	707	4286

El forófito es la especie forestal sobre la que se desarrollan los líquenes epífitos y sobre ellos se realizaron los inventarios para confeccionar el índice de pureza atmosférica. en las mismas parcelas se tomaron las muestras para los análisis en el laboratorio.

[Tree species on which lichen species grew are given. on each site we collected the samples for chlorophyll analysis and have performed the ipa index.]

densidad de puntos de muestreo en toda el área de estudio. Para ello se estandarizaron los valores de IPA de cada una de las parcelas al valor de IPA más alto obtenido en la zona para cada uno de los forófitos.

Determinación del contenido en clorofilas

En las parcelas descritas en la Tabla 1, durante 1992, se recolectaron fragmentos de talos (n=4) de algunas de las especies de líquenes de distribución más amplia (la lista de especies se enumera en la tabla 4). Las muestras se secaron al aire por espacio de 48 h, pesándose posteriormente 12 mg que se introdujeron en tubos cerrados y se congelaron en oscuridad a -20 °C. Las clorofilas se analizaron procediendo a la extracción con 3 mL de dimetilsulfóxido e incubando en oscuridad en un baño a 40 °C durante 45 minutos. La absorbancia de los extractos se determinó para las longitudes de onda correspondientes a los máximos

de la clorofila *a* y de la clorofila *b*, en un espectrofotómetro CARY IV (Variant). La determinación de las concentraciones se hizo aplicando las ecuaciones propuestas por SANZ (1991), expresándose en µg/mg de peso seco al aire de líquen.

Tratamiento estadístico

Para comparar los valores de clorofilas de las muestras procedentes de las diferentes áreas de isocontaminación definidas, se ha realizado un Análisis de la varianza de una vía (ANOVA) y se ha aplicado el test de la mínima diferencia significativa (LSD p<0.05).

RESULTADOS

Índice de Pureza Atmosférica

Como paso previo a la realización de los inventarios se confeccionó una lista de especies de líquenes epífitos presentes en todas las parcelas, basa-

TABLE 2
CATÁLOGO DE ESPECIES DE LÍQUENES EPÍFITOS PRESENTES EN LAS LOCALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO.
[EPIPHYTIC LICHEN SPECIES PRESENT IN THE SAMPLING PLOTS]

Especie	Localidades del Parque Natural									Resto de la Comarca						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Anaptychia ciliaris</i> (L.) Koerb.	+	+	+	+	+	+	+	+		+					+	+
<i>Arthonia</i> sp							+									
<i>Caloplaca cerina</i> (Ehrht.) Th. Fr.	+	+	+		+	+		+		+	+	+	+	+	+	+
<i>Caloplaca cerinella</i> (Nyl.) Flag.										+						
<i>Caloplaca ferruginea</i> (Huds.) Th. Fr.				+							+					
<i>Caloplaca flavorubescens</i> (Huds.) Laundon	+		+		+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+
<i>Caloplaca haematites</i> (Chaub.) Zwachk.											+		+			
<i>Caloplaca holocarpa</i> (Hoffm.) Wade	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Caloplaca ulcerosa</i> Coppins & P. James		+											+	+	+	+
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Stein		+			+											
<i>Candelariella vitellina</i> (Hoffm.) Müll. Arg.						+		+	+	+		+	+			+
<i>Catillaria chalybeia</i> (Borrer) A. Massal.												+	+			+
<i>Collema tenax</i> (Sw.) Ach.	+	+					+									
<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.	+		+						+			+	+		+	+
<i>Hiperphyscia adglutinata</i> (Flöerke) H. Mayrhofer & Poelt	+	+	+			+			+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Hypogymnia tubulosa</i> (Schaer.) Hav												+	+			
<i>Lecanora carpinea</i> (L.) Vain.	+	+	+		+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+
<i>Lecanora clavotera</i> Nyl.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Lecanora leptyrodes</i> (Nyl.) Degel.																+
<i>Lecanora pulicaris</i> (Pers.) Ach.	+		+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+
<i>Lecanora sienae</i> B. de Lesd.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Lecanora</i> sp														+		
<i>Lecanora strobilina</i> (Spreng.) Kieff.		+				+			+			+		+		+
<i>Lecidella/Buellia</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Leptogium</i> sp.	+															+
<i>Micarea peliocarpa</i> (Anzi) Coppins & r. Sant.	+								+	+						+
<i>Parmelia acetabulum</i> (Neck.) Duby	+		+	+		+	+	+								+
<i>Parmelia caperata</i> (L.) Ach.																+
<i>Parmelia exasperata</i> De Not.			+													
<i>Parmelia glabra</i> (Schaerer) Nyl.			+			+										
<i>Parmelia quercina</i> (Willd.) Vain.		+	+	+	+	+		+				+				
<i>Parmelia subaurifera</i> Nyl.	+	+	+		+	+	+	+	+			+	+	+	+	+
<i>Parmelia sulcata</i> Taylor								+	+			+				+
<i>Parmelia tiliacea</i> (Hoffm.) Ach.		+					+					+				
<i>Parmotrema chinense</i> (Osbeck) Hale & Ahti	+															
<i>Pertusaria albescens</i> (Huds.) M. Choisy & Werner								+							+	
<i>Pertusaria amara</i> (Ach.) Nyl.	+			+		+										
<i>Pertusaria hemisphaerica</i> (Flöerke) Erichsen							+									
<i>Phaeophyscia hirsuta</i> (Mereschk.) Essl.		+	+							+				+		
<i>Phaeophyscia insignis</i> (Mereschk.) Moberg						+				+						
<i>Phaeophyscia orbicularis</i> (Necker) Moberg	+	+	+		+	+		+	+	+		+	+	+	+	+
<i>Physcia adscendens</i> (Fr.) H. Olivier	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Physcia aspolia</i> (Ehrh.) Fűrnr	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Physcia biziana</i> (Massal.) Zahlbr.					+	+										
<i>Physcia semipinnata</i> (J. F. Gmelin) Moberg	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+
<i>Physcia stellaris</i> (L.) Nyl.		+			+					+			+			
<i>Physcia tenella</i> (Scop.) DC.									+	+		+	+	+		+
<i>Physconia distorta</i> (With.) J. R. Laundon	+	+		+	+	+	+	+		+						
<i>Physconia enterobanta</i> (Nyl.) Poelt						+								+		
<i>Physconia grisea</i> (Lam.) Poelt	+	+				+	+	+								
<i>Physconia perisidiosa</i> (Erichsen) Moberg	+	+				+	+	+		+						+

TABLA 2 (Continuación)

CATÁLOGO DE ESPECIES DE LÍQUENES EPÍFITOS PRESENTES EN LAS LOCALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO.
[EPIPHYTIC LICHEN SPECIES PRESENT IN THE SAMPLING PLOTS]

Especie	Localidades del Parque Natural										Resto de la Comarca					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Physcomia venusta</i> (Ach.) Poelt						+	+									
<i>Pleurococcus</i> sp																
<i>Pseudovernia furfuracea</i> (L.) Zopf										+						+
<i>Ramalina canariensis</i> Steiner			+													+
<i>Ramalina farinacea</i> (L.) Ach.	+	+	+	+		+		+	+			+	+	+	+	+
<i>Ramalina fastigiata</i> (Pers.) Ach.	+	+	+		+			+			+		+		+	
<i>Ramalina fraxinea</i> (L.) Ach.	+	+	+			+							+		+	
<i>Rinodina exigua</i> (Ach.) Gray		+		+	+	+	+			+				+	+	+
<i>Rinodina pyrina</i> (Ach.) Arnold	+							+								
<i>Scoliosporum umbrinum</i> (Ach.) Arnold		+						+	+	+						
<i>Teloschistes chrysophthalmus</i> (L.) Th. Fr.										+		+				
<i>Tephromela atra</i> (Hudson) Haf.		+		+	+		+						+			
<i>Thventepolia</i>	+	+		+	+	+	+	+	+		+					+
<i>Usnea glabrescens</i> (Nyl.) Vain.																
<i>Xantboria parietina</i> (L.) Th. Fr.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Número de especies	31	32	26	19	23	33	26	28	25	24	14	20	28	25	28	26

da en el catálogo ya existente para el Parque Natural (BARRENO *et al.* 1989), incluyendo las parcelas no pertenecientes al parque. En la tabla 2 se recoge el catálogo de epífitos (66 especies), en el que aparecen todas las localidades muestreadas con sus correspondientes especies, nombradas siguiendo el mismo criterio taxonómico de la obra «The lichens of Italy» (NIMIS 1993). Como especies singulares y/o aportaciones nuevas a la flora de la Font Roja, encontradas durante el estudio, cabe destacar: *Caloplaca ulcerosa*, *Lecanora pulicaris*, *Mycobilimbia sabuletorum* desarrollada sobre musgos en las localidades más umbrías de la sierra del Menetjador (Loc: 4), *Opegrapha rufescens* herborizada sobre corteza de tejo en las localidades 2 y 3; *Pachyphiale arbuti* recolectada en troncos de carrasca de la localidad 15 y *Phaeophyscia chloantha* recolectada junto con talos de *Phaeophyscia orbicularis*. En la tabla 3, se recogen los valores medios del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) para cada una de las parcelas. Cuando se promedian los valores de los carrascales del Parque por un lado y el resto de carrascales por el otro; se observa que, en las parcelas del Parque aparecen un mayor número de especies en conjunto pero el valor medio de IPA es significativamente menor al obtenido en las parcelas establecidas fuera de los límites del parque (tabla 3).

Ello se debe a que hay dos localidades, la 10 y la 4, en las que el número de especies es mucho menor que en las del resto de las parcelas del Parque.

En la representación espacial de los valores de IPA (figura 1), tras aplicar la corrección mencionada en el apartado de material y métodos, se aprecian tres áreas diferentes: la zona I coincide con un conjunto de pequeñas áreas localizadas en el parque natural con los valores más bajos de IPA (loc 1, 5, 7); la zona II incluye la ciudad de Alcoi, la mayor parte del Parque Natural, una zona al norte en la sierra Mariola y el fondo del valle del río Serpis, con valores de IPA algo más altos; finalmente, el área III es más extensa que la anterior y ocupa la franja norte del término municipal, la umbría del Buixcarró y el SE, en las laderas de las sierras del Rentonar y de Els Plans, con los valores más altos de IPA. Además, el área III incluye un conjunto de localidades en las cumbres de las sierras o en situaciones topográficas especialmente protegidas con respecto a los vientos canalizados por el valle del Serpis.

Contenido en clorofilas

Con el objeto de comparar el estado del Parque con el resto de la comarca de Alcoi, las

TABLA 3
VALORES MEDIOS DEL ÍNDICE DE PUREZA
ATMOSFÉRICA (UNIDADES ARBITRARIAS).
[MEAN OF IPA INDICES (NON-DIMENSIONAL)]

	Zona	Loc	n.º sp	IPA
Parque Natural (FR)	I	1	31	58.80
	II	2	32	64.20
	III	3	25	83.00
	II	4	19	66.60
	I	5	23	62.40
	III	6	33	74.00
	I	7	26	53.80
	III	8	28	74.00
	II	9	25	39.40
	II	10	14	48.40
Resto de la comarca (A)	III	11	14	45.2
	II	12	20	38.2
	III	13	28	74.40
	III	14	25	83.75
	III	15.1	28	77.40
	III	15.2	17	48.2
	III	16	25	70.40
	Resto (A)	Parque Natural (FR)		
n.º sp	26.60	25.66		
IPA	76.49	65.02	* p<0.05	

En la parte inferior de la tabla figuran los valores medios (n>30) de todos los inventarios realizados sobre encinas en las parcelas del área de estudio apareciendo diferencias significativas entre ambos. (t-student p<0.05).

[At the bottom of the table, we can see the mean of all the ipa indices realised on oak trees inside the natural park (n>30) and the mean of the ipa values from the other sites (t-student p<0.05)]

localidades en las que se han recogido muestras para determinar el contenido en clorofilas, se pueden agrupar en dos: Parque Natural y resto de las localidades. Los contenidos en clorofila *a* y clorofila *b* de *Anaptychia ciliaris*, *Parmelia quercina*, *P. sulcata* y *P. tiliacea* son menores en las muestras del Parque Natural, especialmente los valores de clorofila *b* que son un 40% más bajos, aunque no se aprecian diferencias significativas entre ellos excepto en el caso de *Parmelia tiliacea*. Por el contrario, en las otras especies de líquenes consideradas los valores de la concentración de clorofilas de las muestras procedentes del Parque son significativamente mayores a los obtenidos en el resto de la comarca (tabla 4). Con objeto de poder comparar los resultados de ambos parámetros (el IPA y la concentración de clorofilas), en la

figura 2 se han representado los valores medios del contenido total de clorofilas de las localidades del parque Natural agrupadas en función de las áreas delimitadas en la representación espacial del IPA (figura 1). Excepto *Evernia prunastri*, *Parmelia acetabulum* y *Physcia adscendens*, en el resto de las especies los valores de contenido en clorofilas de las localidades situadas en las zonas I y II son significativamente menores a los obtenidos en la zona III.

DISCUSIÓN

La climatología local está condicionada fundamentalmente por los vientos húmedos procedentes del NE, que se canalizan a través de la cuenca del río Serpis hacia la sierra del Menetjador, como se representa en la figura 1. La distribución de las áreas representadas en la figura 1 parece estar condicionada por la dirección de estos vien-

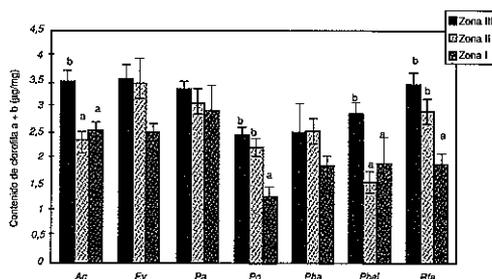


Fig. 2. Media y error estándar (n=6) del contenido total de clorofila en muestras de diferentes especies de líquenes en las tres áreas de isocontaminación del Parque Natural definidas en la figura 1 (zona I: área de baja calidad del aire; zona II: área de calidad intermedia; zona III: área de alta calidad del aire). En el eje X se representan las especies: *Ac*: *Anaptychia ciliaris*; *Ev*: *Evernia prunastri*; *Pa*: *Parmelia acetabulum*; *Pq*: *Parmelia quercina*; *Pha*: *Physcia adscendens*; *Phai*: *Physcia aiipolia* y *Rfa*: *Ramalina farinacea*. Las letras minúsculas indican las diferencias significativas entre las parcelas (ANOVA de una vía, test de la mínima diferencia significativa P<0.05). [Mean and standard error (n=6) from total chlorophyll content in samples from different species of lichens from three isopollution areas described in Figure 1 (I: low quality air; II: medium quality air; III: high quality air). *Ac*: *Anaptychia ciliaris*; *Ev*: *Evernia prunastri*; *Pa*: *Parmelia acetabulum*; *Pq*: *Parmelia quercina*; *Pha*: *Physcia adscendens*; *Phai*: *Physcia aiipolia* y *Rfa*: *Ramalina farinacea*. Bars with common letters are not significantly different (one way ANOVA and test of less significance difference at P<0.05).]

TABLA 4

MEDIA DEL CONTENIDO (N>8) EN CLOROFILA A (CA), CLOROFILA B (CB), CLOROFILA TOTAL (CT=CA+CB) EXPRESADOS EN µg/MG PESO SECO AL AIRE Y EL ÍNDICE CA/CB EXPRESADO EN UNIDADES ARBITRARIAS. [MEAN OF CHLOROPHYLL A (CA), B (CB), AND TOTAL (CT=CA+CB) CONTENT IN µG/ MG AIR DRY WEIGHT AND CA/CB RATIO (NON- DIMENSIONAL) (N>8)]

	Ca		Cb		Ct		Ca/Cb	
	FR	A	FR	A	FR	A	FR	A
<i>Anaptychia ciliaris</i>	1.97	2.02	0.75	0.79	2.72	2.82	2.65	2.56
<i>Evernia prunastri</i>	2.30	1.60 **	0.95	0.67 *	3.25	2.27 **	2.46	2.41
<i>Parmelia acetabulum</i>	2.23	1.54 **	0.93	0.68 **	3.16	2.21 **	2.39	2.27 **
<i>Parmelia quercina</i>	1.49	1.62	0.57	0.65	2.06	2.27	2.64	2.50 **
<i>Parmelia sulcata</i>	2.03	2.12	0.79	0.92	2.82	3.04	2.60	2.40 **
<i>Parmelia tiliacea</i>	1.56	2.39 *	0.62	1.05 *	2.17	3.43 *	2.51	2.33 *
<i>Physcia adscendens</i>	1.63	1.52	0.63	0.58	2.26	2.10	2.59	2.64
<i>Physcia aioplia</i>	1.52	1.54	0.55	0.58	2.07	2.12	2.73	2.65
<i>Physcia semipinnata</i>	1.99	1.63	0.72	0.62	2.70	2.25	2.79	2.70
<i>Ramalina farinacea</i>	2.03	2.17	0.78	0.91	2.81	3.08	2.63	2.42 *
<i>Ramalina fastigiata</i>	2.33	1.25 **	0.92	0.49 **	3.25	1.74 **	2.54	2.55
<i>Ramalina fraxinea</i>	1.98	1.47 *	0.78	0.61 *	2.76	2.07 *	2.54	2.44 *

La columna «FR» corresponde a los valores medios de parcelas situadas dentro de los límites del parque natural, frente a la columna «A» que corresponde a valores medios de parcelas situadas fuera de los límites del parque.

[FR=values from sites inside the Natural Park; A = values from sites outside the Natural Park limits. * significantly different at P<0.05; ** significantly different at P<0.01 (t-student)]

tos dominantes, como ya se ha observado en otros casos (CASE 1980; NÍMIS 1985a, 1985b, 1990; RUBIANO 1987). En el Parque Natural aparecen representadas las 3 áreas de isocontaminación que se han definido, observándose que en ciertos casos aparecen discontinuidades muy marcadas en distancias muy cortas. Por ejemplo, en el caso de las parcelas 2 y 3, situadas en diferentes exposiciones (Norte y Sur respectivamente) y a pocos metros de distancia, se obtienen valores muy distintos de IPA. En la localidad 3 (zona III) la microtopografía ha sido un factor definitivo debido al posible apantallamiento por una pequeña colina de los vientos procedentes del valle, que se traduce en un valor mayor de IPA. Del mismo modo, otras localidades situadas al abrigo de los vientos dominantes, como son 6, 11, 13, 14, 16 y 15, pertenecen a la zona III. Análogamente, aquellos enclaves situados en la umbría de la Font Roja, con situaciones más expuestas a los vientos húmedos dominantes, (7, 5, y 1) son las localidades con valores de IPA más bajos (zona I) cuando sería de esperar que estas condiciones favorecieran las comunidades líquénicas.

El IPA puede ser utilizado en zonas con condiciones climáticas similares, como ocurre en el par-

que y las sierras adyacentes, como bioindicador de la calidad del aire en un territorio concreto. No obstante, se debe insistir en la interpretación cautelosa de este tipo de índices en áreas con climatología mediterránea y topografía compleja. En este caso, especialmente se aprecia que las localidades en las que los valores de IPA son menores comparten algunas características que las diferencian del resto: orientación hacia la ciudad de Alcoi y expuestas a los vientos procedentes del NE, altitud comprendida entre 900 y 1200 m, bosque más o menos denso, maduro y con una elevada criptoprecipitación en forma de nieblas en determinadas épocas del año. Estos vientos son los que presumiblemente transportan todas los contaminantes atmosféricos desde la costa, así como los que son emitidos en el propio valle, especialmente en Alcoi y su zona industrial (donde las emisiones de SO₂ pueden llegar a ser importantes, Red de calidad del aire de la comunidad valenciana).

En la mayoría de las especies de líquenes que se han analizado, los valores de clorofila total (a+b) de las tres zonas de isocontaminación, definidas en función del IPA, son significativamente diferentes. En *Anaptychia ciliaris* la cantidad de clo-

rofila *b*, en la zona I y II, se reduce en un 40% con respecto a la zona III siendo, además, esta especie la única en la que existen diferencias significativas entre la zona I y la II (figura 2). Así mismo, se ha observado que la concentración de clorofila *b* muestra una correlación muy alta con los valores de IPA para las localidades del parque ($r^2=0.97$ datos no mostrados) lo que parece indicar que la clorofila *b* puede ser una variable más sensible que la clorofila *a*.

Los valores de contenido en clorofilas de los líquenes fruticulosos como, *Ramalina fraxinea* y *Ramalina fastigiata*, no muestran una relación tan clara con el IPA como el resto de las especies, parece que responden a otras variables (ecológicas) propias de la parcela (KAPPEN *et al.* 1991; TRETACH & CARPANELLI 1992), ya que en parcelas muy insoladas tienen contenidos en pigmentos menores comparados con emplazamientos más sombríos. Es sabido que el contenido de clorofilas puede variar por causas ecológicas (BOONPRAGOB & NASH 1991; KAPPEN *et al.* 1991), ello podría explicar el que algunas especies presenten aparentemente mayor contenido en clorofilas en zonas presuntamente afectadas por la contaminación, dado que alguna variable ecológica podría prevalecer sobre la contaminación (por ejemplo, una parcela mucho más umbría que otra). Aún así se aprecia que algunas parcelas del área I tienen los contenidos más bajos con respecto a otras parcelas ecológicamente parecidas con un grado de insolación similar. Por el contrario, los valores de clorofilas de *Physcia aipolia*, *Ramalina farinacea* y *Parmelia quercina* procedentes de la zona I son significativamente menores a los obtenidos en las zonas II y III, ello podría indicar que, en este territorio, *Ramalina farinacea* es una especie fruticulosa más sensible que *R. fastigiata* y *R. fraxinea*. También se ha observado en *Parmelia quercina* una buena correlación entre el IPA y la clorofila *b* ($r^2= 0.70$). Es decir, en aquellas parcelas donde la frecuencia de *Parmelia quercina* es baja, los ejemplares presentes tienen menor contenido en clorofila *b*.

Las criptoprecipitaciones son un fenómeno meteorológico difícil de cuantificar, no obstante, se puede constatar la presencia de grandes masas de niebla durante todo el año, situadas entre 900 y 1200 m de altitud. Los líquenes, como organismos poiquilohidros que son, dependen del agua disponible en el medio para sus funciones metabólicas pudiendo aprovechar incluso las criptoprecipitaciones (nieblas). Por ello, si se considera conjuntamente el hecho de que las localidades de las zonas I y II están más expuestas a los vientos húmedos del NE y por tanto presentan mayores nieblas, especies foliáceas como *Parmelia quercina*, *Physcia aipolia* y especies fruticulosas sensibles como *Ramalina farinacea* y *Anaptychia ciliaris*; pueden permanecer durante más tiempo metabólicamente activas, especialmente a primeras horas de la mañana. Además se puede ver que las localidades con nieblas más frecuentes presentan los valores más bajos de IPA, especialmente aquellas expuestas a los vientos del NE. La mayor exposición a estos vientos húmedos presuntamente cargados de contaminantes, puede ser la causa de la respuesta obtenida en las especies de líquenes estudiadas como se ha constatado en otros territorios con situaciones parecidas (FERRY & COPPINS 1979; PUSTELNIEAK 1991).

AGRADECIMIENTOS

La realización de este estudio ha sido posible gracias al soporte económico del ayuntamiento de Alcoi y la Conselleria de Medi Ambient de la Generalitat Valenciana. También, deseamos expresar nuestra gratitud más sincera al personal del Parque Natural del Carrascal de la Font Roja que siempre nos ha facilitado el acceso a los puntos de muestreo. Así como, la Dra. Eva Barreno y su equipo de investigación del departamento de Biología Vegetal, de la Universitat de Valencia, contribuyeron notablemente al enriquecimiento de los resultados de este trabajo. Finalmente a la Generalitat Valenciana y Bancaixa por su apoyo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMMANN, K., HERZING, R., LIEBENDORFER, L. & URECH, M. 1987. Multivariate correlation of deposition data in small town in Switzerland. *Advances in Aerobiology* 51:401-406.
- AHTY, T. 1965. Notes on the distribution of *Lecanora conizaeoides*. *Lichenologist* 3:91-92.
- BARNES, J.D., BALAGUER, L., MANRIQUE, E., ELVIRA, S. & DAVISON, A.W. 1992. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants. *Environmental and Experimental Botany* 32(2):85-100.
- BARRENO, E., ATIENZA, V. & SANZ, M.J. 1989. Catálogo de los líquenes epífitos y terrícolas de la Font Roja (Alicante, España). Instituto de cultura «Juan Gil Albert». Diputación Provincial de Alicante, 1: 85-99.
- BAYLEY, R.H. 1968. *Lecanora conizaeoides* in Iceland. *Lichenologist* 4:73.
- BOONPRAGOB, K. & NASH III, T.H. 1991. Physiological responses on the lichen *Ramalina menziesii* Tayl. to the Los Angeles urban environment. *Env. and Exper. Bot.* 30:229-238.
- BENTO-PEREIRA, F. & SERGIO, C. 1983. Líquenes e briofitos como bioindicadores da poluição atmosférica. II Utilização de una escala quantitativa para Lisboa. *Revista de Biología*, 12:297-312.
- CALATAYUD, A., SANZ, M.J., CALVO, E., BARRENO, E., & DEL VALLE-TASCON, S. 1996. Chlorophyll a fluorescence and chlorophyll content in *Parmelia quercina* thalli from a polluted region of northern Castellón (Spain). *Lichenologist* 28(1):49-65.
- CASE, J.W. 1980. The influence of three sour gas processing plants on the ecological distribution of epiphytic lichens in the vicinity of Fox Creek and Whitecourt, Alberta, Canada. *Water, Air and Soil Pollution* 14:45-68.
- CRESPO, A., MANRIQUE, E., BARRENO, E., & SERIÑA, E. 1977. Valoración de la contaminación atmosférica del área urbana de Madrid mediante bioindicadores (líquenes epífitos). *Anal. Inst. Bot. Cavanielles* 34(1):71-94.
- CRESPO, A., BARRENO, E., SANCHO, L.G. & BUENO, A. 1981. Establecimiento de una red de valoración de pureza atmosférica en la provincia de La Coruña (España) mediante bioindicadores líquénicos. *Lazaroa* 3:289-311.
- CRESPO, A. & BUENO, A. 1982. Valoración de las áreas isocontaminadas en la casa de campo de Madrid mediante el análisis de bioindicadores (líquenes epífitos). *Coll. Bot. (Barcelona)* 13:279-294.
- DIAMANTOPOULUS, J., PIRINTSOS, S., LAUNDON, J.R. & VOKOU, D. 1992. The epiphytic lichens around Thessaloniki Greece as indicators of sulphur dioxide pollution. *Lichenologist* 24:63-71.
- FERRY, B.W. & COPPINS, B.J. 1979. Lichens trasplant experiments and air pollution studies. *Lichenologist* 11:63-73.
- FIELDS, R.F. 1988. Physiological responses of lichens to air pollutant fumigations, Lichens, Bryophytes and air quality. T. H. Nash & V. Wirth (Ed.). J. Cramer
- GARTY, J., KARDISH, J., HAGEMeyer, J. & RONEN, R. 1988. Correlations between the concentration of adenosine tri phosphate, chlorophyll degradation and amounts of airborne heavy metals and sulphur in trasplanted lichens. *Arch Environ. Contam. Toxicol.* 17:601-611.

- GARCIA, A. & CARBALLAL, R. 1985. Valoración de la contaminación atmosférica en la ciudad de Vigo mediante líquenes epífitos. IV Simposio de Botánica Criptogámica pp. 141.
- GRIES, C., SANZ, M.J. & NASH III, T.H. 1995. The effect of SO₂ fumigation on CO₂ gas exchange, chlorophyll degradation in different lichen species from western North America. *Criptogamic Botanic.* 5(3):239-246.
- HAWKSWORTH, D.L. & ROSE, F. 1970. Quantitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature, Lond.*, 227:145-148.
- HAWKSWORTH, D.L. & ROSE, F. 1979. Lichens as pollution monitors. The institute of Biology's Studies in Biology n.º 66.
- HAWKSWORTH, D.L. & MCMANUS, P.M. 1989. Lichen recolonization in London (UK) under conditions of rapidly falling sulphure dioxide levels and concept of zone akiping. *Botanical Journal of the Linnean Society* 100:99-110.
- KAPPEN, L., BREUER, M. & BOLTER, M. 1991. Ecological and physiological investigations in continental Antarctic cryptogams. *Polar Biol.* 11:393-401.
- MANRIQUE, E., REDONDO, L.R., SERIÑA, E. & IZCO, J. 1989. Estimation of chlorophyll degradation into phaeophytin in *Anaptychia ciliaris* as a method to detect air pollution. *Lazaroa* 11:141-148.
- Mc CUNE, B. 1988. Lichen communities along O₃ and SO₂ gradients in Indianapolis. *The Bryologist* 913:223-228.
- NASH III, T.H. & GRIES, C. 1991. Lichens as indicators of air pollution. Hutzinger, O ed. The handbook of environmental chemistry. Vol 4 Part c. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg New York.
- NIMIS, P.L. 1985a. Urban lichen studies in Italy I: The town of Trieste. *Studia Geobotanica* 5:49-74.
- NIMIS, P.L. 1985b. Urban lichen studies in Italy II: The town of Udine. *Gortania* 7:147-172.
- NIMIS, P.L. 1990. Air quality indicators and indices the use of plants as bioindicadores for monitoring air pollution. Proceedings of the Workshop on Indicators and Indices for Environmental Impact Assesment and risk analysis. JRC, Ispra, May 1990.
- NIMIS, P.L., CASTELLO, M. & PEROTTI, M. 1990. Lichens as biomonitors of sulphur dioxide pollution in La Spezia Northern Italy. *Lichenologist* 223:333-344.
- NIMIS, P.L., LAZZARIN, G. & GASPARO, D. 1991. Lichens as bioindicadores of air pollution by SO₂ in the Veneto region NE Italy. *Studia Geobotanica*, 11:3-76.
- NIMIS, P.L. 1993. The lichens of Italy. Museo Regionale di Scienze Naturali, Torino. Monografia XII. 898 pp.
- NYLANDER, W. 1866. Les lichens du Jardin du Luxemburg. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 13:364-372.
- PANAREDA J.M. & NUET, J. 1979. El clima i les aigües dels Països Catalans. En *Geografia física dels Països Catalans*, de Riba, O. et al., Barcelona, Ketres Edit., pp. 69-103.
- PUSTELNIAK, L. 1991. Application of trasplantation method in studies on the influence of the urban environment upon the vitality of *Hypogymnia physodes* l. Nyl. thalli. *Prace Botaniczne* 22:193-201.

- RICHARDSON, D.H.S. 1988 Understanding the pollution sensitivity of lichens. *Botanical Journal of the Linnean Society* 96:31-43.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. 1983. Pisos bioclimáticos de España. *Lazaroa* 5:33-43.
- RODA, F. 1979. Epífitos y contaminación atmosférica en los alrededores de Sabadell (Catalunya). *Mediterránea*, 3:23-68.
- RONEN, R. & GALUN, M. 1984. Pigment extraction from lichens with dimethyl sulfoxide DMSO and estimation chlorophyll degradation. *Environmental and Experimental Bot.* 24:239-245.
- ROSE, C.I. & HAKSWORTH, D.L. 1981. Lichen recolonization in London's clear air. *Nature* 289: 289-292.
- RUBIANO, L.J. 1987 Delimitación de áreas de isocontaminación en Cali y Medellín utilizando líquenes como bioindicadores. *Perez-Arbalaezia* 24,5:8-41.
- SANZ, M.J., GRIES, C. & NASH III, T. H. 1992. Dose-response relationships for SO₂ fumigations in the lichen *Evernia prunastri* L. Ach. and *Ramalina fraxinea* L. Ach. *New Phytol.* 122:313-319.
- SANZ, M.J. 1991. Efectos de la contaminación atmosférica sobre bioindicadores liquénicos y forófitos. Análisis de métodos para su cuantificación. comarca de Els Ports Castellón. Tesis Doctoral. Universitat de València. Inédita.
- SEANDER, R. 1912. Studier of var lafvarnes biologi I. Nitrofilia lafvar. *Svensk Bot. Tidskr.* 6:803-883.
- SEAWARD, M.R.D. 1980. The use of lichens for evaluating environmental changes in Lincolnshire, 1879-1979. *Trans. Linc. Nat. Un.*, 20:1-7.
- SIGAL, L. L., & NASH, T. H. 1983. Lichen communities on conifers in southern California mountains: an ecological survey relative to oxidant air pollution assessments. *Ecology* 64(6):1343-1354
- TERRÓN, A. & DÍAZ, G. T. 1985. Establecimiento de las zonas de isocontaminación en la zona de Ponferrada (León) mediante el empleo de bioindicadores liquénicos. VI Simposio Nacional de Botánica Criptogámica, pp. 138.
- TERRÓN, A. & BARRENO, E. 1994. Estimation of air pollution in the area of influence of the coal power station at La Robla León, Northwes Spain using epiphytic lichens as bioindicators. *Cryptogamic Bryol. Lichenol.* 152:135-151.
- TRETIACH, M. & CARPANELLI, A. 1992. Chlorophyll content and morphology as factors influencing the photosynthetic rate of *Parmelia caperata*. *Lichenologist* 241:80-90.
- VÁZQUEZ, V. 1981. Líquenes epífitos como bioindicadores de la calidad del aire: Cartografía de la contaminación atmosférica en la comarca de Avilés. *Bol. Inform. Medioamb. Avilés*, 1:1-87
- VON ARB, C., MUELLER, C., AMMANN, K. & BRUNOLD, C. 1990. Lichen physiology and air pollution. *New Phytol.* 115:431-437.