



## LÍQUENES Y CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, TUNJA, BOYACÁ, COLOMBIA

### LICHENS AND AIR POLLUTION IN UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, TUNJA, BOYACÁ, COLOMBIA

*Diego Fernando Simijaca Salcedo\**  
*María Eugenia Morales Puentes\*\**  
*Carlos Nelson Díaz Pérez\*\*\**

Recepción 17 /05/2011  
Evaluación 06/06/2011  
Aprobado 07/07/2011

#### Resumen

La vegetación representa una barrera contra las emisiones de gases y fuentes contaminantes promovidas por la actividad humana. La escasa vegetación arbórea y la presencia de edificaciones en los predios de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) sede Tunja,

\* Estudiante, beca de investigación DIN-UPTC, Grupo Sistemática Biológica, Herbario UPTC, Programa de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. E-mail: diegosimi@yahoo.es

\*\* Doctora, Profesora de la Escuela de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. E-mail: maria.morales@uptc.edu.co

\*\*\* Estudiante de Maestría, Profesor de la Escuela de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Joven investigador Colciencias. E-mail: cndiazperez@gmail.com

trae consigo la reducción en la calidad del aire. Por tal razón fue utilizada la flora líquénica de las zonas verdes de la UPTC como indicadora de contaminación atmosférica. El IPA (Índice de Pureza Atmosférica) se determinó a partir de las coberturas de once especies de líquenes encontradas en 36 forofitos, de nueve estaciones, representadas en un mapa de isocontaminación. Las especies representativas por cobertura son *Heterodermia albicans* ( $69201\text{cm}^2$ ), presentes en las zonas que se hallan expuestas a vías; por el contrario, la especie con menor cobertura es *Teloschistes flavicans* ( $29\text{cm}^2$ ). El IPA mostró que la estación tres fue la menos contaminada (44.29) y la estación ocho la más contaminada (27.29). Estos datos permiten demostrar que debido a las recientes construcciones aún no se ha fortalecido la vegetación líquénica, además la baja diversidad de forofitos no permite el crecimiento de los líquenes. Los resultados muestran que el campus universitario de la UPTC está altamente contaminado debido a la falta de árboles que flanqueen el impacto de los contaminantes.

**Palabras clave:** Cobertura, forofito, liquen, contaminación aérea, pureza atmosférica.

### **Abstract**

The vegetation constitutes barriers against the gas emissions and polluting sources promoted by the human activity. The limited tree vegetation and presence of buildings on the campus of Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja headquarters, brings with it a reduction in the quality of the air. For this reason was used the lichenical flora in green areas of the UPTC, as indicator of air pollution. IAP (Index of Atmospheric Purity) was determined from the coverage of eleven species of Lichen found in 36 phorophytes (trees) of nine stations, represented on a map of isocontamination. The representative species for coverage are: *Heterodermia albicans* ( $67243\text{cm}^2$ ), present in areas that are exposed to roads;



otherwise, the species with lower coverage are *Teloschistes flavicans* (29cm<sup>2</sup>). The IPA indicated that station three was the least polluted (44.29) and the most polluted station was the eight with (27.29). These data demonstrate that due to the recent constructions the lichenical vegetation has not strengthened yet, further, the low phorophytes diversity does not allow the growth of lichens. The result shows that UPTC campus is highly polluted, due to the lack of trees that flank the pollutants impact.

**Key words:** Covering, phorophytes (trees), Lichen, air contamination, atmospheric purity.

## Introducción

Los líquenes corresponden a asociaciones simbióticas entre una o más algas y un hongo, que resultan en la formación de un talo con morfología y fisiología propia (Barreno, 1989; Chaparro & Aguirre, 2002). Por su naturaleza poiquilohídrica y la complejidad en el comportamiento de los simbioses, estos organismos son utilizados como indicadores de perturbación ambiental, ya que circunstancias como la emisión de material particulado modifican algunas características del talo líquénico (Nash & Wirth, (1988); Santoni & Lijteroff, 2006).

Anatómicamente, los líquenes están desprovistos de cutícula o estomas y carecen de tejidos específicos que les faciliten la excreción de sustancias tóxicas; no obstante, presentan algunas adaptaciones a nivel celular que les permiten pasar por procesos de deshidratación o rehidratación sin sufrir afecciones significativas (Honegger, 1998). Pese a lo anterior, los gases contaminantes presentes en la atmósfera se absorben y difunden rápidamente por los tejidos, lo que puede ocasionar daños a nivel fisiológico, tanto para el fotobionte como para el micobionte.

Hawksworth *et al.* (2005) catalogan como bioindicadores a los factores bióticos que producen una respuesta cuantificable cuando se ven afectados por variaciones en las condiciones del medio circundante. Por ende, factores como la calidad del aire pueden relacionarse con las variaciones en la vitalidad de los grupos de líquenes sensibles (Santoni & Lijteroff, 2006).

Se observan diferentes manifestaciones por parte de los talos liquénicos, que van desde la exuberancia de los grupos más resistentes, hasta seriaciones y sucesiones de organismos con cierto grado de tolerancia; también se evidencian decrecimientos en las formas sensibles o la desaparición de las mismas con la formación de los desiertos liquénicos (Crespo *et al.*, 1977). Entonces, se denota una alta correlación entre la diversidad vegetal y la concentración de determinado tipo de contaminantes (Chaparro & Aguirre, 2002; Rubiano, 1987, 1988; Rubiano & Chaparro, 2006; Santoni & Lijteroff, 2006).

Las especies de líquenes exhiben un rango de sensibilidad a varios contaminantes aéreos, principalmente al azufre y ozono (Nash & Wirth, 1988); además son buenos acumuladores de elementos traza depositados en la atmósfera (Mc Clenahen *et al.*, 2007).

Según Hawksworth *et al.* (2005), los líquenes fueron reconocidos como bioindicadores a partir del siglo XIX; así, para el siglo XXI se conocen más de dos mil publicaciones sobre este tema. Nash y Wirth (1988) se refieren a varias experiencias en las que se usan los líquenes como indicadores de calidad del aire en Norte América, y presentan algunas metodologías cualitativas y cuantitativas para la evaluación de las comunidades, dentro de las cuales, el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) planteado por Le Blanc y De Sloover (1970), es uno de los más usados en la determinación de la calidad del aire para las zonas urbanas (Crespo *et al.*, 1977;



Metzler, 1980; Nash & Wirth, 1988; Showman, 1973; Rubiano & Chaparro, 2006).

En Colombia, Ibagos (1977) y Rubiano (1987, 1988) llevaron a cabo trabajos pioneros en el uso de líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica y la calidad del aire, los cuales han dado paso a trabajos como los de Medina (2002) y Rubiano y Chaparro (2006), que se desarrollan en localidades específicas y corresponden a interpretaciones que se dan a la distribución de algunos grupos liquénicos en relación con algunos factores de intervención como urbanizaciones, industrialización y la creación de vías de acceso, entre otros.

La presente investigación hace parte del proyecto *Uso de organismos vegetales no vasculares como indicadores de contaminación atmosférica urbana (Tunja, Boyacá-Colombia)*, adelantado por el Grupo de Investigación Sistemática Biológica de la UPTC, con el que se pretende apreciar la calidad del aire de Tunja y de esta universidad, a fin de propiciar el soporte técnico para la generación de alternativas que reduzcan el impacto de los contaminantes en la ciudad y mejoren la calidad de vida de los habitantes.

## **Materiales y métodos**

### **Área de estudio**

El campus de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia está ubicado al norte de la ciudad de Tunja (05°33'8.1"N y 73°21'27"O), y limita con la Avenida Central del Norte y la vía a Bucaramanga (Santander), calles con tránsito vehicular masivo. Cerca al campus se presentan centros de actividad comercial, educativa e industrial, entre otras, donde se registra un continuo tránsito de peatones. En las zonas seleccionadas se observan algunas construcciones recientes, (edificios Administrativo y Registro y Admisiones) y la adecuación de un sendero ecológico, además de otras

instalaciones donde funcionan aulas y laboratorios de enseñanza e investigación (Fig. 1).

A partir de un recorrido de reconocimiento por el campus, se seleccionaron nueve estaciones de muestreo que se ubicaron desde 2690 a 2712 msnm.

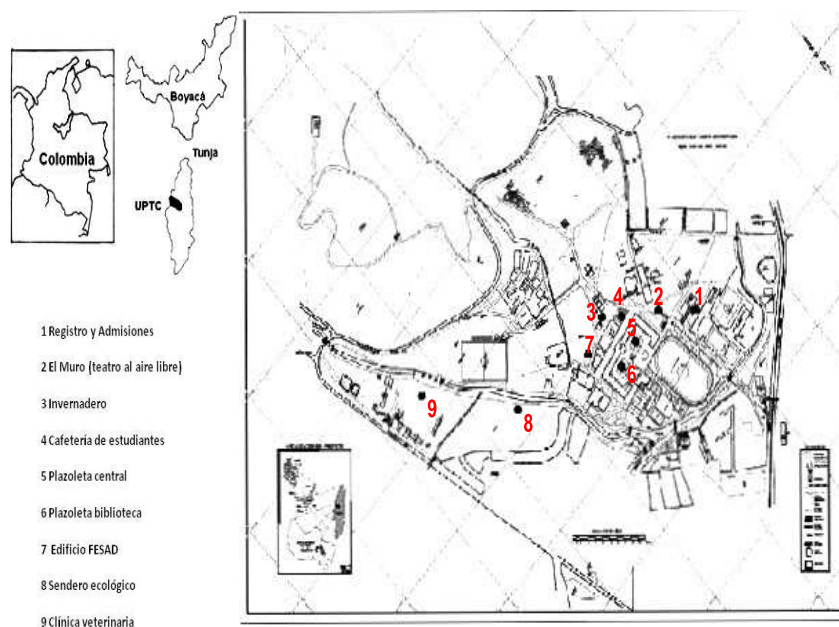


Fig. 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en la ciudad de Tunja, departamento de Boyacá, Colombia (modificado de IGAC 1996, SIGAC 2007 y <http://virtual.uptc.edu.co/plano/index.htm>)

## Selección de los forofitos

Rubiano y Chaparro (2006) proponen que en la selección de los forofitos se tenga en cuenta la frecuencia y la cobertura de los líquenes representativos en las áreas de muestreo o estaciones; es *Flavopunctelia* así como, se evaluaron cuatro árboles para cada estación y fueron colectados los líquenes que se ubicaban sobre los troncos de los árboles o arbustos a una altura entre 0 y 2m.



Uno de los parámetros necesarios en el análisis del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) es la cobertura, que fue tomada mediante una plantilla de acetato cuadrículada de 400cm<sup>2</sup>, además de tener en cuenta aspectos como el estado general del talo líquénico y su vitalidad en el forofito, reflejadas en aspectos como color, textura y presencia de estructuras reproductivas.

### **Procesamiento de material vegetal**

La recolección y registro de los líquenes se llevó a cabo según Medina (2002) y Rubiano y Chaparro (2006), los ejemplares siguen la numeración de *Simijaca D.* y fueron incluidos en la colección de referencia del herbario UPTC.

El material obtenido fue identificado en el Herbario UPTC, con el uso de estereoscopios, microscopios, equipo de disección y claves generales y especializadas (Brodo *et al.*, 2001; Chaparro & Aguirre, 2002). Se realizaron las pruebas K, C, P y CK según Chaparro y Aguirre (2002), para observar la presencia de ácidos y la reacción de la medula y la corteza al contacto con los compuestos químicos. Así mismo, el material identificado se comparó con la colección de referencia del Herbario UPTC.

### **Análisis de datos**

Los niveles de contaminación se determinaron de acuerdo con Rubiano y Chaparro (2006), mediante el cálculo del Índice de Pureza Atmosférica, así:  $IPA = Q_i \times (F_i/N) \times C_i$ .

$Q_i$ : índice de resistencia (especies acompañantes/ estaciones donde está la especie).

$F_i$ : hospederos o forofitos en los que aparece la especie.

$N$ : total de forofitos censados.

$C_i$ : cobertura estándar (cobertura total de la especie / máximo valor alcanzado).

## Resultados

En la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia se identifican varias fuentes de contaminación, tanto fijas (chimeneas, talleres, laboratorios y depósitos de residuos) como móviles (peatones y vehículos de transporte) debidas al uso del espacio y a su ubicación entre dos de las vías de acceso a la ciudad de Tunja. Se establece que aunque existen grandes espacios abiertos, pocos de ellos están arborizados de manera representativa, y los elementos utilizados en la adecuación de las zonas verdes son heterogéneos.

Las zonas verdes del campus universitario se componen de árboles de *Tecoma stans*, *Salix humboldtiana*, *Sambucus nigra*, *Schinus molle*, *Acacia melanoxylon*, *Pyracantha coccinea*, *Pittosporum undulatum*, y en algunos sectores predominan pino y eucalipto. Otros espacios comprenden pequeños jardines con herbáceas y arbustos o extensiones de pastizal, donde la presencia de líquenes es muy escasa.

Para las nueve estaciones demarcadas, se evaluaron 36 forofitos. *Acacia melanoxylon*, *Malus communis*, *Pittosporum undulatum* y *Tecoma stans* comprenden las especies arbóreas en las que se hicieron las colectas, las cuales fueron seleccionadas por presentar exhuberancia en el crecimiento de los líquenes. *Malus communis* se examinó únicamente en la estación de la Clínica Veterinaria, mientras *Acacia melanoxylon* se evaluó en la estación del sendero ecológico; del mismo modo, *Pittosporum undulatum* se revisó en las estaciones que corresponden a la edificación del invernadero y detrás del edificio de la Facultad de Estudios a Distancia (FESAD); *Tecoma stans* fue escogida para las otras cuatro estaciones (Fig. 1).

En este estudio fueron identificadas once especies liquénicas asociadas a los diferentes forofitos, dentro de las cuales no se registran talos gelatinosos; sin embargo, algunos musgos y





hepáticas se encontraban acompañando a los talos líquénicos. El biotipo folioso se reconoce como el más representativo dentro del estudio, seguido de las formas fruticosas y las costrosas con un ejemplar (Fig. 4).

Especies bioindicadoras	Cob. Total	Ci	Qi	Fi	Fi/n	IPAx especie
<i>Everniastrum vexans</i>	297	1	7	4	0.11	0.77777778
<i>Heterodermia albicans</i>	69201	2.4	4.14	27	0.75	7.55719784
<i>Heterodermia leucomela</i>	206	2.1	5.4	9	0.25	2.92736842
<i>Lecanora sp.</i>	1420	1	5	3	0.08	0.41666667
<i>Parmotrema austrosinense</i>	2445	3.7	4.33	34	0.94	15.4419582
<i>Punctelia sp.</i>	36252	2.3	4.33	36	1	10.3044933
<i>Ramalina peruviana</i>	8662	1.01	5	11	0.3	1.54815291
<i>Teloschistes chrysophthalmus</i>	747	2.1	5	18	0.5	5.42877907
<i>Teloschistes exilis</i>	2766	1.01	6	6	0.16	1.01318681
<i>Teloschistes flavicans</i>	29	1	5	2	0.05	0.27777778
<i>Usnea sp.</i>	11151	1.003	6.5	6	0.16	1.08723337

**Tabla 1:** Frecuencia e IPA de especies bioindicadoras. Ci (Cobertura estándar), Qi (coeficiente de Resistencia), Fi (proporción de forofitos).

*Punctelia sp.* y *Parmotrema austrosinense* fueron recolectados en todas las estaciones de muestreo y presentaron amplias coberturas; no obstante, *Heterodermia albicans* (69201cm<sup>2</sup>) representa la especie más abundante, seguida de *Flavopunctelia flaventior* (36252cm<sup>2</sup>) y *Usnea sp.* (11151cm<sup>2</sup>). Se reconocen tres especies de distribución restringida, cada una de ellas característica de una estación (Tabla 1), dentro de las cuales *Teloschistes flavicans*, en la estación del Muro, presentó una cobertura muy reducida (29cm<sup>2</sup>).

En los talos evaluados, la presencia de estructuras reproductivas no fue muy conspicua. No obstante, en especies como *Teloschistes chrysophthalmus*, *T. exilis* y *Punctelia sp.* fue posible la observación de apotecios y soredios (Fig. 2), cuya abundancia puede constituir una estrategia contra la presión ambiental de los contaminantes. Pese a lo anterior, se detectó necrosis en algunos de los talos recolectados, principalmente en *Flavopunctelia flaventior* y *Heterodermia albicans*.



**Figura 2.** Estructuras reproductivas de los talos líquenicos: a) *Teloschistes chrysophthalmus*. b) *Punctelia* sp. c) *Ramalina* sp. d) *Teloschistes exilis*.

En términos de riqueza, la estación con mayor número de especies sobre los forofitos fue la Clínica Veterinaria, que registra ocho taxones con el 73% del total, mientras la estación con menor representatividad de líquenes fue el Sendero Ecológico con *Punctelia* sp., *Parmotrema austrosinense* y *Ramalina peruviana* (Tabla 1).

Respecto a la toxofilia de los organismos, se menciona que *Heterodermia albicans*, con un coeficiente de resistencia de 4.13, es un organismo resistente, mientras *Everniastrum vexans* se identifica como sensible, con 7.0 en el valor del coeficiente. Como especies toxotolerantes se reconocen *Parmotrema austrosinense* y *Punctelia* sp. con 4.33, y debido a que estas especies son elementos comunes de la flora urbana no vascular en el campus universitario.



Aunque *Parmotrema austrosinense* no corresponde a la especie de mayor cobertura, presenta el más alto valor en el IPA (15.44), mientras *Teloschistes flavicans* (0.27) muestra el valor más bajo, y se reconoce como especie sensible por su escasa cobertura y frecuencia en los forofitos.

La estación del Invernadero (IPA 44.29) se reconoce como la menos contaminada, debido a la combinación de especies toxófilas y sensibles sobre los forofitos examinados, y a que las corrientes de viento son atenuadas en este sitio, por la presencia de árboles, arbustos y edificaciones que actúan como barrera contra las corrientes de aire.

De otro lado, el Sendero Ecológico presenta una representativa cobertura vegetal de especies arbustivas, pero con poca exuberancia de los talos liquénicos; se reconoce como dominante a *Acacia melanoxilon* entre los elementos vasculares del lugar, sobre el cual se identificaron pocas especies (IPA 27.29), con el registro más bajo en el estudio (Tabla 2).

**Tabla 2:** Índice de Pureza Atmosférica para cada estación de muestreo.

Estaciones	IPA
Registro y admisiones	33,30364928
Muro auditorio al aire libre	41,93757454
Invernadero	44,29518305
Cafetería de estudiantes	41,93757454
Plazoleta central	38,73242835
Plazoleta Biblioteca	41,65979677
FESAD	40,55835904
Sendero ecológico	27,29460435
Clínica veterinaria	38,52894981

El comportamiento de las comunidades líquénicas permite agrupar las estaciones en zonas de isocontaminación, de acuerdo con lo propuesto por Rubiano (1987) y Rubiano y Chaparro (2006). Por lo cual, se plantearon tres zonas ilustradas en un mapa de isocontaminación, así (Fig. 3):

Contaminación alta: < 17,30 a 34,28  
 Contaminación media: 34,29 a 42,29  
 Contaminación baja: 42,29 <

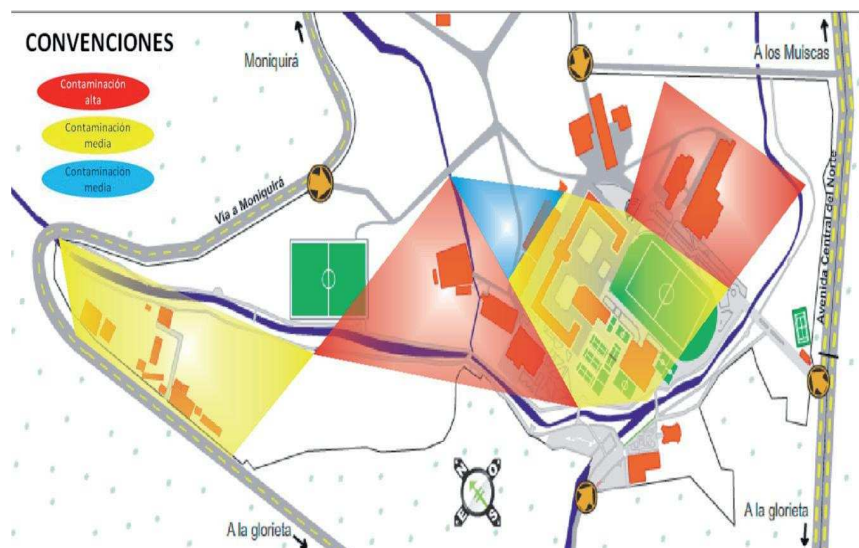


Figura 3. Mapa de isocontaminación de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC).

*Contaminación alta:* comprende las estaciones del Sendero Ecológico y el Edificio de Registro y Admisiones. Estas zonas presentan intervención por las recientes construcciones de los edificios cercanos y la vía del Sendero. Alrededor de dicho Sendero se sitúan cultivos experimentales, en los cuales se utilizan fertilizantes e insecticidas que reducen la vitalidad de los líquenes, mientras que cerca del Edificio de Registro y Admisiones, hay una gran extensión potrerizada, parte de



la cual se usa como depósito de desechos de construcción. Las especies características de esta zona son *Parmotrema austrosinense*, *Punctelia* sp., *Heterodermia albicans* y *Ramalina peruviana*. Este sector forma una intersección con una zona de contaminación media, donde la abundancia de los líquenes es notable, gracias al obstáculo que representan las edificaciones en contra del flujo de las corrientes de aire (Fig. 3).

*Contaminación media:* en esta zona se agrupan seis de las nueve estaciones (66%) y se caracteriza por presentar alto tránsito vehicular y peatonal, aunque comprende zonas abiertas, jardines y plazoletas, en las cuales el viento circula con fuerzas inferiores a 1.03m/s (IDEAM, 2009), gracias al efecto de barrera que ofrece el Edificio Central. En esta zona están presentes los once morfotipos líquénicos del estudio y se incluyen organismos sensibles como *Everniastrum* sp. y *Teloschistes flavicans*, además de varios forofitos que muestran exhuberancia en el crecimiento de los talos líquénicos.

*Contaminación baja:* corresponde a la estación del Invernadero, que está rodeada por edificaciones y vías de acceso; sin embargo, se observa representatividad de arbustos que inhiben la acción de los contaminantes al formar concavidades en los nudos de las ramas que albergan a los líquenes. Aunque presenta una comunidad de líquenes toxófila en la que predomina *Heterodermia albicans*, otros talos líquénicos presentan coberturas poco representativas. Esta estación comprende un corredor de *Pittosporum undulatum* que comienza en la estación FESAD, concluye en el Invernadero y comparte algunos organismos (Fig. 3, Tabla 1).



Figura 4. Talos liquénicos representativos de la UPTC: a) *Everniastrum vexans*. b) *Heterodermia albicans*. c) *H. leucomela*. d) *Lecanora* sp. e) *Parmotrema austrosinense*. f) *Punctelia* sp. g) *Ramalina* sp. h) *Teloschistes chrysophthalmus*. i) *T. exilis*. j) *T. flavicans* k) *Usnea* sp.



## Discusión

El viento es el principal transportador del material particulado y gases contaminantes que vulneran la estabilidad de las comunidades líquénicas. Entre los años 1995 y 2009, la velocidad del viento en los alrededores del campus universitario (UPTC) fluctuó entre 0.85 y 1.03m/s, con la dispersión de contaminantes en áreas abiertas que tienen poca o nula capa vegetal.

Es evidente que las corrientes de viento afectan la distribución de los contaminantes y el comportamiento de las comunidades líquénicas que representan a las zonas muestreadas; condición que también es cierta en la vegetación arbustiva, que constituye barreras efectivas contra la dispersión de los contaminantes (Rubiano & Chaparro 2006). No obstante, se observa para este estudio que el Edificio Central constituye la principal barrera contra el flujo de las corrientes de viento que distribuyen el material particulado, lo que permite que estaciones como el invernadero y la cafetería de estudiantes presenten una flora que combina especies toxotolerantes y sensibles, además que algunas de estas crezcan de manera exuberante.

Se observó que algunos líquenes, como estrategia ante la velocidad del viento y la acumulación de material particulado, se establecieron en las concavidades de las ramas y en la parte alta de los troncos robustos; así mismo se detectó heterogeneidad en la producción de estructuras reproductivas tanto sexuales como vegetativas (Fig. 2). Por lo anterior, se considera que los líquenes comprenden un grupo potencial para su uso como indicadores de perturbación ambiental, lo cual concuerda con lo mencionado por Hawksworth *et al.* (2005).

A pesar de lo anterior, se establece que la delimitación de los niveles de contaminación depende de factores como el

número de especies encontradas, los forofitos evaluados y la cantidad de estaciones objeto del estudio, dado que las escalas utilizadas en diversas investigaciones difieren en sus valores máximos y mínimos (Carballal, 1987; Rubiano, 1987; Medina, 2002; Santoni & Lijterof, 2006, entre otros) y para este estudio se estableció una escala de IPA entre 17 y 43.

Por otra parte, estudios como los de Rubiano (1987), Medina (2002) y Rubiano y Chaparro (2006), entre otros, efectúan el examen de los forofitos en sectores por debajo de los dos metros de altura, basados en que este sector recibe un mayor impacto por las corrientes de viento. Sin embargo, para árboles cuyo fuste supera los dos metros de altura o que presentan doseles poco frondosos, se sugiere ampliar el rango en la evaluación, dado que se considera que la estructura de la vegetación dominante también es un factor de importancia en el establecimiento de los líquenes.

Medina (2002) y Estrabou (2007) reconocen que otro factor importante en el desarrollo de las comunidades líquénicas corresponde a la especificidad de forofito, por lo que es importante seleccionar condiciones geográficas, climáticas y microecosistémicas similares en el análisis de la calidad del aire, y, de igual manera, que los forofitos sean más homogéneos. Lo anterior contrasta con esta investigación, dada la diversidad de los hospederos evaluados, pues se encontraron algunos con exuberancia de epifitos (*Malus communis*), mientras otros, por sus características propias (pH, textura de la corteza, látex, modificaciones del tallo, entre otras), presentaron una diversidad muy baja (*Acacia melanoxylon*).

Por lo anterior, se reconoce a *Malus communis* y *Pittosporum undulatum*, como forofitos potenciales para el crecimiento de flora líquénica en el campus de la UPTC y se sugiere que estos árboles proveen un sustrato apto para el crecimiento





de las plantas epifitas; por el contrario, fustes como *Tecoma stans* o *Acacia melanoxylon* se muestran con pocas especies.

A pesar de la sensibilidad mostrada por las formas liquenizadas, se observa a algunas especies con coberturas muy representativas para el campus universitario, tal es el caso de *Punctelia* sp., *Parmotrema austrosinense* y *Heterodermia albicans*; que según Estrabou (1998) hacen parte del grupo de especies tolerantes a compuestos de nitrato o sulfato.

Wirth (1988) y Mc Clenahen *et al.* (2007) documentan la plasticidad de *Flavopunctelia flaventior* y de algunas especies de *Punctelia*, además resaltan su resistencia a los contaminantes y su capacidad de colonización, por lo que es catalogada como especie toxófila, al presentarse en todas las estaciones (36252cm<sup>2</sup>). También son importantes por sus valores de IPA algunas especies como *Parmotrema austrosinense* y *Heterodermia albicans*.

Respecto a las zonas de contaminación, se observa un patrón de distribución inverso al presentado por Medina (2002), donde la contaminación máxima se ubica hacia el interior del área de estudio. Por el contrario, en la UPTC se nota que la zona menos afectada por los contaminantes se representa en el centro del campus universitario, donde las edificaciones y la capa vegetal disminuyen el efecto de las corrientes de viento y se observan estaciones con valores de IPA superiores a 40.

## Conclusiones

En el campus universitario de la UPTC se delimitan tres zonas de contaminación donde la contaminación media se reconoce como dominante y sobre la cual son representativas algunas especies toxófilas como *Punctelia* sp. y *Parmotrema austrosinense*.

Se reconoce a *Malus communis* y *Pittosporum undulatum* como forofitos potenciales para el crecimiento de líquenes y otras epífitas. Aunque se recomienda *Pittosporum undulatum*, es mejor vincular flora de los bosques nativos cercanos al campus, que promuevan el desarrollo de especies sensibles y fortalezcan la barrera contra el flujo de material particulado que constituyen las zonas verdes del sector.

La ubicación de la UPTC y su cercanía a bosques nativos del sector noroccidental de la ciudad, la identifican como sitio estratégico que mitiga las emisiones dirigidas hacia los barrios Rosales, Cristales, La María y Villa Universitaria, entre otros, gracias a los corredores de vegetación y a la barrera que representa el Edificio Central.

### Agradecimientos

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y a la Dirección de Investigaciones UPTC por la financiación del proyecto *Uso de organismos vegetales no vasculares, como indicadores de contaminación atmosférica urbana (Tunja, Boyacá-Colombia)*, de la convocatoria 019 Capital Semilla 2008, desarrollado por los autores, así como por la beca de investigación para el primer autor (DFS) en el segundo semestre de 2008 y el primero de 2009. Al Grupo de Sistemática Biológica, por el apoyo y asesoría recibidos en la realización del proyecto. Al Herbario UPTC y su equipo de trabajo, que permitieron la consulta de bibliografía, el préstamo de equipos y reactivos, y el acceso a la colección de líquenes para la determinación del material.



## Lista de referencias

- Barreno, E. (1989). Sobre la biología del talo en líquenes litobiontes. *Anales Jardín Botánico de Madrid*, 46 (1), 259-262.
- Brodo, I., Durán, S. & Scharnoff, S. (2001). *Lichens of North América*. New Haven: Yale University Press.
- Arballal, M. & García, A. (1987). Líquenes epifitos como indicadores de la contaminación atmosférica. Utilización de una escala cualitativa en la ciudad de Vigo (España). *Lazaroa* 10, 243-251.
- Chaparro, M. & Aguirre, J. (2002). *Hongos liquenizados*. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogota, D.C.
- Crespo, A., Manrique, E., Barreno, E. & Serriña, E. (1977). Valoración de la contaminación atmosférica del área urbana de Madrid mediante bioindicadores (líquenes epifitos). *Anales del Instituto Botánico A. J. Cavanilles*, 34 (1), 71-94.
- Estrabou, C. (1998). Lichen species identification and distribution according tolerance to airborne contamination in the city of Córdoba (Argentina): 65-169. In: Marcelli, M.P. & M.R.D., Seaward. *Lichenology in Latin America: history, current knowledge and applications*. São Paulo.
- Estrabou, C. (2007). Preferencia de forofito por los líquenes en el bosque chaqueño oriental. *Bosque*, 28 (1), 46-49.
- 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.
- Hawksworth, D.L., Iturriaga, T.Y. & Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología* 22, 71-82.
- Ibagos, A.L. (1977). *Contribución al estudio de la contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá*. Tesis no publicada. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Bogotá.
- IDEAM. Estación Meteorológica UPTC. Valores medios mensuales de velocidad del viento en los años 1995 a 2009.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. SIGAC. (2007). Mapa departamental Boyacá 1: 400.000. Compatible GPS. SIGAC.

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC. (1996). *Diccionario geográfico de Colombia*. Tomo 1. AATÁPURU-COKCOUADA.
- Le Blanc, F. & De Sloover, J. (1970). Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany* 48, 1485-1469.
- Mc Clenahan, J.R., Davis, D. & Jutnik, R. (2007). Macrolichens as biomonitors of air quality changes in Western Pennsylvania. Northeastern Naturalist. *Biology Journal* 14, 1-15.
- Medina, M. (2002). *Utilización de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en Sogamoso-Boyacá*. Tesis no publicada. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Básicas, Escuela de Ciencias Biológicas, Tunja.
- Metzler, K.J. (1980). Lichens and air pollution. A study in Connecticut. State Geological and Natural History Survey of Connecticut. Report of Investigation. 9. In: Nash, T. & V. Whirt. *Lichens, bryophytes and air quality*- Bibliotheca Lichenologica J. Cramer. Berlin. Stuttgart.
- Nash, T. & Whirt, V. (1988). *Lichens, bryophytes and air quality*. Bibliotheca Lichenologica J. Cramer. Berlin. Stuttgart.
- Rubiano, L.J. (1987). Delimitación de áreas de isocontaminación en Cali y Medellín utilizando líquenes como bioindicadores. *Pérez-Arbelaezia* 1(4), 7-41.
- Rubiano, L.J. (1988). Líquenes como bioindicadores de contaminación en complejo industrial de Betania y la Termoeléctrica de Zipaquirá, Cundinamarca. *Acta Biológica Colombiana* 1 (4), 96-125.
- Rubiano, L.J. & Chaparro, M. (2006). Delimitación de áreas de isocontaminación atmosférica en el campus de la Universidad Nacional de Colombia mediante el análisis de bioindicadores (líquenes epifitos). *Acta Biológica Colombiana* 11 (2), 82-102.
- Santoni, C. & 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.
- Showman, R.E. (1973). The foliose and fruticose lichen flora of Ohio River Valley between Gallipolis, Ohio and Parkersburg West Virginia. Ohio. *Science Journal* 73, 64-372.
- Wirth, V. (1988). Phytosociological approaches to air pollution monitoring whit lichens.: 91-107. In: Nash, T. & V. Whirt. 1988. *Lichens, bryophytes and air quality*. Bibliotheca Lichenologica J. Cramer. Berlin. Stuttgart.