

Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Quibdó, Chocó, Colombia

Lichens as bioindicators of air quality in Quibdó city, Chocó, Colombia

Hamleth Valois-Cuesta*, Yeison Mosquera-Palacios*

Resumen

Objetivo: Determinar la sensibilidad de las comunidades de líquenes en la identificación de gradientes de contaminación atmosférica en ciudades pequeñas no industrializadas. **Metodología:** El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Quibdó, Chocó, Colombia, en cuatro estaciones de muestreo a lo largo de un gradiente de congestión vehicular desde el centro de la ciudad hasta una zona rural. En cada sitio se midió la estructura y composición de la comunidad de líquenes. **Resultados:** La diversidad ($\chi^2=0.4$, $p=0.19$), equidad ($\chi^2=0.8$, $p=0.85$) y dominancia ($\chi^2=0.01$, $p=0.99$) no variaron entre sitios con alto y bajo tráfico. Sin embargo, el porcentaje de morfo-especies foliosas ($\chi^2=47$, $p<0.001$) y la abundancia ($\chi^2=239.5$, $p<0.001$) a incrementar con la congestión vehicular, mientras que el porcentaje de morfo-especies costrosas ($\chi^2=133.2$, $p<0.001$) y la cobertura tienden ($\chi^2=9.1$, $p=0.02$) disminuyeron en esa dirección del gradiente. Las familias Physciaceae, Parmeliaceae, Lobariaceae y Coccocarpiaceae fueron más abundantes en sitios con alto tráfico de vehículos, mientras que familias como Pertusariaceae, Arthoniaceae, Thelotremales y Lecanoraceae fueron más representativas en ambientes con nula movilidad vehicular. **Conclusión:** Las comunidades de líquenes son altamente sensibles para identificar gradientes de contaminación atmosférica en ciudades pequeñas no industrializadas. Variables como la riqueza, la abundancia, la cobertura y la composición de líquenes foliosos y costrosos se pueden usar para generar modelos que permitan identificar gradientes de contaminación atmosférica. Se recomienda el uso de familias como Physciaceae, Parmeliaceae, Lobariaceae, Coccocarpiaceae, Pertusariaceae, Arthoniaceae, Thelotremales y Lecanoraceae en la zonificación ambiental en Quibdó y otras ciudades en la región del Chocó biogeográfico.

Palabras clave: Bioindicación, Chocó, Contaminación atmosférica, Líquenes, Sensores biológicos.

Abstract

Objective: The aim of this work was determinate the role of lichens as bioindicators of air pollution in non-industrialized small towns. **Methodology:** The study was conducted in Quibdó, Chocó, Colombia. In this city we chose four sampling stations along a gradient of traffic congestion from the city center to a rural area. At each site we measured the structure and composition of the community of lichens. **Results:** Diversity ($\chi^2=0.4$, $p=0.19$), evenness ($\chi^2=0.8$, $p=0.85$), and dominance ($\chi^2=0.01$, $p=0.99$) did not differ between sites. However, the percentage of foliose morpho-species ($\chi^2=47$, $p<0.001$) and abundance ($\chi^2=239.5$, $p<0.001$) tend to increase with traffic congestion while the percentage of crustose morpho-species ($\chi^2=133.2$, $p<0.001$) and coverage ($\chi^2=9.1$, $p=0.02$) decreased in the direction of the gradient. Families such as Physciaceae, Parmeliaceae, Coccocarpiaceae and Lobariaceae were more abundant at sites with high vehicular traffic while Pertusariaceae, Arthoniaceae, Lecanoraceae and Thelotremales were more representative in environments with no vehicular mobility. **Conclusion:** Lichen communities are highly sensitive to identify gradients of air pollution in non-industrialized small towns. Variables such as richness, abundance, coverage and composition of foliose and crustose lichens can be used to generate models for the identification of air pollution gradients. Families such as Physciaceae, Parmeliaceae, Lobariaceae, Coccocarpiaceae, Pertusariaceae, Arthoniaceae, Thelotremales and Lecanoraceae can be used for environmental zoning in Quibdó and other cities in the biogeographical-Chocó region.

* Programa de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Tecnológica del Chocó, Quibdó, Chocó, Colombia.
e-mail: hamleth@ula.ve

Fecha recepción: Abril 9, 2014

Fecha aprobación: Junio 2, 2014

Editor asociado: Quinto H.

Keywords: Air pollution, Bioindication, Biological sensors, Chocó, Lichens.

Introducción

Los líquenes son una asociación simbiótica entre un hongo (ascomiceto, rara vez basidiomiceto o ficomiceto) y un alga (cianofita o clorofita), donde el alga proporciona alimento al hongo, mientras que el hongo se encarga de proteger el alga de la desecación, facilitando agua y sales minerales (Conti y Cecchetti 2001, Umaña y Sipman 2002). A pesar de ello, desde el punto de vista de su clasificación sistemática, los líquenes son circunscritos al reino Fungi o reino de los hongos, motivo por el cual también son llamados hongos liquenizados. Los líquenes son organismos perennes, de lento crecimiento, que se encuentran distribuidos por todo el mundo, desde las tundras hasta los desiertos y desde las costas hasta las altas montañas tropicales. Crecen en una variedad de sustrato, sin embargo, dependen del ambiente para su nutrición (Conti y Cecchetti 2001, Umaña y Sipman 2002).

Según su apariencia, los líquenes se pueden clasificar en tres grupos: crustáceos o costrosos (aquejillos con aspecto de costra delgadas sobre el sustrato), foliosos (talos laminares, lóbulos y divisiones variables, unidas fuerte o débilmente al sustrato) y fruticosos (con un talo de apariencia ramificada) (Umaña y Sipman 2002). A nivel mundial existen unas 20.000 especies de líquenes; en Colombia se tiene registro de 800 especies, de estas, 13% se registran en la región del Chocó biogeográfico (189 especies, 67 géneros y 28 familias) (Aguirre y Sipman 2004).

Aunque los líquenes tienen una distribución cosmopolita, muchas de sus especies son sensibles a contaminantes del aire porque su metabolismo depende primariamente de la deposición de agua y nutrientes que provienen de la atmósfera y como carecen de superficie cuticular, ellos absorben y acumulan fácilmente los contaminantes difuminados en el aire (Alebic-Juretic y Arko-Pijevac 1989, Bedregal *et al.* 2009). En muchos países industrializados los líquenes han demostrado ser sensibles a una amplia gama de compuestos químicos en el aire tales como amonio, sulfuro, polvo alcalino, metales radioactivos e hidrocarburos (Haworth y Rose 1979, Linares 1998, Silberstein *et al.* 1996, Vokou *et al.*

1999, McCune 2000, Aspiazu *et al.* 2007, Bedregal *et al.* 2009).

La contaminación del aire derivada de la quema de combustibles fósiles e industrialización tiene importantes consecuencias sobre la salud humana, estimándose que a nivel mundial es la causante de aproximadamente dos millones de muertes prematuras por año (Bedregal *et al.* 2009), por lo tanto, monitorear y controlar la contaminación atmosférica es una tarea de vital importancia para mantener bienestar social y calidad de vida. Colombia cuenta con una serie de redes que se encargan de monitorear la calidad del aire en diferentes regiones del territorio nacional por medio del uso de equipos y pruebas de alto costo que limita los monitoreos a las principales ciudades del país (Jaramillo y Botero 2010), lo cual pone de manifiesto la necesidad de crear herramientas metodológicas alternativas que permitan ampliar las posibilidades de monitoreo de la calidad del aire a más bajo costo y en más ciudades de la geografía nacional. El uso de organismos sensibles a la contaminación constituye una alternativa que puede facilitar el monitoreo del ambiente a bajo costo con ventajas frente a la aproximación fisicoquímica en que proporciona una imagen directa sobre la extensión del estrés ambiental al que han sido sometidos o están siendo sometidos unos organismos y cómo ese estrés afecta la estructura de sus poblaciones y/o comunidades (Jaramillo y Botero 2010).

En Colombia, existen pocos trabajos donde se usan los líquenes como bioindicadores (Rubiano 1987, 2002, Rubiano y Chaparro 2006) y la mayoría de los estudios sobre líquenes han tenido un enfoque más taxonómico (Linares y Pinzón 2001, Aguirre y Sipman 2004, Rubiano y Chaparro 2006, Valois-Cuesta 2006).

La ciudad de Quibdó, capital de departamento del Chocó, es una ciudad pequeña, rodeada por una exuberante matriz de vegetación, y como no presenta un auge industrial, podría pensarse que es una zona libre de contaminación atmosférica si se compara con otras ciudades colombianas más grandes e industrializadas como Bogotá, Cali o Medellín. En los últimos 10 años Quibdó ha incrementado su parque automotor producto de actividades como el «mototaxismo» y la adquisición de vehículos particulares, lo cual podría estar generando un incremento de las concentraciones de gases contaminantes en el aire

que se respira en la zona urbana, haciendo que Quibdó sea una ciudad modelo para el estudio de la sensibilidad de organismos bioindicadores.

Basados en la premisa que si los líquenes son altamente sensibles a la contaminación atmosférica originada por la quema de combustibles fósiles, incluso en ciudades pequeñas no industrializadas, nosotros hipotetizamos que en Quibdó, la estructura y la composición de la comunidad de líquenes debería variar entre zonas con alto tráfico de vehículos y aquellas con baja o nula congestión vehicular. Este trabajo tuvo como propósito validar la sensibilidad de las comunidades de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en centros urbanos pequeños no industrializados, sobre todo aquellos enclavados en el Chocó biogeográfico.

Metodología

Área de estudio. Quibdó, capital del departamento del Chocó, se encuentra ubicada a 5°41'13'' N y 76°39'40'' W, entre 50 y 100 metros de altitud. Este municipio se circscribe a las zonas de vida de bosque muy húmedo tropical y bosque pluvial tropical donde la temperatura promedio anual es de 28°C, la humedad relativa es mayor a 80% y la precipitación supera los 4.000 mm al año (Poveda-M et al. 2004). Quibdó tiene un área de 3.337 km² y una población de 97.714 habitantes (65% se encuentran en el área urbana) que representa 32% del total del departamento. Dentro de las actividades socioeconómicas de mayor importancia se resaltan la agricultura y pesca a pequeña escala, minería y comercio; sin embargo, en los últimos años el «mototaxismo» se ha convertido en una fuente importante de trabajo en este municipio.

Para la realización del estudio de la comunidad de líquenes establecimos cuatro estaciones de muestreo puntuales dentro del municipio de Quibdó. Los sitios fueron los siguientes:

Sitio 1. Carrera Quinta en el centro de la ciudad de Quibdó. En este sitio seleccionamos 10 plantas arbóreas que correspondieron a las especies *Piper arboreum* Aubl. (2) y *Ficus benjamina* L. (8). Este sitio es muy importante para el flujo vehicular en el centro de la ciudad.

Sitio 2. Sector Las Brisas en el Barrio Nicolás Medrano. Aquí escogimos 10 árboles de las siguien-

tes especies: *Ficus benjamina* L. (2), *Syzygium malaccense* (L.) Merr. y L.M. Perry (2), Lauraceae sp. (1), *Spathodea campanulata* P. Beauv. (3) y *Anacardium occidentale* L. (3). Por esta zona transita gran cantidad de vehículos porque sirve de conexión con barrio altamente poblado como es Jardín y otros municipios del departamento del Chocó entre ellos los de la región del San Juan.

Sitio 3. Ciudadela Universitaria (Universidad Tecnológica del Chocó «Diego Luis Córdoba» (UTCH). En este sitio se seleccionaron 10 árboles de las especies *Cananga odorata* (Lam.) Hook.f. & Thomson (1), *Caryota urens* L. (1), *Spathodea campanulata* P. Beauv. (4) y *Terminalia catappa* L. (4). El campus de la UTCH está rodeado por dos rutas de gran flujo vehicular, Medrano y Jardín, ambas convergen en esta zona con la ruta que conecta al municipio de Quibdó con los municipios del sur del Chocó y departamentos como Risaralda y Valle del Cauca.

Sitio 4. Corregimiento de Pacurita ubicado a 6.5 km del casco urbano de Quibdó. Aquí se escogieron 10 árboles de las especies *Calophyllum brasiliense* Cambess (1), *Marila dolichandra* Cuatrec. (1), *Heisteria acuminata* (Humb y Bonpl) Engl. (1), *Guatteria amplifolia* Triana y Planch (5) y *Eschweilera integrifolia* (Ruiz y Pav. ex Miers) R. Knuth (2). Pacurita está rodeada por una matriz de bosques medianamente intervenidos por la tala selectiva de algunas especies de árboles nativos.

Los árboles seleccionados en los cuatro sitios o estaciones de muestreo presentaron fustes de dimensiones similares (DAP>5 cm).

Métodos

Determinación de la contaminación atmosférica. El grado de contaminación del aire en cada uno de las estaciones de muestreo (sitios 1 a 4) se estimó de manera indirecta; para ello, se asumió que el grado de contaminación del aire en un lugar está relacionado de manera positiva con la congestión vehicular (Boonpragod y Nast 1990, Garty et al. 2001, Bedregal et al. 2009) entonces, basados en tal asunción y considerando que las motocicletas y los automóviles son una fuente generadora de gases que contaminan la atmósfera, nosotros cuantificamos el número de automotores que transitaron durante la hora pico (13:00-14:00 h) en cada una de las estaciones de muestreo durante nueve días entre junio y

Tabla 1. Estructura ecológica de la comunidad de líquenes en cuatro zonas con diferentes grados de flujo vehicular (como una medida indirecta del grado de contaminación del aire) en el municipio de Quibdó, Chocó, Colombia.

Variables ecológicas (%)	Zonas de muestreo				χ^2	p	Correlación de Spearman ^b
	(Nº promedio de vehículos a hora pico 13:00-14:00 h)	La Quinta (1192)	Pacurita (0)	Las Brisas (1340)	UTCH (1734)		
Número de morfo-especies	12 (30.8)	11 (28.2)	6 (15.4)	16 (41.4)	11.83	<0.01*	0.2
Costrosas	83.3	18.2	0.0	18.8	133.2	<0.001*	-0.4
Fruticosas	0.0	9.1	16.7	0.0	30.3	<0.001*	0.1
Foliosas	16.7	72.7	83.3	81.3	47.0	<0.001*	0.8
Número de familias	8(53.0)	5 (33.3)	4 (26.6)	6 (40.0)	9.96	0.018*	-0.4
Número de individuos	57 (14.1)	85 (21.1)	30 (7.4)	231 (57.3)	239.53	<0.001*	0.4
Diversidad (Margalef)	11.8	10.8	5.7	15.8	0.4	0.19	0.2
Dominancia	0.12	0.34	0.14	0.13	0.8	0.85	0.2
Equidad	0.91	0.77	0.9	0.85	0.01	0.99	-0.4
Cobertura promedio (% en 606 cm ² por árbol)	19.0	6.9	6.6	11.1	9.1	0.026*	-0.4

* Diferencias estadísticas en las variables ecológicas entre estaciones de muestreo

b. Indica el grado de asociación entre las variables ecológicas y la cantidad de vehículos que circulan en hora pico en cada estación.

julio de 2011. Los datos mostraron diferencias significativas entre sitios de estudio en congestión vehicular (promedio \pm 1.96 error típico: UTCH=1.734 \pm 354 vehículos h⁻¹, n=9; Las Brisas=1.340 \pm 356 vehículos h⁻¹, n=9; La Quinta=1192 \pm 299 vehículos h⁻¹; Pacurita=0 vehículos h⁻¹, n=9) (Tabla 1).

Caracterización de las comunidades de líquenes.

Se estudiaron las comunidades de líquenes asociadas con los árboles que se seleccionaron en cada uno de los cuatro sitios de muestreo. Sobre la superficie del fuste de los árboles, a una altura de 1.50 m, se ubicó una cuadrícula de acetato milimetrada de 21.69 \times 27.94 cm (606 cm² por árbol; 0.606 m² por sitio) y medimos la cobertura de líquenes, número de individuos por morfo-especies, así como el tipo de talo que presentaban (folioso, costroso o fruticoso). Las muestras fueron recolectadas con una espátula y depositadas en bolsas de papel para su transporte al herbario CHOCÓ de la UTCH donde se trajeron para su conservación y posterior identificación. La identificación taxonómica de los ejemplares colectados se realizó con la ayuda de literatura especializada (Umaña y Sipman 2002, Sipman 2005).

Análisis de los datos. En cada una de las estaciones de muestreo estimamos la diversidad, equitatividad y dominancia de la comunidad de líquenes, para esto, se calcularon los índices de Margalef, Pielou y Simpson, respectivamente (Villareal *et al.* 2006). La cobertura de líquenes sobre cada árbol fue calculada con la siguiente fórmula:

$$\text{Cobertura} = (\text{Área ocupada por líquenes}/606 \text{ cm}^2) \times 100$$

Con el fin de evaluar si existían diferencias estadísticamente significativas entre estaciones de muestreo, en las variables ecológicas de las comunidades de líquenes, se usó una prueba χ^2 con corrección de Yates porque en algunos casos los valores esperados eran <5. Se usó χ^2 para evaluar diferencias en la abundancia relativa de las familias de líquenes en función de los sitios de muestreo, pero en este caso, la prueba se aplicó con corrección de Monte Carlo con 2000 permutaciones. Con el fin de explorar posibles relaciones entre las variables ecológicas y la cantidad de gases contaminantes y número de vehículos transitando en hora pico (medida indirecta del grado de contaminación atmosférica), se usó el coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman. Finalmente, se

usó un análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) para analizar la distribución de las familias de líquenes a través del gradiente de movilidad de vehículos. Todas las pruebas estadísticas se realizaron con el programa R versión 2.15 (R Core Team 2012) y el análisis de ordenación multivariada (DCA) se llevó a cabo con el programa CANOCO versión 4.5 (Ter Braak y Šmilauer 2002).

Resultados

En total se registraron 39 morfo-especies y 15 familias de líquenes a partir de 403 ejemplares recolectados en el área de estudio. Al comparar las estaciones de muestreo, en términos de las variables estructurales de la comunidad de líquenes, no se aprecia diferencias significativas en relación con las medidas de diversidad, equidad y dominancia; por el contrario, variaron significativamente entre los sitios estudiados variables como el número total de morfo-especies, número de familias, porcentaje de morfo-especies foliosas, fruticosas y costrosas, así como la abundancia y la cobertura. Al correlacionar estas variables con la cantidad de vehículos que transitaban durante las horas pico en cada estación de muestreo, se observó que el porcentaje de morfo-

especies foliosas y la abundancia de individuos tienden a incrementar conforme aumenta (correlación positiva) la cantidad de vehículos en circulación, mientras que el porcentaje de morfo-especies costrosas y la cobertura tienden a disminuir (correlación negativa) en esa dirección del gradiente. Variables como la riqueza (número de morfo-especies) y el porcentaje de morfo-especies fruticosas, aunque variaron significativamente entre estaciones de muestreo, no parecen ser explicadas por el grado de congestión vehicular (Tabla 1).

Independientemente de la zona de muestreo, las familias de líquenes variaron en sus valores de abundancia ($\chi^2=592.47$, gl=14, $p<0.0001$), siendo *Physciaceae*, *Parmeliaceae*, *Lobariaceae* y *Coccocarpiaceae* las familias con valores relativos más altos (entre 16% y 23% de los individuos). Los otros grupos mostraron valores inferiores a 6%. Al comparar las estaciones de muestreo, se observó que la mayoría de las familias (73.3%, 11 familias) presentaron una distribución altamente heterogénea; es importante resaltar que de las 15 familias identificadas, 10 (66.7%) se encontraron restringidas a una u otra zona, de las cuales, cuatro presentaron abundancias relativas inferiores a 0.8%, es decir, se pueden considerar como familias raras dentro del área

Tabla 2. Distribución y representatividad de las familias de líquenes (número de individuos por familia) en cuatro zonas con diferentes grados de flujo vehicular (como una medida indirecta del grado de contaminación del aire) en el municipio de Quibdó, Chocó, Colombia.

Familia ^a	Zonas de muestreo				Total	%	χ^2
	(Nº promedio de vehículos a hora pico 13:00-14:00 h)	Pacurita (0)	La Quinta (1192)	Las Brisas (1340)			
<i>Physciaceae</i>		40 (9.9)	2 (0.5)	51 (12.7)	93	23.0	87.8 ^b
<i>Parmeliaceae</i>	4 (1.0)	11 (2.7)	11 (2.7)	64 (15.9)	90	22.3	103.5 ^b
<i>Lobariaceae</i>		20 (5.0)	16 (4.0)	31 (7.7)	67	16.6	29.53 ^b
<i>Coccocarpiaceae</i>				66 (16.4)	66	16.4	198.0 ^b
<i>Graphidaceae</i>	8 (2.0)			13 (3.2)	21	5.2	23.3 ^b
<i>Pertusariaceae</i>	18 (4.5)				18	4.5	54.0 ^b
<i>Bacidiaceae</i>		12 (3.0)			12	3.0	36.0 ^b
<i>Arthoniaceae</i>	11 (2.7)				11	2.7	33.0 ^b
<i>Thelotremaeae</i>	7 (1.7)				7	1.7	21.0 ^b
<i>Caliciaceae</i>				5 (1.2)	5	1.2	15.0 ^c
<i>Lecanoraceae</i>	5 (1.2)				5	1.2	15.0 ^c
<i>Collemataceae</i>	3 (0.7)			1 (0.2)	4	1.0	6.0 NS
<i>Cladoniaceae</i>		2 (0.5)			2	0.5	6.0 NS
<i>Crocyniaceae</i>			1 (0.2)		1	0.2	3.0 NS
<i>Roccellaceae</i>	1 (0.2)				1	0.2	3.0 NS

a. Los valores entre paréntesis indican la contribución porcentual con respecto al total (403) de individuos analizados. Diferencias estadísticas en la abundancia de las familias entre estaciones de muestreo son indicadas: χ^2 : b. $p<0.001$, c. $p<0.01$, NS No significativo

de estudio (Tabla 2).

El DCA realizado a los datos de abundancia relativa de las familias reveló la existencia de un gradiente determinado por la movilidad de vehículos «contaminación del aire»; en este sentido, se apreció que las zonas de muestreo con alta movilidad de automotores (La Quinta, Las Brisas y UTCH, todas en el casco urbano del municipio) conformaron un grupo distante de la zona con nula movilidad (Pacurita, en la zona rural del municipio). Al analizar la representatividad de las familias en este gradiente, se observa que 53.3% de ellas se encontraron más asociadas con ambientes con alta congestión de vehículos (zona urbana), aquí se destacan familias como Physciaceae, Parmeliaceae, Lobariaceae y Coccocarpiaceae, mientras que el otro 46.7% de las familias se relacionó más con ambientes rurales de baja movilidad vehicular; familias

como Pertusariaceae, Arthoniaceae, Thelotrema- ceae y Lecanoraceae fueron representativas a este lado del gradiente. Otras familias como Colle- mataceae, Cladoniaceae, Crocyniaceae y Roccella- ceae fueron muy raras en los cuatro sitios mues- treados y su contribución para explicar variabilidad de grupos taxonómicos a lo largo del gradiente de contaminación fue irrisoria (Figura 1).

Discusión

A nivel de la estructura de la comunidad, algu- nas variables parecen ser más sensibles que otras para usar a los líquenes como bioindicadores de contami- nación atmosférica. Nuestros datos indicaron que la diversidad, equidad y dominancia no parecen ser bue- nas prediciendo la contaminación del aire, mientras que, la riqueza de taxones (morfo-especies y fami-

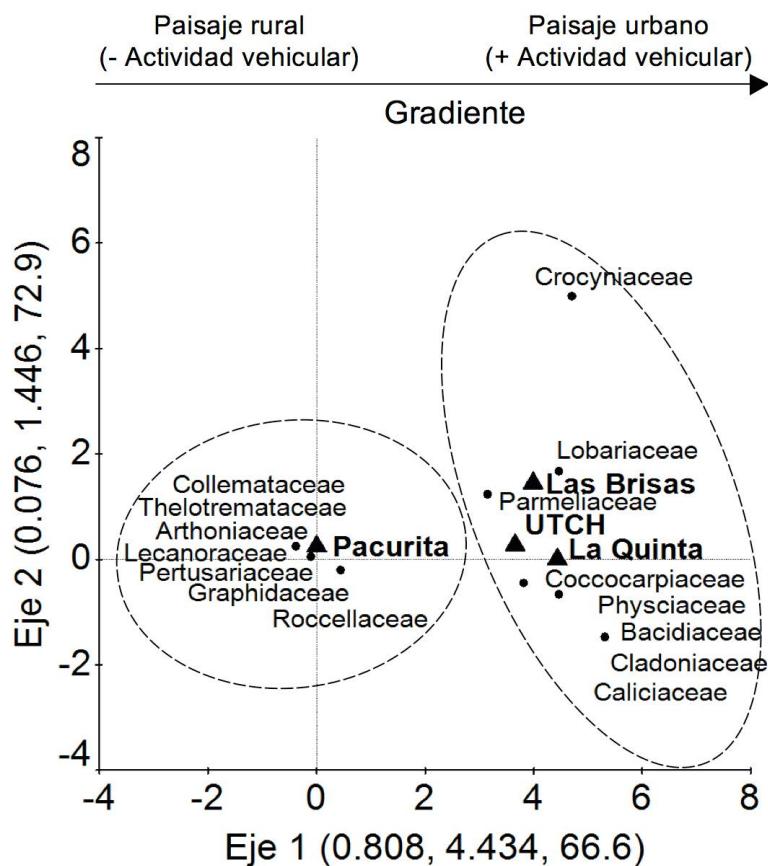


Figura 1. Análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) de la abundancia relativa de las familias de líquenes encontradas en cuatro zonas con diferentes grados de flujo vehicular (como una medida indirecta del grado de contaminación del aire) en el municipio de Quibdó, Chocó, Colombia. Los valores entre parentesis en cada eje indican en su orden: atovalor (eigenvalue), longitud del gradiente y porcentaje de varianza acumulada por las familias.

lias), la abundancia de individuos, el porcentaje de morfo-especies foliosas, fruticosas y costrosas, y la cobertura sí parecen serlo. Lo anterior se apoya en el hecho de haber encontrado que variables como la diversidad, la equidad y la dominancia no difieren entre sitios con diferentes niveles de tránsito vehicular (sin correlación), y que variables como el porcentaje de morfo-especies foliosas y la abundancia de individuos tienden a aumentar con el tránsito vehicular, mientras que el porcentaje de morfo-especies costrosas y la cobertura tienden a disminuir en esta dirección del gradiente. Esta apreciación, con algunas diferencias, se ha observado en comunidades de líquenes estudiadas en otros territorios; por ejemplo, Ariño *et al.* (1997) encontraron en Barcelona, España, un aumento en la riqueza de especies de líquenes a medida que se alejaban de focos emisores de contaminantes, mientras que Vokou *et al.* (1999) después de estudiar en 1987 y 1997 una comunidad de líquenes en Macedonia, Grecia, encontraron un empobrecimiento en la comunidad de líquenes debido a las altas concentraciones de contaminantes en el aire asociados con el aumento en la flota de vehículos y consumo de petróleo en el área de estudio entre 1988 y 1993. También destacaron que pequeños incrementos de especies en algunos sitios se debió a que estos sitios tenían mayor capacidad para amortiguar la polución. En Estados Unidos, McCune (2000) encontró mayor riqueza, abundancia y exuberancia de una comunidad de líquenes en zonas rurales que en zonas urbanas.

Aunque variables como riqueza, abundancia y cobertura de líquenes se usan como parámetros para el desarrollo de modelos de predicción de contaminación atmosférica (Rubiano 2002), es importante resaltar que dentro de una comunidad de líquenes, las especies individuales pueden tener diferentes grados de tolerancia o sensibilidad a contaminantes del aire (McCune 2000). En nuestro estudio pudimos observar que familias como Physciaceae, Parmeliaceae, Lobariaceae y Coccocarpiaceae son más abundantes en ambientes urbanos con alta congestión vehicular, mientras que familias como Pertusariaceae, Arthoniaceae, Thelotremaeae y Lecanoraceae proliferan más en la zona rural de baja o nula movilidad vehicular; ello sugiere que el primer grupo de familias (Physciaceae, Parmeliaceae, Lobariaceae y Coccocarpiaceae) podría estar com-

puesto principalmente por especies tolerantes a la contaminación del aire, en tanto que el segundo grupo (Pertusariaceae, Arthoniaceae, Thelotremaeae y Lecanoraceae) quizás está compuesto en su mayoría por especies sensibles.

Muchos estudios han demostrado la existencia de especies de líquenes tolerantes y sensibles a la contaminación ambiental. Silberstein *et al.* (1996) evaluaron experimentalmente el efecto de la exposición a sustancias tóxicas sobre la respuesta fisiológica de *Ramalina duriaeae* y *Xanthoria parietina* y encontraron que hubo poco o nulo efecto sobre *X. parietina*, mientras que severos daños fueron detectados en *R. duriaeae*. A partir de esos resultados concluyeron que *X. parietina* es una especie tolerante mientras que *R. duriaeae* es una especie sensitiva. Otras especies tales como *Parmelia tiliacea* (Parmeliaceae) (Alebic-Juretic y Arko-Pijevac 1989), *Ramalina lacera* (Ramalinaceae) (Garty *et al.* 2001), *Usda hirta* (Parmeliaceae) (Shrestha *et al.* 2012) y *Canoparmelia texana* (Parmeliaceae) (Leonardo *et al.* 2014) han demostrado ser sensitivas o tolerantes a diversos contaminantes y grados de contaminación atmosférica.

Los líquenes pueden recolonizar áreas de donde habían sido desplazados por la contaminación si las condiciones de estas áreas mejoran (Silberstein *et al.* 1996). En el presente estudio familias como Collemataceae, Cladoniaceae, Crocyniaceae y Roccellaceae fueron muy raras en todas las estaciones de muestreo y sus abundancias no se correlacionaron con la cantidad de vehículos en circulación en cada estación (Tabla 1), lo cual explica el hecho de que su contribución haya sido poca para explicar la variación de los diferentes grupos de líquenes a lo largo del gradiente de tráfico vehicular (Figura 1). A pesar de ello, futuras investigaciones serán necesarias para postular o no a estas familias raras como posibles sensores biológicos de contaminación atmosférica en el área de estudio u otros territorios de la región.

Además de los contaminantes del aire, otros factores como la precipitación, la humedad relativa, la temperatura y la radiación solar influyen en la distribución de las comunidades de líquenes (McCune 2000, Shrestha *et al.* 2012). Los autores de este artículo no tenemos evidencia de ello a partir de los datos presentados, sin embargo, es probable que varia-

ciones microclimáticas en temperatura, humedad relativa e intensidad lumínica entre las estaciones ubicadas en el casco urbano de Quibdó y aquella situada en Pacurita hayan influido la distribución de las diferentes familias de líquenes.

Conclusiones

Los líquenes han sido usados como indicadores de contaminación del aire en muchas ciudades grandes e industrializadas de América y Europa. Sin embargo, es motivo de estudio su sensibilidad a los contaminantes del aire en ciudades pequeñas no industrializadas. Los datos de este artículo demuestran que las comunidades de líquenes son altamente sensibles para identificar gradientes de contaminación atmosférica en ciudades pequeñas que no tienen un auge industrial importante. Variables como la riqueza, la abundancia, la cobertura y la composición de líquenes foliosos y costrosos pueden ser útiles para la construcción de modelos que faciliten a un bajo costo identificar gradientes de contaminación atmosférica en el área de estudio y otras regiones del país. Se recomienda el uso de familias como Physciaceae, Parmeliaceae, Lobariaceae, Coccocarpiaceae, Pertusariaceae, Arthoniaceae, Thelotremales y Lecanoraceae como indicadores de contaminación atmosférica en Quibdó y otras ciudades del Chocó biogeográfico.

Agradecimientos

A la comunidad de Pacurita por su hospitalidad durante los muestreos de campo y a dos referentes anónimos por sus acertados comentarios.

Literatura citada

- Alebic-Juretic A, Arko-Pijevac M. 1989. Air pollution damage to cell membranes in lichens. Results of simple biological test applied in Rijeka, Yugoslavia. *Water Air Soil Poll* (1-2): 25-33.
- Aguirre J, Sipman H. 2004. Diversidad y riqueza de líquenes en el Chocó biogeográfico. En: Rangel-Ch JO (ed.). *Colombia diversidad biótica IV Chocó Biogeográfico*. Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad de Colombia. pp. 455-74.
- Ariño X, Azuaga T, Gómez-Bolea A. 1997. Los líquenes como bioindicadores de la calidad atmosférica: el caso de la vall de Fumanya (Cers, Barcelona). *Bull Inst Cat Hist Nat*. 65: 5-13.
- Aspiazu J, Cervantes L, Ramírez J, López J, Ramos R, Muñoz R. 2007. Temporal y spatial trends studied by lichen analysis: atmospheric deposition of trace elements in Mexico. *Rev Mex Fis*. S53 (3): 87-96.
- Bedregal P, Mendoza P, Ubilus M, Torres B, Hurtado J, Maza I. 2009. El uso de *Usnea* sp. y *Tillandsia capillaris*, como bioindicadores de la contaminación ambiental en la ciudad de Lima, Perú. *Rev Soc Quim Perú* 75 (4): 479-87.
- Boonpragod K, Nast TH. 1990. Seasonal variation on elemental status in the lichen *Ramalina menziesii* Tayl. From two sites in southern California: Evidence for dry deposition accumulation. *Environ Exp Bot*. 30: 415-28.
- Conti ME, Cecchetti G. 2001. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment: a review. *Environ Poll*. 114: 471-92.
- Garty J, Tamir O, Hassid I, Eshel A, Cohen Y, Karnieli A. 2001. Photosynthesis, chlorophyll integrity, and spectral reflectance in lichens exposed to air pollution. *J Environ Qual*. 30: 884-93.
- Haworth DL, Rose F. 1979. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*. 227: 145-8.
- Jaramillo MM, Botero LR. 2010. Comunidades liquénicas como bioindicadores de calidad del aire del Valle de Aburrá. *Rev Gest Amb*. 13 (1): 97-110.
- Leonardo L, Damatto SR, Gios BR, Mazzilli BP. 2014. Lichen species *Canoparmelia texana* as bioindicator of environmental impact from the phosphate fertilizer industry of São Paulo, Brazil. *J Radioanal Nucle Ch*. 299 (3): 1935-41.
- Linares EL. 1998. Briófitos y líquenes de la cuenca del río Subía, Cundinamarca. *Pérez Arbelaeza*. 2 (6-7): 97-108.
- Linares E, Pinzón M. 2001. Catálogo comentado de los líquenes y briófitos de la región subxerofítica de la Heredia (Mosquera, Cundinamarca). *Caldasia*. 23 (1): 237-46.
- McCune B. 2000. Lichen communities as indicators of forest health. *Briologist*. 103 (2): 353-6.
- Poveda-MC, Rojas-PCA, Rudas-Ll A, Rangel-Ch JO. 2004. El Chocó biogeográfico: Ambiente físico. En: Rangel-Ch JO (Ed.). *Colombia diversidad biótica IV, El Chocó biogeográfico/Costa Pacífica*. Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. p. 1-21.
- R Core Team. 2012. R: A language and environment for statistical computing. R. Foundation for Statistical Computing. URL disponible en: <http://www.R-project.org/>
- Rubiano L. 1987. Delimitación de áreas de isocontaminación en Cali y Medellín utilizando líquenes como bioindicadores. *Pérez Arbelaeza*. 1 (4): 7-41.
- 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 Arbelaeza*. 13: 91-105.
- Rubiano L, Chaparro M. 2006. Delimitación de áreas de isocontaminación atmosférica en el campus de la Universidad Nacional de Colombia mediante el análisis

- de bioindicadores (líquenes epífitos). *Acta Biol Colomb.* 11 (2): 82-102.
- Shrestha G, Petersen SL, Clair LL. 2012. Predicting the distribution of the air pollution sensitive lichen species *Usnea hirta*. *Lichenologist.* 44 (4): 511-21.
- Silberstein L, Siegel BZ, Siegel SM, Mukhtar A, Galun M. 1996. Comparative studies on *Xanthoria parietina*, a pollution-resistant lichen, and *Ramalina duriaeae*, a sensitive species. I. Effects of air pollution on physiological processes. *Lichenologist.* 28 (4): 355-65.
- Sipman H. 2005. *Identification key and literature guide to the genera of Lichenized Fungi (Lichens) in the Neotropics.* Acceso 20 de agosto de 2011. URL disponible en: www.bgbm.fu-berlin.de/sipman/keys/neokeyA.htm
- Ter Braak CJF, Šmilauer P. 2002. *CANOCO Reference manual and CANODRAW for Windows User's Guide version 4.5.* Nueva York: Microcomputer Power.
- Umaña L, Sipman H. 2002. *Líquenes de Costa Rica.* San José: Instituto Nacional de Biodiversidad (INBIO).
- Valois-Cuesta H. 2006. Líquenes: aproximación a su conocimiento en un bosque pluvial tropical de departamento de Chocó (Colombia). *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó* 24: 8-15.
- Villareal H, Álvarez M, Córdoba S, Escobar F, Fagua G, Gast F. 2006. *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad.* Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- Vokou D, Pirintsos SA, Loppi S. 1999. Lichens as bioindicators of temporal variations in air quality around Thessaloniki, northern Greece. *Ecol Res.* 14: 89-96.