

Comunidades líquénicas como bioindicadores de calidad del aire

del Valle de Aburrá

Lichen communities as bioindicators of the Aburrá Valley air quality

Recibido para evaluación: 05 de Septiembre de 2009
Aceptación: 05 de Noviembre de 2010
Recibido versión final: 07 de Mayo de 2010

Margarita María Jaramillo Ciro¹
Liliana Rocío Botero Botero²

RESUMEN

Los líquenes han sido propuestos como bioindicadores de la calidad del aire por su alta sensibilidad a los cambios que afectan su abundancia, biomasa y vitalidad.

Para evaluar las afectaciones que los líquenes manifiestan como consecuencia de la contaminación atmosférica, se seleccionaron dos áreas de muestreo en los alrededores de dos estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire RedAire: el edificio Miguel de Aguinaga con alta contaminación y la Universidad de Medellín con baja contaminación. El monitoreo se realizó sobre las cortezas de 4 especies arbóreas como forofitos: Terminalia catappa Linneaus, Eritrina fusca Loureiro, Mangifera indica Linneaus y Fraxinus chinensis Roxb.

Para los análisis se consideraron las variables cobertura líquénica por especie, vitalidad y fructificación del talo. Finalmente los datos de cobertura fueron utilizados para determinar el índice de pureza atmosférica (IPA) y el factor Q.

Los resultados evidenciaron que de las 8 especies de líquenes encontradas, Canoparmelia sp. y Parmotrema austrosinensis (Zahlbr) Hale. son las más sensibles y apropiadas para estudios de calidad del aire en el Valle de Aburrá.

Los análisis estadísticos realizados a los valores de abundancia relativa por forofito mostraron que Fraxinus chinensis Roxb es la especie vegetal portante más apropiada para estudios de líquenes bioindicadores en el Valle de Aburrá.

Palabras Clave: Líquenes, bioindicadores, Valle de Aburrá, calidad del aire urbano, forofitos

ABSTRACT

Lichens have been used as bioindicators of air quality. They are sensitive to changes in air composition at any given site affecting their abundance, biomass and vitality.

This study evaluated lichen affectation as a consequence of air pollution. Two study areas within the Aburra Valley and the RedAire network were selected: Miguel Aguinaga (high pollution station) and the Medellín University (low pollution station). Four phorphytic tree species were chosen at each site Terminalia catappa Linneaus, Eritrina fusca Loureiro, Mangifera indica Linneaus y Fraxinus chinensis Roxb. The lichen cover by species, the vitality and the fructification were used to analyze the effect of air pollution. Finally, the lichen cover information was used to calculate the index of atmospheric purity (IAP) and the Q factor determination.

Total qualitative and quantitative information obtained made evident that Canoparmelia sp. and Parmotrema austrosinensis (Zahlbr) Hale. lichen species are the most sensitive, and therefore appropriate to assess air quality. Additionally, the statistical analysis carried out using the relative abundances by phorophytic trees, showed that Fraxinus chinensis Roxb is the most appropriate tree species for bioindicator lichens studies into the Aburrá valley.

Key Words: Lichens, bioindication, Aburrá valley, urban quality air, phorophytic trees.

1. Grupo Investigaciones y Mediciones Ambientales, GEMA, Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías, Universidad de Medellín

2. Bióloga, MSc., Grupo Investigaciones y Mediciones Ambientales, GEMA, Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías, Universidad de Medellín
lbotero@udem.edu.co



1. INTRODUCCIÓN

La búsqueda del mejoramiento de los niveles de vida en los países en desarrollo ha traído consigo el crecimiento industrial y demográfico que causan un deterioro en la calidad del aire y por lo tanto en la calidad de vida de las personas.

Colombia cuenta con 19 redes de monitoreo de la calidad del aire dispuestas en diferentes regiones del territorio nacional y tiene una larga tradición en materia de acciones para el control de la contaminación atmosférica (Consejo Nacional de Política y Economía Social, 2005).

RedAire es la red encargada del monitoreo de la calidad del aire de Medellín y los municipios que conforman el Valle de Aburrá; utiliza equipos robustos y realiza pruebas de alto costo que encarecen y limitan los monitoreos, lo que justifica ampliamente la necesidad de establecer metodologías eficientes de bajo costo que permitan ampliar las posibilidades de monitoreo de la calidad del aire.

Los bioindicadores son organismos altamente sensibles a las condiciones ambientales por lo que su ausencia o presencia, al igual que su morfología y desarrollo, indican claramente la existencia de contaminantes. En la actualidad, su uso se reconoce como una alternativa económica y de fácil manejo en países con grandes avances en ciencias ambientales, en los cuales estos sistemas ya están siendo implementados y pueden reemplazar la utilización de equipos técnicos costosos, materiales y mano de obra calificada (Coutiño y Montañez, 2000; Herzig y Urech, 1991).

Los bioindicadores tienen ventajas frente al monitoreo de parámetros fisicoquímicos, y proporcionan una medida de la intensidad del impacto y estrés ambiental, advirtiendo tempranamente sobre los posibles daños y dando una imagen de la extensión de la contaminación que está alcanzando a los seres vivos en un área determinada; estos bioindicadores permiten prever además los peligros potenciales para otros organismos y brindan información que cubre rangos de tiempo amplios, lo que no necesariamente puede ser captado con los análisis fisicoquímicos (Capó, 2002; Faggi, et al., 2002; Oak, 1995).

Por sus hábitos de crecimiento, características fisiológicas y morfológicas y su sensibilidad a las alteraciones atmosféricas, los líquenes han sido reconocidos como bioindicadores de la calidad de aire (Chaparro y Aguirre, 2002). Su crecimiento y distribución pueden ser afectados por una variedad de contaminantes encontrados en la atmósfera (Hutchinson et al., 1996). La absorción y acumulación de estas sustancias y su imposibilidad para excretarlas, retardan su crecimiento, dificultan su reproducción y pueden incluso provocar su muerte, pues rompen sus mecanismos homeostáticos y reducen su capacidad fotosintética.

Las poblaciones de líquenes aumentan o disminuyen su densidad de acuerdo con la presencia de factores adversos en la atmósfera: cuando la contaminación atmosférica es baja, los líquenes se desarrollan normalmente; cuando ésta incrementa, sus poblaciones disminuyen o desaparecen en su totalidad (Méndez y Fournier, 1980). Así, la sucesión ecológica de las comunidades que viven en las cortezas de los árboles puede verse afectada por la contaminación atmosférica (Monge- Najera et al., 2002; Monge- Najera y Chávez, 1996).

Jaramillo y Botero (2008) han evidenciado el potencial de los líquenes para evaluar la calidad del aire en el Valle de Aburrá. En sus estudios resaltan el potencial de la especie arbórea *Fraxinus chinensis* Roxb (urapán) como la especie vegetal de soporte de los líquenes (forofito portador), por ser la que presenta mayores diferencias en la cobertura líquénica frente a problemas de contaminación atmosférica.

Este artículo ha pretendido profundizar en la diversidad, morfología y desarrollo de la comunidad líquénica asociada a cuatro especies arbóreas *Terminalia catappa* Linneaus (almendro), *Eritrina fusca* Loureiro (búcaro), *Mangifera indica* Linneaus (mango) y *Fraxinus chinensis* Roxb. (urapán) como alternativa para evaluar la potencialidad de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

2. METODOLOGÍA

Área de muestreo: Los muestreos se llevaron a cabo en los alrededores de dos estaciones de monitoreo de RedAire (Figura 1): la estación Miguel Aguinaga (MA) ubicada aproximadamente a 25 m de altura al borde de una vía de alto tráfico vehicular en una zona comercial en el centro de Medellín y para la cual RedAire (2007) reporta mayores concentraciones de partículas suspendidas totales (PST); y la estación Universidad de Medellín (UdeM), ubicada en la periferia de la ciudad a una altura aproximada de 10 m en una zona residencial con bajo tráfico vehicular (Tabla 1).



Figura 1. Ubicación de los forofitos en las estaciones MA y UdeM.

Contaminante criterio	MA				UdeM
	PST $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM ₁₀ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO _x $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO _x $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Año					PST $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2004	103	70	60	8	80
2005	107	70	56	8	80
2006	100	60	30	6	81
2007	106	64	38	5	81

Tabla 1. Promedios anuales de algunos contaminantes criterios reportados para las dos estaciones de monitoreo de RedAire en las estaciones MA y UdeM entre los años 2004 y 2007. Partículas suspendidas totales (PST), partículas menores de 10 micrómetros (PM₁₀), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x).

Selección de forofitos portantes: La selección de los forofitos portantes se realizó con base en estudios previos de monitoreo de la comunidad líquénica que crece sobre las superficies de la corteza de los árboles (líquenes cortícolas) realizados en el Valle de Aburrá por Jaramillo y Botero (2008) y Jaramillo (2008), quienes, en sus estudios, recomiendan 4 especies arbóreas como forofitos por su abundancia en la ciudad y asociación con comunidades líquénicas: Terminalia catappa Linneaus (almendros), Eritrina fusca Loureiro (búcaros), Mangifera indica Linneaus (mangos) y Fraxinus chinensis Roxb. (urapanes).

Para la selección de los forofitos portantes, se implementó la metodología propuesta por Monge- Nájera (2002), según la cual los forofitos no deben presentar evidencias de actividad humana como encalado, pintura, cubiertas de papel, tratamiento con plaguicidas o daños causados por animales.

Además deben poseer diámetro del tronco superior a 20 cm y una inclinación del tronco inferior a 20° respecto a la vertical; no deben pertenecer a formaciones arbóreas excesivamente cerradas y las características morfológicas de los árboles deben corresponder a individuos sanos y sin rebrotes en la base del tronco.

Análisis cualitativo: Para el análisis cualitativo se tomaron en cuenta los aspectos morfológicos: apariencia general del talo, presencia de fracturas y estructuras reproductivas, vitalidad, resequedad, color y tamaño considerados indicadores de alteraciones metabólicas (Ederra, 1996).

Determinación del porcentaje de cobertura líquénica relativa: La medición de cobertura por especie de líquen se realizó usando la metodología propuesta por Monge- Nájera (2002) modificada, para lo cual se seleccionó el área con máxima cobertura líquénica a una altura de 1,60 m sobre el nivel del suelo en la corteza del árbol. El porcentaje de cobertura líquénica se determinó usando una plantilla transparente de polietilentereftalato (PET) de 100 cm² con la cual se generó un total de 100 cuadrículas de análisis; el muestreo fue realizado cuantificando y discriminando el área ocupada por cada una de las especies de líquenes detectadas en el estudio; los valores obtenidos fueron expresados como porcentaje de cobertura relativa. Todos los análisis de cobertura líquénica por forofito fueron realizados por triplicado.

Clasificación de líquenes: Para realizar la clasificación del material líquénico encontrado en condiciones de campo, se realizó la recolección de especímenes con la metodología propuesta por Chaparro y Aguirre (2002): se usaron cuchillas quirúrgicas, cuchillos y pinzas; una vez colectados, los especímenes fueron introducidos en bolsas de papel para evitar la putrefacción y finalmente, fueron transportados en cajas de cartón al laboratorio donde fueron secados a 45° C por un período de 48 horas en una estufa.

Para la identificación de los líquenes colectados, se determinó el tipo de talo líquénico usando un estéreomicroscopio. Los especímenes de difícil identificación fueron enviados con especialistas a la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Finalmente, las colecciones obtenidas fueron conservadas en el Herbario de la Universidad de Antioquia (HUA).

3. ANÁLISIS CUANTITATIVO

Para llevar a cabo estudios que permitieran la selección de especies líquénicas bioindicadoras, se halló el factor Q (ecuación 1), el cual determina el grado de sensibilidad de las especies encontradas, asumiendo que la contaminación reduce la diversidad de las especies y que una especie es tanto más sensible cuanto más representativa sea en una estación donde hay mayor diversidad (Rubiano, 2002).

$$Q_i = \sum \frac{A_j - 1}{E_j} \quad \text{Ecuación 1}$$

En la cual:

Q_i : Factor de resistencia de la especie i

A_j : Número de especies presentes en cada estación donde se encuentre i

E_j : Número de estaciones donde se halle i

Con el fin de asociar la riqueza de especies encontradas con los niveles de contaminación de las estaciones de estudio, se determinó el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) (ecuación 2) propuesto por Le Blanc y De Sloover (1970) modificado por Rubiano (2002).

$$IPA_j = \frac{Q_i \times f_i}{n} \times C_i \quad \text{Ecuación 2}$$



En la cual:

C_i : Cobertura relativa de la especie i en la estación j

F_i : Frecuencia de la especie i (número de forofitos de la estación j en que aparece la especie i)

n : Número de forofitos censados en la estación j .

Para el análisis estadístico de los porcentajes de cobertura líquénica, se utilizó el Software Stat Graphics Plus versión 5.1. Professional Edition.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Especies líquénicas identificadas

Los muestreos realizados en el tronco de las 4 especies arbóreas usadas como forofitos permitieron identificar un total de 7 especies de líquenes cortícolas (Tabla 2). De éstas, 5 correspondieron a especies foliosas (con talos desprendidos parcialmente del sustrato caracterizados por tener aspecto de hoja y estar formados por lóbulos aplanados con simetría dorsiventral), dos crustáceas (caracterizados por tener un talo que se adhiere fuertemente al sustrato con márgenes que pueden ser definidos o difusos) y un talo primario fruticoloso (caracterizados por tener forma de cabellera, en hebras que se ramifican o pendulares, por lo general con un solo punto de unión al sustrato).

Especie	Tipo de talo	% cobertura	
		MA	UdeM
<i>Candelariella solediosa</i> Poel & Reddi.	Crustáceo	6,9	1,8
<i>Canoparmelia</i> sp.	Folioso	0,0	39,5
<i>Heterodermia speciosa</i> (Wulf.) Trev.	Folioso	49,4	15,0
<i>Normandina pulchella</i> (Borr.) Nyl.	Folioso	0,0	5,2
<i>Cladonia</i> sp.	Fruticoloso		
<i>Parmotrema austrosinense</i> (Zahlbr.) Hale.	Folioso	0,0	34,7
<i>Pixine petricola</i> Nyl.	Crustáceo	43,7	3,1
Sp 1	Folioso	0,0	0,6

Tabla 2. Especies, tipos de talos y porcentaje de cobertura líquénica de los líquenes asociados a los forofitos muestreados (almendros, búcaros, mangos y urapanes) en la estaciones MA y UdeM.

Con respecto a las especies foliosas, la cobertura líquénica en la estación MA estuvo representada solamente por la especie *H. speciosa* (Wulf.) Trev. (49%), y para esta especie, no se encontraron estudios que determinaran sus potencialidades como bioindicadores de calidad del aire. En la estación UdeM, se detectaron 5 especies foliosas (95%), lo que es un indicativo de buena calidad atmosférica. Como indican Ederra (1996) y Lucking (1997), este tipo de líquenes suelen ser muy sensibles a los factores atmosféricos, y en ellos, la unión al sustrato no es muy pronunciada, lo cual los hace más dependientes del aire.

En diversos estudios en los que se incluye la especie foliosa *Normandina pulchella*, se indica la biodiversidad de líquenes como indicador de baja contaminación atmosférica (Geiser y Neitlich, 2007; Munzi, Ravera y Caneva, 2007; Castello y Skert, 2005; Gombert, Asta y Seaward, 2004; Loppi, Ivanov y Boccardi, 2002).

Para la especie foliosa *Canoparmelia texana*, se han realizado reportes de sus potencialidades como bioindicador de la contaminación del aire por uranio, torio, radio y plomo (Leonardo et al., 2010).

Cañas, Orellana y Pignata (1997) determinaron las potencialidades de la especie foliosa *P. austrosinense* (Zahlbr) Hale para diferenciar zonas de alta y baja contaminación mediante estudios *ex situ*.

Para las especies crustáceas, la cobertura líquénica en la estación MA estuvo representada por el 51%, mientras que en la estación UdeM, este tipo de crecimiento alcanzó valores menos representativos (4,8%). Estos resultados muestran el potencial de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire y apoyan los resultados previamente reportados por Ederra (1996) y Hawksworth y Rose (1970) quienes afirman que los talos crustáceos son menos vulnerables a las alteraciones de la calidad del aire ya que éstos presentan una unión más estrecha con el sustrato, tienen crecimiento marginal y no poseen corteza inferior.

En este estudio, fue posible encontrar en la estación UdeM talos primarios del líquen fruticuloso *Cladonia* sp. asociados a la especie *N. pulchella* (Borr.) Nyl. Los estudios realizados por Hyvarinen y Crittenden (1998) relacionaron la pérdida de biomasa de los individuos de la especie *Cladonia portentosa* como consecuencia de la precipitación ácida anual. Backor y Fahsel (2004) indicaron que *Cladonia pleurota* puede ser usado para estudios de contaminación con metales como Fe, Al, Cu y Ni. Chettri (1997) reporta acumulación de Pb, Cu y Zn para las especies *Cladonia convoluta* (Lam.) y *Cladonia rangiformis*. En términos generales, este tipo de talo ha sido asociado a ecosistemas urbanos con buena calidad de aire (Vergara et al., 2007; Crespo et al., 1981). Como indican Hawksworth y Rose (1970), estos líquenes, junto con los filamentosos, son los primeros en desaparecer de un ecosistema urbano como consecuencia de la contaminación atmosférica. Sin embargo, su baja representatividad (5,2%) puede ser un indicio de algún tipo de alteración de la calidad del aire que limita su colonización en la estación UdeM.

3.2. Alteraciones morfológicas detectadas en los líquenes

Al comparar los líquenes presentes en las dos estaciones monitoreadas (Figura 2 a y b), se evidenciaron importantes cambios en la morfología y en el estado de desarrollo de las comunidades líquénicas. Entre las múltiples alteraciones detectadas, estuvo la decoloración del talo que causa una disminución de la capacidad fotosintética y adaptativa del líquen.

Según Crespo y colaboradores (1977), esta alteración se presenta en ambientes contaminados, posiblemente como consecuencia de la pérdida de iones que induce alteraciones en las membranas celulares del alga asociada y ruptura de los mecanismos homeostáticos.

También se detectó una reducción marcada en el tamaño de los talos líquénicos, los cuales presentaron valores promedios de 15 ± 5 cm y 1 ± 2 cm para las estaciones UdeM y MA respectivamente.

Esta reducción es uno de los caracteres más comúnmente reportado en estudios de líquenes como bioindicadores (Gaio y Branquinho, 1999; Carreras, Gudino y Pignata, 1998; Crespo et al., 1977; Hawksworth y Rose, 1970).

Otros caracteres morfológicos permitieron evidenciar igualmente afectaciones en la comunidad líquénica. Así por ejemplo se detectó la presencia de fracturas de los talos, la pérdida de vigor, la resequead y los plegamientos acusados de las áreas centrales de los talos; y esta última alteración, como indica Crespo et al. (1977), es una adaptación que permite a los líquenes reducir al máximo la superficie de contacto con la corteza.

En la estación UdeM, se encontraron líquenes con estructuras reproductivas (Figura 2b) para las especies *H. speciosa* (Wulf.) Trev. y *Canoparmelia* sp, como indican Hawksworth y Rose (1970). Este tipo de estructuras no se desarrolla en ambientes donde los líquenes están expuestos a contaminación y solo se reporta para ambientes poco perturbados por lo que es considerado un indicador de buena calidad del aire.

En general los análisis morfológicos realizados a los líquenes en este estudio evidenciaron el deterioro de la calidad del aire que fue reportado por RedAire entre los años 2004 y 2007 para partículas suspendidas totales (PST) en la estación MA (Tabla 1). Esta relación apoya el potencial de los parámetros morfológicos de los líquenes para el estudio y monitoreo de calidad del aire.



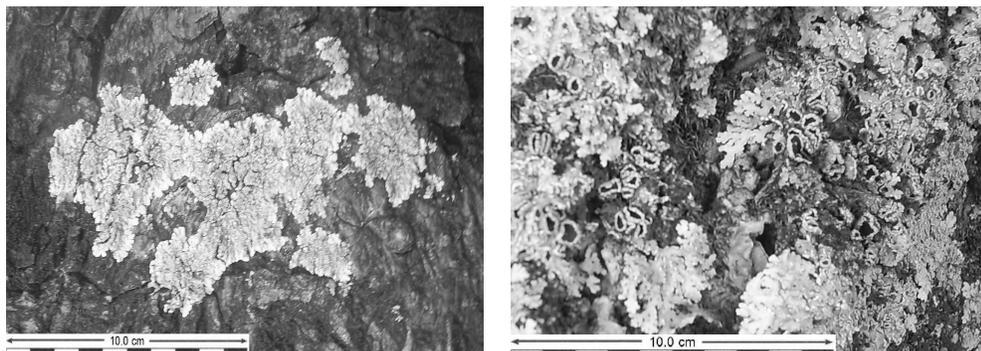


Figura 2. a y b. *Heterodermia speciosa* (Wulf.) Trev. sobre corteza de Búcaro (*Entina fusca* Loureiro). a. con presencia de oclusamientos en la estación MA. b. con presencia de estructuras reproductivas (apotecios) en la estación UdeM

Especie	Tipo de talo	% cobertura	
		MA	UdeM
<i>Candelariella sorediosa</i> Poel & Reddi.	Crustáceo	6,9	1,8
<i>Canoparmelia</i> sp.	Folioso	0,0	39,5
<i>Heterodermia speciosa</i> (Wulf.) Trev.	Folioso	49,4	15,0
<i>Normandina pulchella</i> (Borr.) Nyl.	Folioso	0,0	5,2
<i>Cladonia</i> sp.	Fruticoloso		
<i>Parmotrema austrosinense</i> (Zahlbr.) Hale.	Folioso	0,0	34,7
<i>Pixine petricola</i> Nyl.	Crustáceo	43,7	3,1
Sp 1	Folioso	0,0	0,6

Tabla 2. Especies, tipos de talos y porcentaje de cobertura líquénica de los líquenes asociados a los forófitos muestreados (almendros, búcaros, mangos y urapanes) en la estaciones MA y UdeM.

3.3. Cobertura líquénica por estación

El análisis de los porcentajes de cobertura líquénica (Tabla 2) muestra que para la estación MA, las especies con mayores porcentajes de cobertura fueron *H. speciosa* (Wulf.) Trev y *P. petricola* Nyl., mientras que para la estación UdeM, fueron *Canoparmelia* sp y *P. austrosinense* (Zahlbr.) Hale; ésta última ausente en la estación MA.

La alta capacidad de la especie *H. speciosa* (Wulf.) Trev. para colonizar la corteza de los árboles en la estación MA (Tabla 2) apoya su potencial como bioindicador de alta contaminación.

3.4. Cobertura líquénica por forofito portante

Los análisis de cobertura relativa realizados diferenciando los forofitos portantes en cada estación (Tabla 3), mostraron que esta diferenciación es de gran importancia para incrementar la sensibilidad de los análisis. Así, la capacidad de la especie *H. speciosa* (Wulf.) Trev. para diferenciar la estación UdeM de la MA se ve disminuida al incluir búcaros y almendros, ya que al evaluar los porcentajes de cobertura relativa sobre mango y/o urapanes, éstos alcanzaron valores de cobertura relativas del 74% y 86% respectivamente para la estación MA, mientras que para la estación UdeM, se presentó ausencia total de la especie líquénica en ambas especies vegetales.

Tabla 3. Porcentaje de cobertura líquénica relativa para los forofitos *Terminalia catappa* Linneaus (almendro), *Eritrina fusca* Loureiro (búcaro), *Mangifera indica* Linneaus (mango) y *Fraxinus chinensis* Roxb. (urapán) en las estaciones monitoreadas MA y UdeM.

Forofito	Especie líquénica	% de cobertura por Estación	
		MA	UdeM
Almendro	<i>Candelariella solediosa</i> Poel & Reddi.	0	1
	<i>Canoparmelia</i> sp.	0	71
	<i>Heterodermia speciosa</i> (Wulf.) Trev.	30	9
	<i>Normandina pulchella</i> (Borr.) Nyl.	0	0
	<i>Parmotrema austrosinense</i> (Zahlbr.) Hale.	0	18
	<i>Pixine petricola</i> Nyl.	71	2
	Sp1	0	0
Búcaro	<i>Candelariella solediosa</i> Poel & Reddi.	0	3
	<i>Canoparmelia</i> sp.	0	0
	<i>Heterodermia speciosa</i> (Wulf.) Trev.	30	63
	<i>Normandina pulchella</i> (Borr.) Nyl.	0	2
	<i>Parmotrema austrosinense</i> (Zahlbr.) Hale.	0	18
	<i>Pixine petricola</i> Nyl.	70	11
	Sp1	0	3
Mango	<i>Candelariella solediosa</i> Poel & Reddi.	15	2
	<i>Canoparmelia</i> sp.	0	46
	<i>Heterodermia speciosa</i> (Wulf.) Trev.	74	0
	<i>Normandina pulchella</i> (Borr.) Nyl.	0	5
	<i>Parmotrema austrosinense</i> (Zahlbr.) Hale.	0	48
	<i>Pixine petricola</i> Nyl.	11	0
	Sp1	0	0
Urapán	<i>Candelariella solediosa</i> Poel & Reddi.	0	2
	<i>Canoparmelia</i> sp.	0	33
	<i>Heterodermia speciosa</i> (Wulf.) Trev.	86	0
	<i>Normandina pulchella</i> (Borr.) Nyl.	0	13
	<i>Parmotrema austrosinense</i> (Zahlbr.) Hale.	0	50
	<i>Pixine petricola</i> Nyl.	14	2
	Sp1	0	0

Es factible que algunas características de los forofitos portantes, tales como la textura de la corteza, puedan incrementar o disminuir el impacto que la contaminación tiene sobre ellos, así como su capacidad de colonización. Por ejemplo, la especie *H. speciosa* (Wulf.) Trev. que posee mejores estructuras de adhesión que le permiten colonizar más eficientemente cortezas con texturas menos rugosas como la de los almendros y los búcaros, puede encontrar con ello ventajas adaptativas en los ambientes contaminados en los que hay poca competencia con otros organismos epifitos más exigentes; adicionalmente, la especie *Canoparmelia* sp, más exigente en la calidad del aire, presentó mayor crecimiento sobre mangos y urapanes, los forofitos con cortezas mas rugosas.

La especie *P. petricola* Nyl. (Tabla 3) presentó mayores diferencias en cobertura entre estaciones en los forofitos búcaros y almendros, con valores de 70% y 71% en la estación MA y 11% y 2% en la estación UdeM para ambos forofitos respectivamente; sin embargo se observa una gran pérdida de sensibilidad del análisis de coberturas para esta especie en urapanes y mangos con valores de 14% y 11% para MA y de 2% y 0% para UdeM.

Todos los análisis diferenciando los forofitos portantes de las comunidades líquénicas indican que, para estudios de calidad del aire, se requiere explicitar el forofito sobre el cual se hace el monitoreo.

Los análisis de varianza realizados para evidenciar la sensibilidad de las especies líquénicas por estación de monitoreo, concluyeron que las especies con $p > 0,05$ *C. solediosa* Poel & Reddi ($p=0,2819$), *H. speciosa* (Wulf.) Trev ($p=0,6696$), *N. pulchella* (Borr.) Nyl. ($p=0,0857$), y *P. petricola* Nyl ($p=0,3282$) no presentan diferencias significativas entre las estaciones, por lo que su presencia o ausencia en un espacio determinado no brinda mucha información sobre las perturbaciones que allí se están generando.

Para las especies *Canoparmelia* sp. ($p=0,0148$) y *P. austrosinense* (Zahlbr.) Hale ($p=0,0055$) con $p < 0,05$ sí se detectaron diferencias significativas entre las estaciones de monitoreo, evidenciando que estas dos especies son mucho más sensibles a las perturbaciones; estos resultados apoyan su potencial como bioindicadores de calidad del aire.

Como se aprecia en la prueba de cajas y bigotes, la capacidad de cobertura para las especies *Canoparmelia* sp. (Figura 3) puede alcanzar valores de porcentaje de cobertura relativa hasta del 71.3% con valores promedios de 38% en la estación UdeM, pero presenta ausencia total en la estación MA.

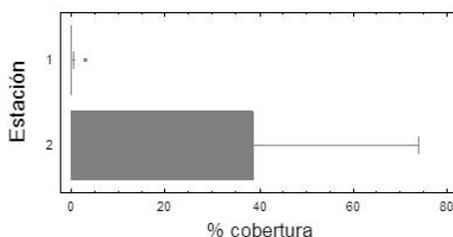


Figura 3. Prueba de cajas y bigotes para el porcentaje cobertura del líquen *Canoparmelia* sp. por estación. Estación 1: MA, estación 2: UdeM.

Resultados similares se obtuvieron con la especie *P. austrosinense* (Zahlbr.) Hale (Figura 4) que alcanzó valores de porcentaje de abundancia relativa del 49.7% con valores promedios de 33.2% en la estación UdeM y ausencia total en MA.

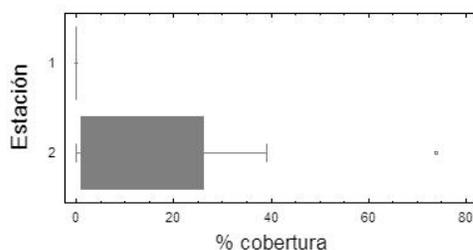


Figura 4. Prueba de cajas y bigotes para el porcentaje cobertura del líquen *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale por estación. Estación 1: MA, estación 2: UdeM.

Los resultados del análisis multifactorial para determinar el efecto de la estación (UdeM o MA) y el forofito (búcaro, urapán, mango o almendro) sobre los porcentajes de coberturas líquénicas de las especies sensibles *Canoparmelia* sp. ($p=0,0156$) y *P. austrosinense* (Zahlbr.) ($p=0,0064$) permitieron determinar nuevamente que la estación (y su grado de contaminación) es más determinante que el forofito sobre la capacidad de colonización de las cortezas arbóreas, ya que el efecto de la estación fue significativa ($p < 0,05$) tanto para *Canoparmelia* sp. ($p=0,0156$) como para *P. austrosinense* (Zahlbr.) ($p=0,0064$), mientras que el efecto de los forofitos no fue significativo en ninguno de los casos (p de 0.3875 y 0.4431 para ambas especies líquénicas respectivamente). Para las demás especies de líquenes, no se encontraron diferencias significativas en los efectos de los forofitos o las estaciones de monitoreo.

3.5. Factor Q e índice de pureza atmosférica

Los resultados para los valores de Q (Tabla 4) mostraron que *P. austrosinense* (Zahlbr.) Hale. con Q de 4, 5, 3, 5 y *Canoparmelia sp.* con Q de 4, 2, 3, 5 para almendros, búcaros, mangos y urapanes respectivamente presentaron los valores más altos, indicando que éstas son las especies más sensibles y mejores candidatas para ser usadas como bioindicadores de buena calidad del aire, mientras que las especies *H. speciosa* (Wulf.) Trev. y *P. petricola* Nyl. que presentaron mayor crecimiento en la estación de mayor contaminación, fueron las especies que presentaron menores valores de Q.

Los valores de IPA (Tabla 4) que asocian la diversidad y la abundancia relativa de los líquenes de un lugar con su pureza atmosférica, mostraron que los urapanes con IPA de 0,33 y 11,33 y los almendros con IPA de 0,023 y 8,02 fueron los forofitos con mayores diferencias entre las estaciones MA y UdeM respectivamente.

Estos resultados indican que hay mejor calidad del aire en la estación UdeM, comparada con la estación MA, apoyando los reportes de Jaramillo y Botero (2008), quienes resaltan el potencial de estas dos especies vegetales para estudios de monitoreo de calidad del aire en el Valle de Aburrá. Nuevamente, el análisis de los valores de IPA obtenidos para los búcaros (IPA de 4,02 y 9,67) y mangos (IPA de 5,00 y 5,14) evidencian el riesgo de pérdida de sensibilidad de los análisis al incluir estas especies como forofitos en estudios de calidad del aire.

Tabla 4. Valores de Índice de Pureza Atmosférica (IPA) y número de especies para los diferentes forofitos en las estaciones de monitoreo MA y UdeM. Factor Q para las especies líquénicas por forofito.

Especie- líquen	Factor Q							
	Almendro		Búcaro		Mango		Urapán	
<i>Candelariella solediosa</i> Poel & Reddi.	4		5		2.5		5	
<i>Canoparmelia sp.</i>	4		2		3		5	
<i>Heterodermia speciosa</i> (Wulf.) Trev.	0.07		3.5		2		3	
<i>Normandina pulchella</i> (Borr.) Nyl.	0		5		3		5	
<i>Parmotrema austrosinense</i> (Zahlbr.) Hale.	4		5		3		5	
<i>Pixine petricola</i> Nyl.	0.07		3.5		2		3	
<i>Sp1</i>	0		5		0		0	
Estación	MA	UdeM	MA	UdeM	MA	UdeM	MA	UdeM
N° especies	2	4	3	6	3	4	2	6
IPA	0,02	8	4	9,7	5	5,1	0,3	11,3

4. CONCLUSIONES

La información obtenida al implementar los líquenes como bioindicadores de calidad del aire para comparar las estaciones UdeM y MA está en concordancia con los datos reportados por RedAire para PST.

Las especies *Canoparmelia sp.* y *P. austrosinense* (Zahlbr.) Hale. podrían ser usadas como bioindicadores de buena calidad del aire en el Valle de Aburrá.

El urapan (*F. chinensis* Roxb.) es la especie arbórea portante más adecuada para estudios de calidad del aire que incluyan los líquenes como bioindicadores en el Valle de Aburrá.

Los caracteres morfológicos como tamaño, vigor, presencia de estructuras reproductivas, color y presencia de fracturas en los talos líquénicos son de gran valor para evidenciar las alteraciones en la calidad del aire del Valle de Aburrá.

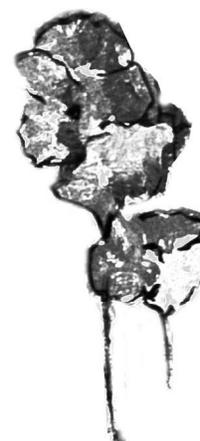
El IPA y el factor Q mostraron ser parámetros importantes para estudios de líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en el Valle de Aburrá.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Grupo de Investigaciones y Mediciones Ambientales, GEMA, de la Universidad de Medellín y a los doctores Esperanza Franco de la Universidad de Antioquia, Jaime Aguirre y Viviana Moncada de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, por su aporte para la identificación de los especímenes colectados.

BIBLIOGRAFÍA

- Backor, M. y Fahselt, D., 2004. Physiological attributes of the lichen *Cladonia pleurota* in heavy metal-rich and control sites near Sudbury (Ont., Canada). *Environmental and Experimental Botany* 52, pp. 149- 159.
- Cañas, M., Orellana, L. y Pignata, M., 1997. Chemical response of the lichens *Parmotrema austrosinense* and *P. conferendum* transplanted to urban and non-polluted environments. *Annals Botanica Fennici* 34, pp. 27- 34.
- Capó Martí, M., 2002. Principios de ecotoxicología. Mac Graw Hill. Madrid. 320 P.
- Carreras, H., Gudino, G. y Pignata, M., 1998. Comparative biomonitoring of atmospheric quality in five zones of Cordoba city employing the transplanted lichen *Usnea* sp. *Environmental Pollution* 103, pp. 317- 325.
- Castello, M. y Skert, N., 2005. Evaluation of lichen diversity as an indicator of environmental quality in the North Adriatic submediterranean región. *Science of the Total Environment* 336, pp. 201- 214.
- Chaparro, M. y Aguirre, J., 2002. Hongos liquenizados. Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Primera edición. Bogotá. 220 P.
- Chettri, M., Sawidisa, T., Zachariadis, G., et al., 1997. Uptake of heavy metals by living and dead *Cladonia thalli*. *Environmental and Experimental Botany* 37, pp. 39- 52.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2005. República de Colombia Departamento Nacional de Planeación. Documento CONPES 3344. Bogotá.
- Coutiño, B. y Montañez, A., 2000. Los líquenes. Ciencias. Julio- septiembre. Laboratorio de etnobotánica. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de México, pp. 64- 65.
- Crespo, A., Barreno, E., Sancho, L., et al., 1981. Establecimiento de una red de valoración de pureza atmosférica en la provincia de la Coruña (España) mediante bioindicadores líquénicos. *Lazaroa* 3, pp. 289- 311.
- Crespo, A., Manrique, E., Barreno, E., et al., 1977. Valoración de la contaminación atmosférica del área urbana de Madrid mediante bioindicadores (líquenes epífitos). *Anales Instituto Botánico Canavilles* 34 (1), pp. 71- 94.
- Ederra, A., 1996. Botánica ambiental aplicada. Segunda edición. Ediciones EUNSA. Pamplona. 212 P.
- Faggi, A., Agueda, M., Perelman, P., et al., 2002. Anteproyecto: Bioindicadores ambientales de contaminación a lo largo de un gradiente de urbanización en Buenos Aires. [en línea]. Buenos Aires. Disponible en internet: http://www.uflo.edu.ar/investigacion/investigaciones/cv_ambientefisico/Bioindicadores%20ambientales_Faggi.doc



- Gaio- Oliveira, C. y Branquinho, C., 1999. Spatial impact of atmospheric dust from a cement mill in Sierra Da Arrábida, using lichens as biomonitoring. *Revista de Biología (Lisboa)* 17, pp. 33- 42.
- Geiser, L. y Neitlich, P., 2007. Air pollution and climate gradients in western Oregon and Washington indicated by epiphytic macrolichens. *Environmental Pollution* 145, pp. 203- 218.
- Gombert, S., Asta, J. y Seaward, M., 2004. Assessment of lichen diversity by index of atmospheric purity (IAP), index of human impact (IHI) and other environmental factors in an urban area (Grenoble, southeast France). *Science of the Total Environment* 324, pp. 183- 99.
- Hawksworth, D. y Rose, F., 1970. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature* 227, pp. 145- 148.
- Herzig, R. y Urech, M., 1991. Flechten als Bioindikatoren. *Bibliotheca Lichenologica* 43, pp.1- 28.
- Hutchinson, J.; Maynard, D. y Geiser, L., 1996. Air Quality and Lichens - A Literature Review Emphasizing the Pacific Northwest, USA [en línea]. Estados Unidos. USDA Forest Service, Pacific Northwest Region Air Resource Management Program. Disponible en internet: <http://airlichen.nacse.org/cgi-bin/qml/usair/literature/index.html#Introduction>
- Hyvarinen, M. y Crittenden, P., 1998. Growth of the cushion-forming lichen, *Cladonia portentosa*, at nitrogen-polluted and unpolluted heathland sites. *Environmental and Experimental Botany* 40, pp. 67- 76.
- Jaramillo, M. y Botero, L., 2008. Estudio exploratorio posibles afectaciones de la comunidad líquénica asociada a dos estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. En: *Memorias II Congreso Nacional Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Bogotá.
- Jaramillo, M., 2008. Estudio exploratorio de las posibles afectaciones de la comunidad líquénica asociada a dos estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. *Revista La Fragua* 1(2), pp. 87- 101.
- Le Blanc, F. y De Sloover, 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany* 48, pp. 1458- 1495.
- Leonardo, L., Mazzilli, B., Damatto, S., et al, 2010. Assessment of atmospheric pollution in the vicinity of a tin and lead industry using lichen species *Canoparmelia texana*. *Journal of Environmental Radioactivity* xxx. doi: 10.1016/j.jenvrad.2010.04.002, pp. 1- 5
- Loppi, S., Ivanov, D., Boccardi, R., 2002. Biodiversity of epiphytic lichens and air pollution in the town of Siena (Central Italy). *Environmental Pollution* 116, pp. 123- 128.
- Lucking, R., 1997. The use of foliicolous lichens as bioindicators in the tropics with special reference to the microclimate. *Abstracta Botanica* 21, pp. 99- 116.
- Méndez, O. y Fournier, L., 1980. Los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el Área Metropolitana de San José, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 28, pp. 31- 39.
- Monge-Nájera, J. y Chávez, R., 1996. *Ecología: Una introducción práctica*. San José: Editorial de la Universidad de Costa Rica. 245 P.
- Monge-Nájera, J., Gonzales, M., Rivas, M., et al., 2002. A new method to assess air pollution using lichens as bioindicators. *Revista Biología Tropical* 50(1), pp. 321- 325.
- Munzi, S., Ravera, S., Caneva, G., 2007. Epiphytic lichens as indicators of environmental quality in Rome. *Environmental Pollution* 146, pp. 350- 358.
- Oak Ridge Natural Laboratory, 1999. *Ecological risk assessment*. U.S.A: CRC Press, 1995. Citado por: Garza, A., Victoriano, B. y Fernández, I. *Indicadores de contaminación y bioindicadores*. [en línea]. Monterrey. @SF. [citado ene., 2006]. Disponible en internet: <http://www.uacj.mx/publicaciones/sf/Vol2num4/Articulo.htm>



Rubiano, L., 2002. Monitoreo de áreas de isocontaminación en la región de influencia de la Central Termoeléctrica Martín del Corral utilizando líquenes como bioindicadores. Pérez-Arbelaza 13, pp. 91- 105.

Redaire Red de Vigilancia de la Calidad del Aire, Redaire, 2007. © RED AIRE (2007). Disponible en internet: http://www.unalmed.edu.co/redaire/informes/Informe_Grafico_Mes_Julio_2007%20sin%20ICA.pdf

Vergara, D.; Paredes, T. y Simbaña, W., 2007. Líquenes como bioindicadores de contaminación en el sitio de disposición final desechos sólidos, isla Santa Cruz, Galápagos. RIO-B «Residuos en Islas Oceánicas»© copyright by wat karlsruhe germany. [citado ene, 2007]. Disponible: http://www.rio-b.com/pdf/0509walter_Liquenes_junio05.pdf



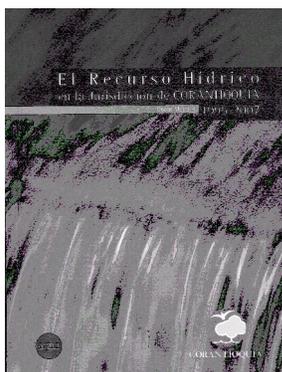
CORANTIOQUIA

SUBDIRECCIÓN DE PLANEACIÓN Y ESTRATEGIAS CORPORATIVAS

CENTRO DE INFORMACIÓN AMBIENTAL

Reseña Bibliográfica No. 0

El Recurso Hídrico en la Jurisdicción de CORANTIOQUIA 1995-2007 / Oscar Mejía Rivera, Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, CORANTIOQUIA. Medellín: CORANTIOQUIA, 2008. 207 p.



Esta publicación sobre el agua, presenta algunas generalidades de ella en el mundo, en Latinoamérica y en nuestro país. Para el departamento de Antioquia, hace énfasis en la jurisdicción de CORANTIOQUIA : el panorama de la oferta, demanda y usos del recurso, incluyendo la demanda del agua subterránea, la implementación de los instrumentos económicos, tasa por utilización, tasa retributiva, las hipótesis y requerimientos mínimos para desarrollar una estrategia y su montaje, se mencionan los planes de saneamiento y el manejo de vertimientos, el estado de conocimiento, que se ha alcanzado a lo largo de varias décadas de investigación en este territorio, y finalmente plantea la necesidad de contar con un sistema integrado de información del agua para su adecuado manejo y administración, propone el modelo: DUBERDICUS.

Se da a conocer el inventario bibliográfico de la Memoria Institucional y de otras investigaciones y estudios independientes que sobre el recurso hídrico posee el Centro de Información Ambiental, CIA de la Corporación.

Este es el primer libro de una serie que la Corporación entregará a la comunidad, a los académicos y estudiosos de la temática ambiental, producto del programa corporativo «Gestión de la Información y el Conocimiento», que tiene como uno de sus objetivos, rescatar del olvido los saberes acumulados de varios años de gestión institucional y de la urgencia que tiene el planeta tierra de que lo conozcamos y cuidemos responsablemente.

Disponible para consulta en el Centro de Información Ambiental de CORANTIOQUIA, también se envía en canje a todas las Bibliotecas de la ciudad y a las Instituciones del SINA a nivel nacional.