

Líquenes como bioindicadores de contaminación aérea en el corredor metropolitano de la ciudad de Guatemala

Lichens as bioindicators of air pollution in the metropolitan corridor Guatemala City

Gretchen Cohn-Berger,¹ y Maura Quezada²

¹Escuela de Biología, ²Sección Macrohongos, herbario BIGU, Escuela de Biología
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).
gretcohn@hotmail.com

Recibido: febrero, 2016 • Aceptado: marzo, 2016

Resumen

El incremento en las sustancias tóxicas a la atmósfera en la ciudad de Guatemala ha generado un empeoramiento paulatino de la calidad del aire. Por lo tanto, es necesaria la incorporación de un sistema de monitoreo que sea económico y que permita determinar las áreas de la ciudad con altos índices de contaminación aérea, para posteriormente tomar medidas adecuadas para su mitigación. En este sentido, el presente estudio categorizó los niveles de contaminación aérea por medio del Índice de Pureza Atmosférica (IPA), complementado con coberturas de cada especie, el Factor de Clasificación Ambiental (ECF) y el cambio en la diversidad de líquenes en árboles de jacaranda en 32 puntos del corredor metropolitano en la ciudad de Guatemala. Los resultados reportan 16 familias, 23 géneros y 65 especies de líquenes, de las cuales 26 son nuevos registros para el país y 5 para la ciudad. Los valores de IPA variaron de 4.5 a 25.5 indicando homogeneidad en los índices de contaminación aérea a lo largo del corredor metropolitano. En los puntos P5 Instituto Normal para Señoritas Centro América (INCA) y P13 (Parroquia Santa Marta) se obtuvieron los menores valores de IPA por lo que son los puntos con mayor grado de contaminación aérea; y los puntos P28 (Universidad Francisco Marroquín) y P21 (Avenida las Américas 1) obtuvieron los mayores siendo las áreas menos contaminadas. La incorporación del valor de cobertura al IPA, permite categorizar las áreas a una escala más fina, dándole mayor peso a especies toxitolerantes y toxisensibles. Estos resultados evidencian que los líquenes pueden complementar mediciones físico-químicas de contaminación aérea, especialmente en puntos en donde no se cuenta con equipo para ello y pueden indicar lugares con problemas ambientales que necesiten investigación instrumental, como los puntos P5 y P13. Así mismo, se proponen 10 especies foliosas de líquenes para ser utilizadas como indicadoras de contaminación aérea en futuras investigaciones.

Palabras clave: Líquenes, Índice de Pureza Atmosférica, Factor de Clasificación Ambiental, bioindicador, *Jacaranda mimosifolia* D. Don.

Abstract

The increase of toxic substances into the atmosphere in Guatemala City has led to a progressive deterioration of the air quality. Therefore, it is necessary to incorporate an economic monitoring system that is able to identify the areas of the city with the highest levels of air pollution, and after that, be able to take the appropriate mitigation measures according to it. In this regard, this study categorized the levels of air pollution through the Index of Atmospheric Purity (IAP) complemented with coverage of each specie, the Environmental Classification Factor (ECF) and the change in diversity of lichens on Jacaranda trees in 32 points of metropolitan corridor of Guatemala City. The result reports 16 families, 23 genera and 65 species of lichens, whose 26 are new records for the country, and 5 for the city. IAP rate varied from 4.5 to 25.5, indicating that the metropolitan corridor is homogeneous regarding to high levels of air pollution. In points P5 (INCA) and P13 (Parish Church Parroquia Santa Marta) the lower rate of IAP were found, meaning that these are the points with the higher degree of air pollution; and points P28 (Marroquín University) and P21 (Avenida las Americas 1) obtained the highest degree, being the least polluted areas. The incorporation of the value of coverage to the IAP allows categorizing areas at a finer scale, giving more importance to toxitolerant and toxisensitive species. These results demonstrate that lichens can complement physical-chemical measurements of air pollution, especially in places where there is no equipment for it and it and therefore could indicate places with environmental problems that may need instrumental research, such as points P5 and P13. Furthermore, 10 micro lichen species are proposed to be used as air pollution indicators in future researches.

Keywords: Lichens, Index of Atmospheric Purity, Environmental Classifications Factor, bioindicator, *Jacaranda mimosifolia* D. Don.

Introducción

La contaminación del aire en la mayoría de las ciudades del mundo se debe a los gases emitidos por motores de combustión, aparatos domésticos para la calefacción y a la industria. Los gases, vapores o partículas sólidas en suspensión perjudican la vida y la salud, tanto del ser humano como de animales y plantas. Por lo que muchos países tienen normas sobre la calidad del aire con respecto a las sustancias peligrosas que éste pueda contener.

La ciudad de Guatemala posee una alta densidad poblacional (1,142 hab/km²) y es una importante área de paso que recibe la emisión de más de 1,000,000 de vehículos que circulan diariamente, generando altos niveles de contaminación y hasta el momento no existe ningún normativo que regule la concentración de contaminantes en el aire y las emisiones de las fuentes (Ministerio de

Salud Pública y Asistencia Social [MSPAS], 1999; Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación [FUNDAECO], 2005; Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales [MARN], 2011; Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología [INSIVUMEH], 2013; Universidad de San Carlos de Guatemala [USAC], 2012.).

Aunque las mediciones de contaminantes por métodos físico-químicos son importantes, no permiten obtener conclusiones sobre los efectos que las concentraciones de contaminantes tienen sobre los seres vivos. Para ello, se utilizan los llamados bioindicadores, que complementan estos métodos, y aportan información acerca de los efectos sobre los organismos. El uso de bioindicadores es el pilar principal en la gestión de la calidad del aire en todo el

mundo, y son utilizados para estimar el riesgo de la contaminación ambiental para los ecosistemas y la salud humana (Anze, Franken, Zaballa, Pinto, & Zeballos, 2007).

Los bioindicadores tienen la capacidad de ofrecer información sobre el estado del medio en el cual se desarrollan y su acción sobre ellos. Los líquenes están considerados entre los mejores bioindicadores dado que dependen de la atmósfera para obtener nutrientes minerales, tienen una amplia distribución geográfica y acumulan elementos minerales más allá de lo que necesitan, sin poseer mecanismos de eliminación (Fernández, Terrón, & Barreno, 2006; Brodo, Sharnoff, & Sharnoff, 2001; Kricke, & Loppi, 2002, 21; Santoni, & Lijteroff, 2006). Debido a estas características son particularmente susceptibles a los compuestos tóxicos transportados por el aire, especialmente al anhídrido sulfuroso (que desorganiza las membranas biológicas impidiendo la fotosíntesis), ácido sulfúrico y nítrico, fluoruros, ozono, hidrocarburos y metales pesados como cobre, plomo, zinc, cadmio, níquel, mercurio y cromo. Así, la presencia o ausencia de líquenes es un índice sensible de la contaminación aérea, obteniendo especies toxitolerantes o toxisensibles (Brodo y otros, 2001; Purvis, 2000).

El número de estudios que han utilizado los líquenes como bioindicadores en ciudades del trópico es reducido. En Caracas, Venezuela, Vareschi (1953) categorizó zonas urbanas según la presencia de líquenes. García, Guerrero, Marcell y Saiki (1997) los utilizaron como indicadores de contaminación en la ciudad de Guarulhos, Sao Paulo, Brasil. Barclay (1992) reporta diferencia en la diversidad líquénica en palmas en dos zonas diferentes de contaminación en Belice. Estrabou (1998) estudió la diferencia de la diversidad líquénica en la ciudad de Córdoba, Argentina, y logra reportar especies tolerantes a la contaminación. Bretschneider y Marcano

(1995) los utilizan como indicadores de contaminación causada por metales pesados (Hawksworth, Iturriaga, & Crespo, 2005). Estos estudios permiten inferir que existe un gran potencial para emplearlos con este objetivo, mediante el IPA, un índice que supone la disminución en la frecuencia de especies a medida que aumenta la contaminación del aire. En el presente estudio se categorizaron los niveles de contaminación aérea por medio del IPA y del cambio en la riqueza y composición de líquenes en árboles de jacaranda (*J. mimosifolia* D. Don.) en el corredor metropolitano Hipódromo del Norte-Hipódromo del Sur, en la ciudad de Guatemala. Se muestrearon un total de 32 puntos, de los cuales 12 eran arriates, 8 parques municipales, 8 áreas residenciales y 4 áreas comerciales.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Se trabajó en el corredor metropolitano Hipódromo del Norte-Hipódromo del Sur (HN-HS), el cual es un complejo urbano que recorre la ciudad de norte a sur. En dicho complejo están presentes varios tipos de uso del suelo, tales como: vivienda, comercio, recreación y el basurero municipal. Además, en esta área de muestreo se encuentran ubicados algunos de los parques urbanos con los que cuenta la ciudad capital (Parque Central, Parque Morazán, Parque San Sebastián, Parque Isabel la Católica, Cerrito del Carmen, Parque Concordia y Parque de la Industria) y el Jardín Botánico Universitario, los que a su vez están conectados a través de algunas de las vías de comunicación más concurridas del área metropolitana.

Muestreo e identificación

Se tomaron 32 puntos de muestreo a lo largo del área seleccionada en la ciudad capital, con un área de 0.5 km² cada uno

(Verein Deutscher Ingenieure [VDI 3957], 2004), en cada punto se muestrearon 4 árboles (unidades experimentales) de *J. mimosifolia* D. Don., con un total de 128 árboles analizados (Tabla 1). En cada árbol se tomaron 10 muestras de 10 x 10 cm, con un total de 1,280 muestras. Con el fin de que el único factor ecológico variable entre las diversas estaciones de muestreo fuera la contaminación atmosférica, los puntos de muestreo se ubicaron en zonas donde no hay áreas verdes naturales, como barrancos, para evitar muestreos en microambientes distintos.

Para obtener datos del IPA se utilizó un acetato de 50 cm de largo x 20 cm de ancho dividido en 10 cuadros de 10 x 10 cm, el cual se colocó verticalmente con el borde inferior a 100 cm del suelo, en el área del árbol más propensa a recibir emisiones y se dibujó la silueta de cada especie con un marcador, para medir la cobertura de cada especie de líquen en cada árbol. Luego, de cada cuadro de 10 x 10 cm se tomaron todas las especies de líquenes presentes. (VDI 3957, 2004).

En el sitio mismo de la recolección, se procuró eliminar del ejemplar cualquier exceso de material no liquénico, para facilitar su herborización. Las muestras obtenidas durante el muestreo fueron identificadas mediante la utilización de diferentes claves taxonómicas propuestas por una variedad de autores, dentro de los cuales se incluye a Sipman (2005a, b, c, d) con claves para líquenes del Neotrópico, obtenidas vía internet, en donde se cubren cerca de 300 géneros. Se emplearon las claves de Lücking, Chaves, Sipman, Umaña y Aptroot, (2008) para la familia Graphidaceae; las de Brodo (2001) para Norte América; las de Aptroot, Lücking, Sipman, Umaña y Chaves (2008) para líquenes pirenocarpos, entre otros. Para dicho fin se describieron las características macro y microscópicas de los líquenes, además se realizaron pruebas punto en la corteza y la médula de los ejemplares

colectados, cuando fue necesario para identificar las especies. Las muestras fueron herborizadas y depositadas en la sección de hongos, del Herbario BIGU de la Escuela de Biología de la USAC, para su preservación y posteriores estudios.

Análisis de datos

Diversidad: Los índices de diversidad se calcularon en base a las coberturas de cada especie en cada sitio, utilizando el q1 o índice de Shannon modificado, el cual tiene la ventaja que se puede dividir en valores de alpha y beta independientes y además, se basa en frecuencias, sin favorecer especies raras o comunes ($q_0 = \sum P_i$, $q_1 = e^{\sum P_i \ln P_i}$, $q_2 = 1 / \sum P_i^2$) (Jost, 2006).

IPA: Para calcularlo en cada estación se suman las frecuencias de todas las especies en cada árbol y se divide entre el número de árboles muestreados en dicho punto de muestreo. Este método permite delimitar áreas con diferente calidad de aire. Este método de frecuencia permite predecir los niveles de contaminación por sobre un 97% (Szczeplaniak & Biziuk, 2003). $IPA = \sum_1^n \frac{(Q_i^*)}{10}$, en donde N= número de especies, Q= factor de sensibilidad, f= frecuencia de cada especie. Y $Q_i = \sum \frac{(A_j - 1)}{E_j}$, en donde Q_i = Factor de sensibilidad 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 (Kricke, 2002). Para la representación cartográfica se utilizó el programa ArcGis.

Índice IPA utilizando cobertura: El área en cm² de cada líquen en cada árbol se trabajó con ayuda del programa Autocad 2012, con el que se calculó el porcentaje de cobertura de cada especie. Para calcular el IPA utilizando coberturas, se utilizó una escala de frecuencia de 1 a 5 (1. 1 árbol, 0-20% cobertura; 2. 2 árboles, 0-20% cobertura; 3. 2-3 árboles 0-40% cobertura; 4. 2-3 árboles cobertura 40-80%; 5. 3-4 árboles 80-100% cobertura).

El ECF propuesto por Kaffer (2011), incorpora parámetros del IPA como un factor de correcci3n a través de una escala de porcentajes de cobertura de cada forma de crecimiento de los líquenes encontrados (costrosos y foliosos), $ECF = (CMGc + CMGfo + CMGfr) * \frac{IPA}{100}$, en donde CMGc= Escala de cobertura para especies costrosas, CMGfo= Escala de cobertura para especies foliosas, CMGfr= Escala de cobertura para especies fruticosas, IPA= Índice de Pureza Atmosférica (Tabla 1) (Kaffer, 2011).

Posteriormente los datos obtenidos de los índices se clasificaron en las categorías establecidas por Le Blanc y De Sloover en 1970: Clase I-Liquen ausente, con valores de IPA de 1.0-5.5, Clase II-Liquen pobre (5.6-15.5), Clase III-rea de Transici3n (15.6-35.5), Clase IV-Normal (35.6-75.5) y Clase V-Excelente (arriba de 75.6).

Análisis de la comunidad: Para determinar los patrones en las comunidades liquénicas presentes en los diferentes puntos de muestreo se utiliz3 un análisis de agrupamiento jerárquico, el cual permite la representaci3n gráfica de las relaciones entre los objetos de un conjunto de datos. Además se utiliz3 un análisis exploratorio de escalamiento multidimensional no métrico (nmds). Los datos se analizaron en el programa R utilizando el paquete Vegan. Ambos análisis se utilizaron para evaluar qué tan iguales son los puntos entre sí y se obtuvieron gráficos que permiten visualizar la composici3n de la comunidad liquénica (Jongman, Braak, & Tongeren, 1995; McCune, & Grace, 2002).

Análisis de especies indicadoras: El ndice Ecol3gico (Q) representa la tolerancia o sensibilidad de una especie ante la contaminaci3n aérea, para un bajo Q las especies muestran alta tolerancia y para un alto Q es baja tolerancia. Está definido por el número de especies acompañantes

de la especie indicadora (Kricke, & Loppi, 2002).

Resultados

Riqueza y Diversidad

Se identificaron 65 especies divididas en 23 géneros y 16 familias, de las cuales 26 especies son nuevos registros para el país. De las 37 especies que ya habían sido reportadas para el país, 5 no habían sido reportadas para la ciudad de Guatemala (Tabla 1). La morfoespecie *Chroodiscus* sp. no fue posible identificarla hasta especie debido a la escasez de claves de dicho género, el cual solamente ha sido reportado para el departamento de Petén.

En cuanto a grupos morfol3gicos, el 49% corresponde a especies costrosas y el 51% pertenece a especies foliosas. La familia Physciaceae representa el mayor número de especies (20%), seguida por las familias Graphidaceae (13.5%), Caliciaceae (9.2%) y Collemataceae (9.2%). El género con mayor cantidad de especies es *Graphis* (13.9%), seguido por *Leptogium* (9.2%) y *Physcia* (9.2%). La especie más frecuente fue *Candelaria concolor* (Dicks.) Arnold, presente en 27 de los 32 puntos de muestreo, seguida por *Hyperphyscia adglutinata* (Fl3rke) H. Mayrhofer y Poelt, presente en 24 puntos (Tabla 1).

De los puntos de muestreo el que present3 mayor número de especies fue el P28 con 28 especies, seguido por el P21 con 26 especies. El P8 fue el que present3 menor cantidad de especies, con solamente 4, seguido por el P14 con solamente 5 especies.

Se obtuvieron los valores de diversidad $\alpha_1 = 14.46$ y diversidad $\beta_1 = 13.38$ con un índice de similitud de Shannon de 53.48, lo que indica que son 14 especies efectivas. El 47% de los puntos son diferentes en cuanto

... continuación de Tabla 1. Líquenes presentes en cada punto de muestreo en la Ciudad de Guatemala, las x representan presencia, Co indica costrosos y Fo foliosos, (*) nuevos reportes para el país, (**) especies nuevas para Guatemala reportadas en el estudio de Lücking y otros, 2011 y (***) nuevos reportes para la ciudad.

Especie	Familia	Talo	Puntos de muestreo																																	
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32		
<i>Cryptothecia striata</i> G. Thor*	Arthoniaceae	Co											x																							
<i>Dirinaria applanata</i> (Fée) D.D. Awasthi	Caliciaceae	Fo	x						x				x						x	x	x	x					x								x	
<i>Dirinaria picta</i> (Sw.) Schaer, ex Clem.	Caliciaceae	Fo	x																																x	
<i>Enterographa micrographa</i> (Nyl.) Redinger*	Roccellaceae	Co																		x															x	
<i>Graphis anfractuosa</i> (Eschw.) Eschw.*	Graphidaceae	Co										x	x																						x	
<i>Graphis chondroplaca</i> (Redinger) Lücking*	Graphidaceae	Co																				x						x								
<i>Graphis dracенаe</i> Vain.*	Graphidaceae	Co																				x														
<i>Graphis elegans</i> (Borrer ex. Sm.) Ach.*	Graphidaceae	Co																					x												x	
<i>Graphis furcata</i> Fée*	Graphidaceae	Co				x																														
<i>Graphis librata</i> Fée*	Graphidaceae	Co																				x														
<i>Graphis lineola</i> Ach.**	Graphidaceae	Co															x																			
<i>Graphis rimulosa</i> (Mont.) Trevis*	Graphidaceae	Co															x																		x	
<i>Graphis submarginata</i> Lücking*	Graphidaceae	Co															x																			
<i>Heterodermia albicans</i> (Pers.) Swinscow & Krog	Physciaceae	Fo																					x			x										
<i>Heterodermia diademata</i> (Taylor) D.D. Awasthi	Physciaceae	Fo																x					x			x	x									
<i>Heterodermia granulifera</i> (Ach.) W.L. Culb.***	Physciaceae	Fo																x																		
<i>Hyperphyscia adglutinata</i> (Flörke) H. Mayrhofer & Poelt	Physciaceae	Fo	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x				x		x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
<i>Hyperphyscia minor</i> (Fée) Kalb**	Physciaceae	Fo				x		x			x	x	x		x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x					x	x		
<i>Hyperphyscia pandani</i> (H. Magn.) Moberg	Physciaceae	Fo	x	x		x	x					x	x						x	x	x	x	x	x		x	x					x	x		x	
<i>Hyperphyscia pyrithrocardia</i> (Müll. Arg.) Moberg & Aptroot**	Physciaceae	Fo		x	x	x			x			x	x	x		x	x	x				x	x	x	x				x	x	x				x	
<i>Lecanora cupresii</i> Tuck.*	Lecanoraceae	Co																x																	x	
<i>Lecanora pulicaris</i> (Pers.) Arch.*	Lecanoraceae	Co											x	x					x					x											x	
<i>Lecanora strobilina</i> (Spreng.) Kieff*	Lecanoraceae	Co		x	x	x						x							x			x	x			x							x	x		
<i>Lecanora thysanophora</i> R.C. Harris**	Lecanoraceae	Co																					x	x											x	
<i>Leptogium austroamericanum</i> (Malme) C.W. Dodge***	Collemataceae	Fo							x	x								x						x	x	x	x								x	
<i>Leptogium azureum</i> (Sw. ex Ach.) Mont.*	Collemataceae	Fo																																	x	
<i>Leptogium chloromelum</i> (Ach.) Nyl.	Collemataceae	Fo	x					x											x															x	x	
<i>Leptogium marginellum</i> (Sw.) Gray	Collemataceae	Fo												x																						
<i>Leptogium milligranum</i> Sierk	Collemataceae	Fo																																		x

... continuación de Tabla 1. Líquenes presentes en cada punto de muestreo en la Ciudad de Guatemala, las x representan presencia, Co indica costrosos y Fo foliosos, (*) nuevos reportes para el país, (**) especies nuevas para Guatemala reportadas en el estudio de Lücking y otros, 2011 y (***) nuevos reportes para la ciudad.

Especie	Familia	Talo	Puntos de muestreo																															
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32
<i>Leptogium phyllocarpum</i> (Pers.) Mont.	Collemataceae	Fo				x	x					x		x									x	x	x	x	x		x	x	x		x	
<i>Mycomicrothelia subfallens</i> (Müll. Arg.) D. Hawksw.*	Arthopyreniaceae	Co																			x													
<i>Parmotrema crinitum</i> (Ach.) M. Choisy***	Parmeliaceae	Fo																x																
<i>Parmotrema dilatatum</i> (Vain.) Hale*	Parmeliaceae	Fo									x																							
<i>Parmotrema mellissii</i> (CW. Dodge) Hale	Parmeliaceae	Fo																					x											
<i>Physcia aipolia</i> (Ehrh. ex Humb.) Fürnr.***	Physciaceae	Fo	x	x				x	x		x	x	x	x			x						x	x		x	x		x		x	x	x	
<i>Physcia americana</i> g. Merr.*	Physciaceae	Fo										x																						
<i>Physcia caesia</i> (Hoffm.) Hampe ex Fürnr.*	Physciaceae	Fo						x																										
<i>Physcia millegrana</i> Degel.*	Physciaceae	Fo		x					x			x	x	x			x	x							x		x	x	x	x	x	x	x	
<i>Physcia solediosa</i> (Vain.) Lynge	Physciaceae	Fo	x							x	x	x	x							x			x	x	x	x	x			x				
<i>Physcia stellaris</i> (L.) Nyl.	Physciaceae	Fo		x	x		x	x	x		x											x	x		x	x					x			
<i>Pyrenula confinis</i> (Nyl.) R.C. Harris**	Pyrenulaceae	Co				x			x					x			x			x		x	x	x		x	x		x	x			x	
<i>Pyrenula punctella</i> (Nyl.) Trevis*	Pyrenulaceae	Co						x	x					x			x				x	x	x	x		x		x	x				x	
<i>Pyxine berteriana</i> (Fée) Imshaug***	Galiciaceae	Fo	x	x	x			x	x																									x
<i>Pyxine caesiopruinosa</i> (Tuck.) Imshaug**	Galiciaceae	Fo						x				x	x			x	x											x		x				
<i>Pyxine cocoës</i> (Sw.) Nyl.	Galiciaceae	Fo					x	x	x		x	x				x		x	x	x											x			x
<i>Pyxine petricola</i> Nyl.	Galiciaceae	Fo			x							x	x	x	x		x														x			x
Soraliaverde		Co	x			x	x						x						x	x							x	x		x				x
<i>Xanthoria candelaria</i> (L.) Th. Fr.	Teloschistaceae	Fo							x	x	x		x				x					x							x	x				x

Tabla 2

Valores de riqueza, cobertura (cm²) y porcentaje de formas de crecimiento de un total de 4,000 cm² de área muestreada en cada punto.

Lugar	Riqueza	SumCob	% Foliosos	% Costrosos
P1	10	1897.85	47.2	0.2
P2	12	2066.263	45.1	6.6
P3	9	438.8022	9.4	1.6
P4	12	670.8155	7.2	9.6
P5	6	955.3084	14.2	9.7
P6	14	2565.484	55.2	9.0
P7	16	2501.274	58.6	4.0
P8	4	2100.782	50.7	1.8
P9	8	1406.198	35.2	0.0
P10	14	1468.499	36.5	0.2
P11	19	1310.374	32.1	0.7
P12	17	655.9761	14.1	2.3
P13	6	334.5101	8.4	0.0
P14	5	1456.363	36.4	0.0
P15	12	440.6074	9.0	2.0
P16	20	703.3332	16.1	1.5
P17	10	1281.058	31.5	0.5
P18	11	343.2683	6.2	2.4
P19	10	970.8858	23.3	1.0
P20	14	834.6639	17.7	3.2
P21	26	994.099	17.1	7.8
P22	15	942.8025	22.04	1.2
P23	17	2072.907	50.4	1.4
P24	14	1110.866	25.0	2.7
P25	19	940.4587	19.5	4.0
P26	7	503.021	10.0	2.6
P27	10	959.2107	23.6	0.4
P28	28	1023.265	15.4	10.2
P29	10	1086.626	27.2	0.0
P30	10	1525.875	36.1	2.1
P31	20	1766.248	41.3	2.9
P32	11	706.6387	16.2	1.4

Tabla 3

Valores del índice de pureza atmosférica y del factor de clasificación ambiental.

Lugar	IPA	Clase	IPA+Cob	Clase	ECF	Clase
P1	12.7659	II	32.2246	III	5.8232	II
P2	13.7165	II	31.8043	III	4.2743	I
P3	12.6436	II	23.8657	III	6.7109	II
P4	12.8005	II	29.5009	III	4.6205	I
P5	4.5537	I	11.9557	II	5.0887	I
P6	15.6419	III	36.7317	IV	4.5567	I
P7	18.0622	III	37.1788	IV	7.2138	II
P8	6.0676	II	11.0774	II	5.1559	I
P9	9.0794	II	19.8041	III	5.8771	II
P10	14.4725	II	32.5244	III	11.0118	III
P11	15.6025	III	37.2828	IV	4.6381	I
P12	14.6374	II	36.0007	IV	6.6945	II
P13	5.2412	I	15.0901	II	5.9002	II
P14	7.4991	II	14.4958	II	4.7731	I
P15	6.7560	II	20.8856	III	5.9486	II
P16	20.4940	III	39.1996	IV	15.0769	II
P17	12.1174	II	26.9123	III	4.1771	I
P18	7.2472	II	26.9123	III	3.5647	I
P19	8.7974	II	23.7463	III	5.8544	II
P20	11.3675	II	29.1161	III	4.8442	I
P21	22.4998	III	55.0592	IV	7.6240	II
P22	12.2322	II	37.1918	IV	3.6995	I
P23	19.6988	III	53.7590	IV	4.6782	I
P24	12.0749	II	25.3151	III	7.2001	II
P25	11.4930	II	36.0691	IV	8.6014	II
P26	10.3850	II	18.4977	III	2.3911	I
P27	13.3669	II	25.7671	III	3.0180	I
P28	25.4563	III	75.3847	IV	5.4936	I
P29	9.6942	II	22.0105	III	1.7724	I
P30	9.9927	II	25.9898	III	2.6093	I
P31	19.8673	III	47.6503	IV	3.9619	I
P32	10.1295	II	27.4681	III	7.8399	II

Clase I- Liquen ausente (1.0-5.5), Clase II- Liquen pobre (5.6-15.5), Clase III-Área de transición (15.6-35.5), Clase IV-Normal (35.6-75.5), Clase V-Excelente (más de 75.6).

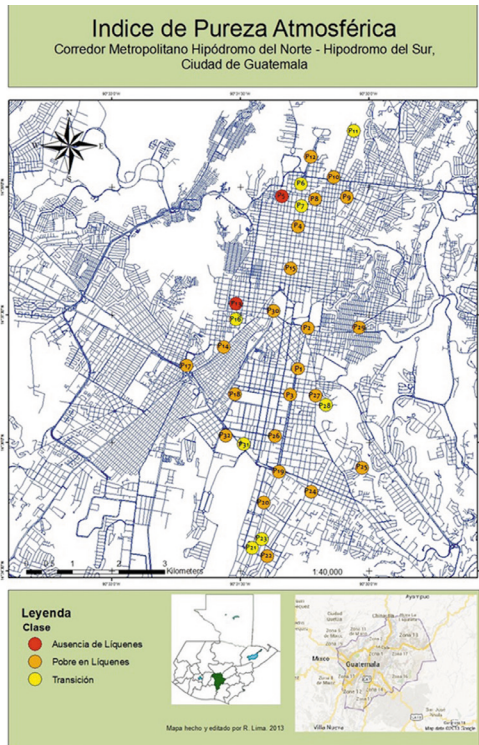


Figura 1. Mapa de la ciudad de Guatemala utilizando el índice IPA

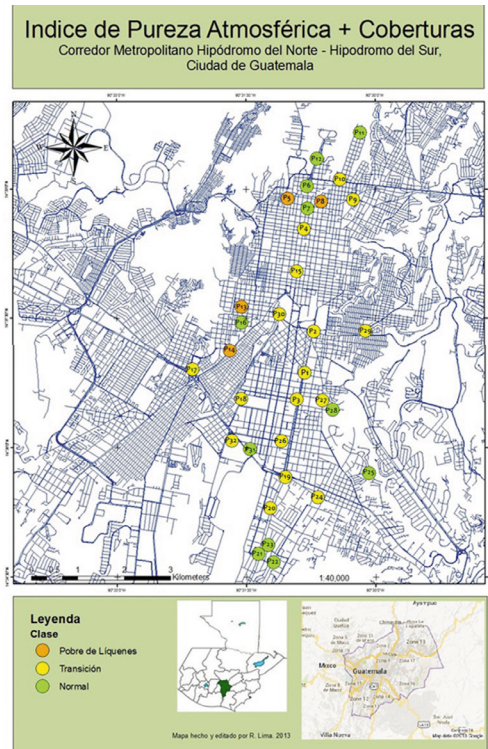


Figura 2. Mapa de la ciudad de Guatemala utilizando el índice IPA+Cobertura

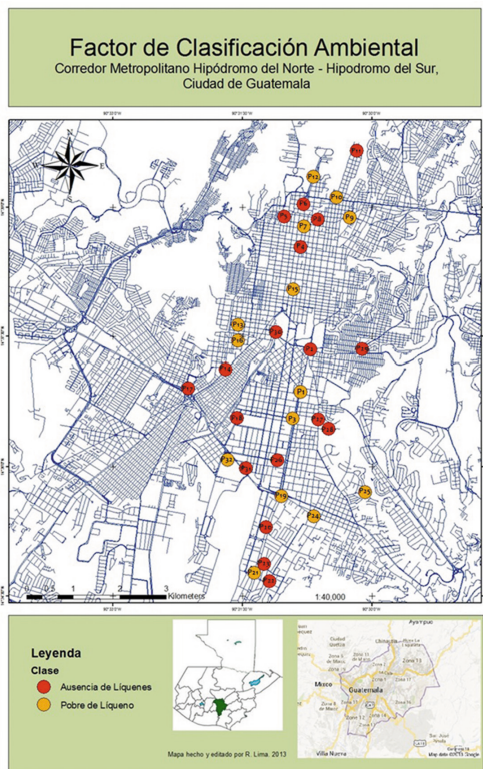


Figura 3. Mapa de la ciudad de Guatemala utilizando el índice ECF

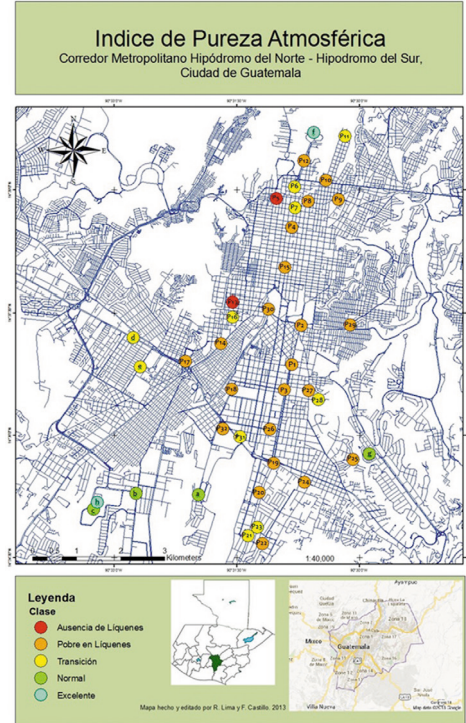


Figura 4. Mapa de la ciudad de Guatemala utilizando la escala IPA, incluyendo los resultados de Lücking et al (2011), en donde: a)INSIVUMEH, b)EFPEM, c)USAC-T10, d)Hino, e) INCAP, f)Hipódromo del Norte, g)Colonia el Maestro, h)Iglú.

Patrones de la comunidad liquénica a lo largo del cinturón Metropolitano HN-HS

En el dendrograma se pueden distinguir dos grupos principales, en el primero (azul) se agrupan los puntos P8, P5 y P14, en el segundo (verde) se puede observar un pequeño subgrupo (rojo) que agrupa a los puntos P28, P21 y P23. Esto coincide con las clases agrupadas por medio de los

índices utilizados (Figura 5). El análisis de ordenación (nmDS) presentó un stress de 0.2, observándose el mismo patrón resultante del análisis de agrupamiento (Figura 5) en donde dos grandes grupos se traslapan, en el área marcada de celeste se encuentran los puntos con menores valores de IPA y el área en rosado indica los dos puntos con mayores valores de IPA.

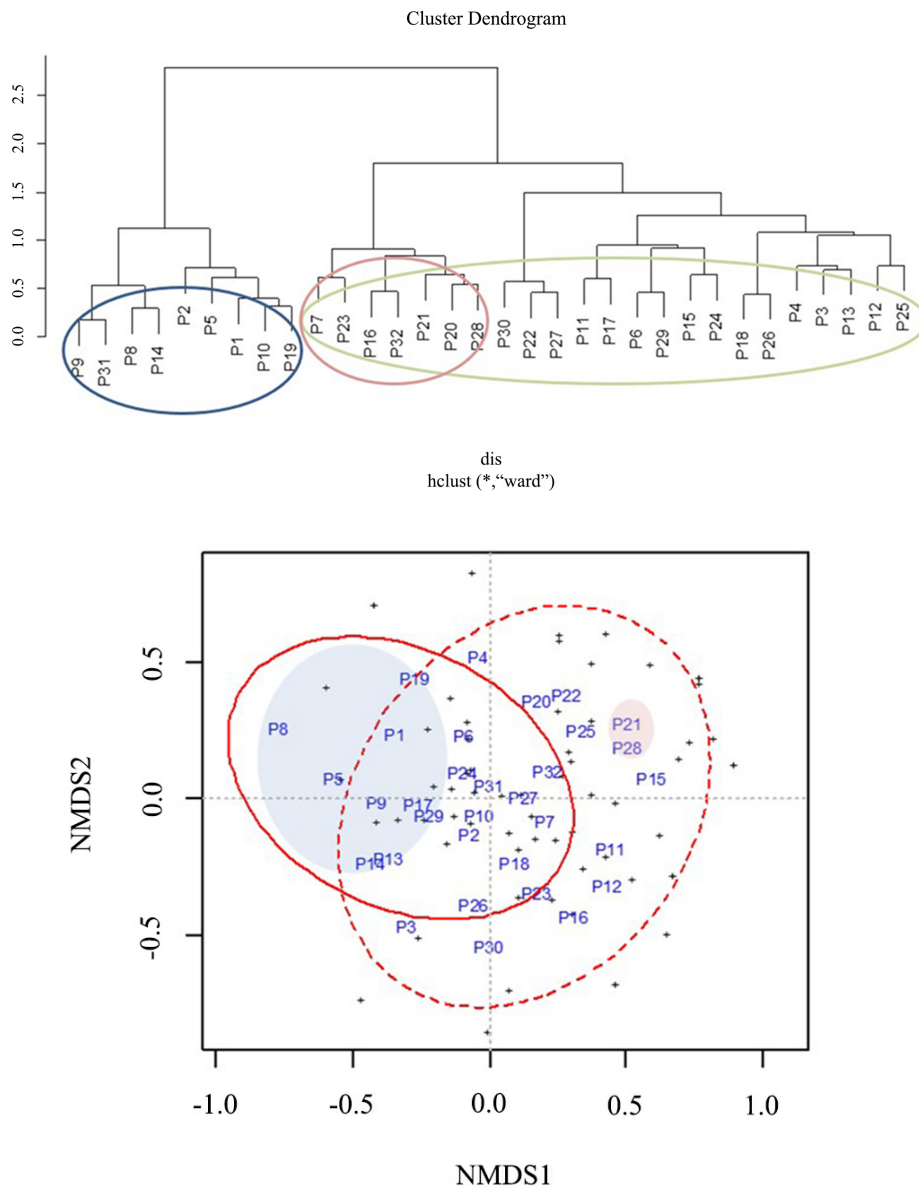


Figura 5. Dendrograma de los 32 puntos de muestreo en base a la cobertura de cada especie y Modelo de ordenación del NMDS (stress de 0.2)

Especies de líquenes como indicadoras de áreas urbanas

El Índice Ecológico Q indica que las especies foliosas toxitolérantes son *Hyperphyscia adglutinata* (Flörke) H. Mayrhofer y Poelt, *Physcia stellaris* (L.) Nyl., *Physcia caesia* (Hoffm.) Hampe ex Fürnr., *Leptogium azureum* (Sw. ex Ach.) Mont., *Candelaria concolor* (Dicks.) Arnold, *Leptogium*

milligranum Sierk, *Pyxine cocoës* (Sw.) Nyl. y *Physcia aipolia* (Ehrh. ex Humb.) Fürnr. entre otras. De las especies costrosas toxitolérantes, cuatro pertenecen al género *Graphis* y dos al género *Arthopyrenia*. Las especies foliosas *Parmotrema crinitum* (Ach.) M. Choisy y *Heterodermia granulifera* (Ach.) W.L. Culb. podrían ser consideradas como toxifóbicas o más sensibles a la contaminación urbana (Tabla 4).

Tabla 4

Valores de Q para cada especie, en donde los valores bajos indican especies tolerantes y los altos especies sensibles, señalando las especies foliosas toxitolérantes.

Especie	Q	Especie	Q
<i>Graphis lineola</i> (Ach.)	3	<i>Graphis rimulosa</i> (Mont.) Trevis.	6
<i>Arthopyrenia planorbis</i> (Ach.) Müll. Arg.	4	<i>Pyxine berteriana</i> (Fée) Irnshaug	6
Soralia verde	4	<i>Coccocarpia palmicola</i> (Spreng.) Arv. & D.J. Galloway	6
<i>Arthopyrenia cinchonae</i> (Ach.) Müll. Arg.	4	<i>Pyrenula confinis</i> (Nyl.) R.C. Harris	6
<i>Graphis chondropilaca</i> (Redinger) Lücking	4	<i>Pyrenula punctella</i> (Nyl.) Trevis.	7
<i>Graphis dracena</i> Vain.	4	<i>Arthonia patellulata</i> Nyl.	7
<i>Graphis submarginata</i> Lücking	4	<i>Caloplaca cerina</i> (Hedw.) Th. Fr.	7
<i>Leptogium azureum</i> (Sw. ex Ach.) Mont.	4	<i>Cryptothecia striata</i> G. Thor	7
<i>Physcia caesia</i> (Hoffm.) Hampe ex Fürnr.	4	<i>Enterographa micrographa</i> (Nyl.) Redinger	7
<i>Physcia stellaris</i> (L.) Nyl.	4	<i>Graphis anfractuosa</i> (Eschw.) Eschw.	7
<i>Hyperphyscia adglutinata</i> (Flörke) H. Mayrhofer & Poelt	4	<i>Lecanora strobilina</i> (Spreng.) Kieff.	7
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	5	<i>Physcia americana</i> G. Merr.	7
<i>Leptogium milligranum</i> Sierk	5	<i>Arthonia rubella</i> (Fée) Nyl.	7
<i>Pyxine cocoës</i> (Sw.) Nyl.	5	<i>Bacidia rosella</i> (Pers.) De Not.	8
<i>Physcia aipolia</i> (Ehrh. ex Humb.) Fürnr.	5	<i>Heterodermia diademata</i> (Taylor) D.D. Awasthi	8
<i>Graphis furcata</i> Fée	5	<i>Xanthoria candelaria</i> (L.) Th. Fr.	8
<i>Graphis librata</i> Fée	5	<i>Heterodermia albicans</i> (Pers.) Swinscow & Krog	8
<i>Mycomicrothelia subfallens</i> (Müll. Arg.) D. Hawksw.	5	<i>Parmotrema mellissii</i> (C.W. Dodge) Hale	8
<i>Parmotrema dilatatum</i> (Vain.) Hale	5	<i>Candelaria fibrosa</i> (Fr.) Müll. Arg.	8
<i>Leptogium chloromelum</i> (Ach.) Nyl.	5	<i>Dirinaria picta</i> (Sw.) Schaer. ex Clem.	9
<i>Hyperphysia pandani</i> (H. Magn.) Moberg	5	<i>Caloplaca pollinnii</i> (A. Massal.) Jatta	9
<i>Leptogium austroamericanum</i> (Malme) C.W. Dodge	5	<i>Chroodiscus</i> sp	10
<i>Pyxine caesiopruinosa</i> (Tuck.) Imshaug	5	<i>Leptogium marginellum</i> (Sw.) Gray	10

... continuación de Tabla 4. Valores de Q para cada especie, en donde los valores bajos indican especies tolerantes y los altos especies sensibles, señalando las especies foliosas toxitolerantes.

Especie	Q	Especie	Q
<i>Dirinaria applanata</i> (Fée) D.D. Awasthi	5	<i>Bacidia schweinitzii</i> (Fr. ex Tuck.) A. Schneid.	11
<i>Pyxine petricola</i> Nyl.	5	<i>Arthonia caesia</i> H. Olivier	11
<i>Canoparmelia crozalsiana</i> (B. de Lesd.) Elix & Hale	6	<i>Arthonia complanata</i> Fée	11
<i>Physcia sorediosa</i> (Vain.) Lynge	6	<i>Lecanora thysanophora</i> R.C. Harris	11
<i>Hyperphyscia pyrithrocardia</i> (Müll. Arg.) Moberg & Aptroot	6	<i>Lecanora pulicaris</i> (Pers.) Ach.	12
<i>Hyperphyscia minor</i> (Fée) Kalb	6	<i>Heterodermia granulifera</i> (Ach.) W.L. Culb.	13
<i>Leptogium phyllocarpum</i> (Pers.) Mont.	6	<i>Parmotrema crinitum</i> (Ach.) M. Choisy	13
<i>Physcia millegrana</i> Degel.	6	<i>Graphis elegans</i> (Borrer ex Sm.) Ach.	15
<i>Caloplaca flavorubescens</i> (Huds.) J.R. Laundon	6	<i>Lecanora cupressii</i> Tuck	16
<i>Coenogonium moniliforme</i> Tuck.	6		

Discusión

Riqueza

El presente estudio reporta 26 nuevos registros para el país (Tabla 1), lo que indica que el estudio de líquenes en Guatemala es bastante reciente y escaso, evidenciado en las escasas publicaciones y el reducido número de registros de colecta disponibles en los herbarios del país, “Profesor José Ernesto Carrillo” de la Facultad de Agronomía (AGUAT), Herbario BIGU, Herbario USCG de la USAC y Herbario de la Universidad del Valle de Guatemala (UVAL), en donde se han reportado poco más de 500 especies (Cohn, & Sunum, 2012) de las 3,000 estimadas para la República de Guatemala (Lücking, Rivas, Chaves, Umaña, & Sipman, 2009). Se debe considerar, además, que en áreas urbanas las comunidades líquénicas no son tan diversas como en ambientes naturales y por lo general están compuestas de especies que toleran el exceso de luz y contaminantes aéreos.

Los líquenes foliosos se han reportado como los más sensibles a los factores atmosféricos (Hawskworth, & Rose, 1970), sin embargo, la

familia Physciaceae es la más abundante y la especie *Hyperphyscia adglutinata* (Flörke) H. Mayrhofer y Poelt de dicha familia, cubre la mayor superficie, indicando que esta especie tiene una alta capacidad para colonizar áreas adversas, lo que apoya su potencial como bioindicador de alta contaminación (valor Q=4). Estos resultados coinciden con lo reportado por Estrabou (1998) quien propone dos especies de *Hyperphyscia* como bioindicadoras y Saipunkaew, Wolseley, Chimonides y Boonpragob (2004) que reportan a *H. adglutinata* como tolerante a la contaminación.

La segunda familia más abundante es Graphidaceae, compuesta de líquenes costrosos, los cuales son menos vulnerables a las alteraciones de la calidad del aire (Hawskworth, & Rose, 1970), dado que presentan una unión más estrecha con el sustrato, tienen crecimiento marginal y no poseen corteza inferior. *Graphis* presenta una riqueza de nueve especies lo que coincide con otros estudios (Dixon, & Kelly, 1979; Ederra, 1996; Das, 2013), en donde especies de este género han sido reportadas como tolerantes a la contaminación.

En cuanto a los valores de diversidad ($\alpha_1=14.46$ y $\beta_1=13.38$) se puede observar poca diferencia entre los puntos de muestreo, manifestándose que la comunidad líquénica en el corredor es homogénea lo que puede explicarse por los altos índices de contaminación aérea en el corredor metropolitano HN-HS, y la poca diferencia en los valores de IPA para los diferentes puntos de muestreo. Fernández y otros, (2006) evaluaron un área de España diez años después de su primer muestreo con bioindicadores, y no encontraron grandes cambios en la composición líquénica a pesar que las emisiones de SO_2 aumentaron, sin embargo, observaron un aumento en la frecuencia de especies toxitolerantes, las cuales se ven favorecidas por el aumento de emisiones de contaminantes. Este panorama podría darse en la ciudad de Guatemala en un futuro si no se regulan y disminuyen las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

Patrones de contaminación

La presente investigación sigue una tendencia mundial con relación a investigaciones liquenológicas que permiten identificar y registrar tendencias con cambios en las comunidades líquénicas en áreas urbanas. Los valores de IPA reportados en el presente estudio (4.5 - 25.5) indican que la mayoría de puntos de muestreo (22) se encuentran dentro de la clase pobre en líquenes, seguidos por áreas de transición (8) y los puntos P5 y P13 con valores tan bajos que se encuentran dentro de la clase ausencia de líquenes (Figura 1). Por otro lado, el presente estudio propuso incluir al IPA valores de cobertura de las especies en cada punto de muestreo para visualizar las especies dominantes en las comunidades. Los valores obtenidos en esta variante del IPA (11.1- 75.4) indican que la mayoría de puntos (17) se encuentran en la clase transición, seguido por normal (11) y luego cuatro puntos pobres en líquenes (Figura 2). Los valores más bajos de IPA+cobertura corresponden

a las áreas más contaminadas en donde se encuentran los puntos P5 y P13, los cuales coinciden con los valores de IPA, y a este grupo se añaden los puntos P8 y P14 debido a que la especie toxitolerante *H. adgluinata* es dominante por el grado de cobertura (1,936 y 1,241 cm^2). Los puntos con mayor valor de IPA+cobertura, que corresponden a áreas menos contaminadas son P6, P7, P11, P16, P31, P23, P21 y P28, los cuales coinciden con los valores de IPA, y a este grupo se añaden los puntos P12, P25 y P22 los cuales en general tienen bajo grado de cobertura (656, 941 cm^2 y 943 cm^2) pero poseen especies toxisensibles como *Lecanora pulicaris* (Pers.) Ach. y *Lecanora thysanophora* R.C.Harris, por lo que se incluyen dentro de este grupo. Por lo tanto, se puede inferir que el valor de cobertura les confiere mayor sensibilidad a los datos, permitiendo un valor de IPA más ajustado a la biología de las especies, con base en especies toxitolerantes y toxisensibles.

Con ambas metodologías, los valores más bajos se encuentran en los puntos P5 y P8, y los más altos se encuentran en los puntos P28 y P21 (Tabla 3). El punto P5 se encuentra en la ruta de salida al Atlántico del país, la cual mantiene una alta afluencia de vehículos pesados durante todo el día, lo que explica la alta contaminación. Además, habría que evaluar el efecto que tiene la industria cervecera con sus múltiples áreas de producción que se encuentran próximas a este punto. El punto P13 se encuentra en las cercanías del basurero municipal y del Cementerio General, de donde provienen fuertes emisiones de gases que contaminan la atmósfera y son transportados por los vientos predominantes del noroeste hacia donde se localiza el punto P13. Por lo descrito anteriormente, se propone la implementación de dos estaciones de medición de la calidad del aire en dichos puntos, además se debería evaluar el efecto de la contaminación aérea sobre las personas que habitan o que transitan en ese sector.

Las áreas pobres en líquenes se ubican en los puntos más transitados, tales como avenidas principales, áreas comerciales, y pocas áreas residenciales y a pesar de que se incluyen cinco parques municipales se puede observar que éstos se ven afectados por el tránsito vehicular intenso a su alrededor. Las áreas en transición a su vez, se encuentran en la periferia de la ciudad, dentro de parques municipales o en puntos cercanos a barrancos de áreas verdes. Los barrancos del área metropolitana de Guatemala (amg), dada su condición orográfica, ayudan a limpiar el aire, en donde existe una vía libre para la circulación del viento proveniente del noreste la mayor parte del año. Esta condición representa una adecuada dilución y dispersión de los contaminantes gaseosos particulados, favoreciendo un continuo sistema de limpieza del aire en la ciudad (USAC, 2012; MARN, 2009). Sin embargo, habría que analizar en un futuro el efecto del incremento de la carga vehicular para estos sitios, pudiendo incrementarse la contaminación y disminuir los valores de IPA y cambiar a la clase “pobre en líquenes”.

En relación a los valores del ECF obtenidos (1.7 y 15.1) se puede observar que la mayoría se encuentran en la clase I (ausencia de líquenes) seguida por la clase II (pobre en líquenes) (Figura 3). El índice ECF toma en cuenta la composición y la dominancia de cada forma de crecimiento. Los valores obtenidos indicaron una escala muy baja; esto se puede deber a que en realidad no existe mayor dominancia en cuanto a formas de crecimiento, ya que solamente se encontraron líquenes costrosos y líquenes foliosos representando un 49% y 51% respectivamente. Los líquenes fruticosos son los primeros en desaparecer de un ecosistema urbano como consecuencia de la contaminación atmosférica (Hawksworth, & Rose, 1970), lo que se confirma con los datos obtenidos, ya que no se encontraron líquenes fruticosos y el área con mejor

calidad de aire se encuentra en la zona de clasificación de “área de transición”, lo cual es bastante bajo. Por lo tanto, por el alto grado de contaminación presente en la ciudad de Guatemala, este índice no resulta útil ya que la ausencia de líquenes fruticosos no permite evaluar a una escala más fina la comunidad liquénica.

Los datos de Lüking y otros, (2011), fueron obtenidos de muestreos realizados en 5 de las seis estaciones de medición de calidad del aire monitoreadas en la ciudad por la Escuela de Química de la USAC, más un parque natural (Hipódromo del Norte), un área residencial (Colonia El Maestro) y otro punto dentro de la Universidad (Iglú). Según el IPA reportado, en las estaciones Iglú e Hipódromo del Norte, la calidad del aire es excelente, mientras que para las estaciones INSIVUMEH, EFPEM, USAC T10 y Colonia El Maestro la calidad del aire es normal y para las estaciones Hino e Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), la calidad del aire está en estado de transición (Figura 4). Estos resultados tienen una alta coincidencia con los datos reportados por el laboratorio de calidad del aire, especialmente para las PM10. Tomando en cuenta estos valores de IPA, se puede observar que en tres de las seis estaciones la calidad del aire va desde normal hasta excelente, y que el punto que presenta mayor grado de contaminantes es el INCAP, clasificándose en estado de transición. Sin embargo, estos resultados no reflejan la realidad de la calidad del aire de la ciudad capital, dado que todo el centro de la ciudad se encuentra en un área “pobre en líquenes”. Por otro lado, se debe considerar que los valores obtenidos por dichas estaciones indican que existen contaminantes en el aire que sobrepasan los valores requeridos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), pero no lo suficiente para incentivar la aplicación de leyes para mejorar la calidad del aire.

En el análisis de agrupamiento se identificaron dos grupos principales, uno con las áreas con valores de IPA+cobertura en un grupo pequeño, y el resto de puntos de muestreo en otro grupo, el cual a su vez contiene un subgrupo en donde se encuentran los sitios con mayores valores de IPA+cobertura. Esto confirma que los puntos P5, P8 y P14 se encuentran en las áreas con mayor grado de contaminación atmosférica y que los puntos P21, P23 y P28 se encuentran en las áreas menos contaminadas de todos los puntos de muestreo, y el resto se encuentra en un área de transición que está siendo afectada por la contaminación. En los puntos P12, P25 y P26 se observó que los líquenes presentaban daños en su estructura, tales como zonas de blanqueamiento, lo que causa una disminución en la capacidad fotosintética y adaptativa del líquen. Según Crespo, Barreno, Sancho y Bueno (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. Así mismo, en los puntos de transición P1, P4, P17, P18, P25, P26 y P32 se observaron talos estériles. Esto se explica con lo reportado por Hawksworth & Rose (1970), quienes indican que las estructuras reproductivas no se desarrollan en ambientes donde los líquenes están expuestos a contaminación y Le Blanc y De Sloover (1970) reportan que el SO₂ estimula la producción de soralioides e isidios.

La reducción de tamaño de la misma especie en diferentes puntos de muestreo es uno de los caracteres más comúnmente reportado en estudios de líquenes como bioindicadores (Gaio, & Branquinho, 1999; Carreras, Gudino, & Pignata, 1998; Crespo y otros., 1977; Hawksworth, & Rose, 1970), así como se puede observar en el caso de

H. adglutinata tiene mayor porcentaje de cobertura en el punto P23 y se encuentra ausente en los puntos P8 y P5.

En el modelo de ordenación se puede observar que dentro del grupo de puntos con menor IPA, más contaminados, está incluido el P1 que pertenece al Jardín Botánico de la USAC. Una posible explicación a esto es que en el Jardín Botánico hay árboles muy altos, proyectan sombra sobre las jacarandas de donde se tomaron los datos, lo que no permite que los líquenes allí presentes obtengan suficiente luz para su crecimiento. Por otra parte, los puntos P21 y P28 con los IPA más altos, están agrupados con datos de contaminación intermedia, lo que indica que a pesar de poseer los valores más altos, no son lo suficientemente altos y que todos pertenecen a un área de transición. El punto P23 también posee un IPA alto pero no se encuentra agrupado con el P21 y el P28, lo que se debe a que la cobertura no es tan alta como en dichos puntos.

Especies indicadoras

Con base en el Índice Ecológico Q se puede concluir que las especies foliosas toxitolerantes son *Leptogium azureum* (Sw. ex Ach.) Mont., *Physcia caesia* (Hoffm.) Hampe ex Fűrnr., *Physcia stellaris* (L.) Nyl., *Hyperphyscia adglutinata** (Flörke) H. Mayrhofer & Poelt, *Candelaria concolor** (Dicks.) Arnold, *Leptogium milligranum** Sierk, *Pyxine cocoës** (Sw.) Nyl., *Physcia aipolia* (Ehrh. ex Humb.) Fűrnr., *Parmotrema dilatatum* (Vain.) Hale, *Leptogium chloromelum* (Ach.) Nyl., *Hyperphyscia pandani** (H. Magn.) Moberg, *Leptogium austroamericanum* (Malme) C.W. Dodge, *Pyxine caesiopruinosa* (Tuck.) Imshaug, *Dirinaria applanata** (Fée) D.D. Awasthi y *Pyxine petricola** Nyl. (Tabla 7). Las especies que poseen un asterisco (*) según los datos obtenidos por Lücking y otros, (2011), también son

posibles bioindicadoras, dado su bajo valor de Q. Las especies foliosas son más fáciles de identificar en el campo, por lo que son propuestas como guía para futuros estudios.

Cabe resaltar que la bioindicación con líquenes no puede evaluar condiciones ambientales o ecológicas por sí solas, y la idea de que los líquenes pueden reemplazar instrumentos fisicoquímicos no es del todo correcta. Sin embargo, los resultados presentados sugieren que los líquenes pueden complementar mediciones físico-químicas, especialmente en donde no existen estaciones para ello y pueden indicar áreas con problemas ambientales que necesiten investigación instrumental, como por ejemplo los puntos P5 y P13. Por otro lado, desde la Cumbre de la Tierra Progra de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) de 1992, la biodiversidad se convirtió en un factor clave en estudios ambientales, y los líquenes deben ser considerados valiosos por sí solos, y amenazados por la contaminación atmosférica. Actualmente, en la ciudad de Guatemala no se cuenta con una normativa específica que regule la concentración de contaminantes en el aire y las emisiones de las fuentes. Dado que el país es considerado sumidero de carbono, donde las absorciones son mayores que las emisiones, es importante no perder de vista el hecho que la contaminación aérea no solo provoca la pérdida de diversidad de especies, sino también se ve afectada la salud humana. Por lo tanto, se espera que la información obtenida a partir del presente estudio pueda utilizarse como base para incorporar los líquenes como complemento al monitoreo de calidad de aire en la ciudad capital y otras zonas urbanas en el país.

Agradecimientos

Se agradece al Herbario USCG, CECON y al Doctor Robert Lücking y a los Licenciados

Roselvira Barillas, Mario Cifuentes por su apoyo en cada etapa del estudio.

Referencias

- Anze, R., Franken, M., Zaballa, M., Pinto, M., Zeballos, G., Cuadros, M., Canseco, A., De la Rocha, A., Estellano, V., & Del Granado, S. (2007). Bioindicación en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. Unidad de Calidad Ambiental, Instituto de Ecología. Carrera de Biología, UMSA, La Paz, Bolivia. en Revista Virtual REDESMA, junio 2007.
- Aptroot, A., Lücking, R., Sipman, H., Umaña, L., & Chaves, H. (2008). Pyrenocarpous lichens with biunicate asci: a first assessment of the lichen biodiversity inventory in Costa Rica. *Bibliotheca Lichenologica*. 97,1-162.
- Barclay, P. (1992). Lichens of *Cocos nucifera* on Caye Caulker, Belize. *Lichenologist*. 24,249-254.
- Bretschneider, S., & Marcano, V. (1995). Utilización de líquenes como indicadores de contaminación por metales pesados y otros agentes en el Valle de Mérida. *Revista Forestal Venezolana*. 1,35-36.
- Brodo, I., Sharnoff, S.D., & Sharnoff, S. (2001). Lichens of North America. Italia: Yale University press.
- Carreras, H., Gudino, G., & Pignata, M., (1998). Comparative biomonitoring of atmospheric quality in five zones of Cordova city employing the transplanted lichen *Usnea* sp. *Environmental Pollution*. 103,317-325.

- Cohn, G., & Sunum, R. (2012). Líquenes de Guatemala: Historia natural y lista actualizada. En E. Cano & J. Schuster (Eds) *Biodiversidad de Guatemala Volumen II*. Pp 63-113. Guatemala. Universidad del Valle de Guatemala.
- Crespo, A., Barreno, E., Sancho, L., & Bueno, A. (1981). Establecimiento de una red de valoración de pureza atmosférica en la provincia de La Coruña (España) mediante bioindicadores liquénicos. *Lazaroa*. 3,289-311.
- Das, P., Joshi, S., Rout, J., & Upreti, D. (2013). Lichen diversity for environmental stress study: application of index of atmospheric purity (IAP) and mapping around a paper mill in Barak valley, Assam, northeast India. *Tropical Ecology*. 54 (3), 355-364.
- Dixon, J., & Kelly, D. (1979) A study of Jamaican lichens. En: C. Davis, (Ed.) *Proceedings of a symposium on environmental studies in Jamaica*, 25-26 May 1979, pp. 193-200. University of West Indies, Mona.
- Ederra, A. (1996). *Botánica Ambiental Aplicada: Las plantas y el equilibrio ecológico de nuestra tierra*. Navarra: EUNSA.
- Estrabou, C. (1998). Lichen species identification and distribution according tolerance to airborne contamination in the city of Córdoba (Argentina). In: M.P. Marcelli & M.R.D. Seaward (Eds.) *Lichenology in Latin America: history, current knowledge and applications*. São Paulo, Brazil: CETESB.
- Fernández, A., Terrón, A., & Barreno, E. (2006). Bioindicadores de la calidad del aire en La Robla diez años después. *Lazaroa*, 27, 29-41.
- Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación. (2005). *Propuesta técnica para el establecimiento del Cinturón Ecológico Metropolitano de la Ciudad de Guatemala*. Capítulo Metropolitano. Guatemala.
- Gaio-Oliveira, C., & Baranquinho, C. (1999). Spatial impact of atmospheric dust from a cement mill in Sierra da Arrábida, using lichens as biomonitoring. *Revista de Biología*. 17,33-42.
- García, M.F.F., Guerrero, D., Marcelli M. P., & Saiki, M. (1997). Aplicação didática de um estudo sobre indicadores de poluição na cidade de Guarulhos, Estado de São Paulo. En M. P. Marcelli, A. Salino, & C. H. Riveiro (Eds), *Recollecting Vaino y GLAL-3, Catas Atlas*. Sao Paulo, Brazil: *International Association for Lichenology*.
- Hawksworth, D. L., Iturriaga, T., & Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 22, 71-82.
- Hawksworth, D., & Rose, F. (1970). Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*, 227,145-48.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (2013). *Boletín de la calidad del aire 210-2013 del 31 de Julio 2013*. Recuperado de: <http://www.insivumeh.gob>.

- gt:8080/calidadaire/documentos/BOLETIN%20CALIDAD%20AIRE%2031%2007%202013.pdf
- Jongman, R., Braak, T., & Tongren, O. (1995). *Data Analysis in community and landscape ecology*. New York: Cambridge University Press.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *OIKOS*, 113(2), 363-375.
- Kricke, R., & Loppi, S. (2002). Bioindication: The IAP approach. In P.L. Nimis, C. Scheidegger & P. A. Wolseley (Eds.), *Monitoring with lichens- Monitoring lichens* (pp.21-37) Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Käffer, M. (2011). *Biomonitoramento da qualidade do ar com uso de liquens na cidade de Porto Alegre, RS*. (Tesis de Doctorado). Universidade Feredal do Rio Grande do Sul. Brasil.
- Le Blanc, F., & Sloover, J. (1970). Relation between industrialization and distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany*, 48:1485-1496.
- Lücking, R., Chaves, J., Sipman, H., Umaña, L., & Aptroot, A. (2008). A first assessment of the ticolichen biodiversity inventory in Costa Rica: the genus *Graphis*, with notes on the genus *Hemithecium* (Ascomycota: Ostropales: Graphidaceae). *Fieldiana: Botany*. 46,1-130.
- Lücking, R., Rivas Plata, E., Chaves, J.L., Umaña, L., & Sipman, H. (2009). How many lichens are there... really? *Bibliotheca Lichenologica*. 100, 399-418.
- McCune, B., & Grace, J. 2002. *Analysis of Ecological Communities*. Oregon: MjM Software Desing.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2011). *Informe Ambiental del Estado de Guatemala*. Guatemala.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales – Universidad Rafael Landívar/ Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2009). *Informe ambiental del estado- GEO Guatemala 2009*. Guatemala.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (1999). Densidad poblacional de Guatemala. Recuperado de: <http://www.geosalud.com>
- Purvis, W. (2000). *Lichens*. London: Natural History Museum.
- Saipunkaew, W., Wolseley, P., Chimonides, J., & Boonpragob, K. (2004) Lichens as monitors of urban pollution in northern Thailand. In: T. Randlane, & A. Saag, (Eds.) *IAL5 Book of abstracts: Lichens in focus*. Tartu. 67-68.
- 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.
- Sipman, H. (2005a). *Identificacion key and literature guide to the genera of Lichenized Fungi (Lichens) in the Neotropics*. Botanic Garden & Botanical Museum Berlin-Dahlem. Free University of Berlin.
- Sipman, H. (2005b). *Key to crustose, not foliicolous lichens*. Botanic Garden &

Botanical Museum Berlin-Dahlem.
Free University of Berlin..

Sipman, H. (2005c). Key to foliose lichens.
Botanic Garden, & Botanical
Museum Berlin-Dahlem. Free
University of Berlin.

Sipman, H. (2005d). *Compiled, provisional
key to the species of Hyperphyscia,
with short diagnoses*. Botanic
Garden & Botanical Museum Berlin-
Dahlem. Free University of Berlin.

Szczepaniak, K., & Biziuk, M. (2003).
Ecotoxicology: Aspects of the
biomonitoring studies using mosses
and lichens as indicators of metal
pollution. *Environmental Research*,
93(3), 221-230.

Universidad de San Carlos de Guatemala y
Ministerio de Ambiente y Recursos
Naturales (2012). Informe anual 2011:
monitoreo del aire en la ciudad de
Guatemala. Guatemala: Autor.

Vareschi V., & Moreno, E. (1973). La
contaminación en Caracas en los
años 1953 y 1973. *Boletín de la
Sociedad Venezolana de Ciencias
Naturales*, 30: 387-444.

Verein Deutscher Ingenieure, 2004
*Biological measurement procedures
for determining and evaluating the
effects of ambient air pollutants on
lichens (bio-Indication): Mapping
the diversity of epiphytic lichens as
indicators of air quality*. 3957, Part
13. 24 pp. Recuperado de: [http://
www.vdi.de/presse/mitteilungen_
details/index.php?ID=1015947](http://www.vdi.de/presse/mitteilungen_details/index.php?ID=1015947)