

VARIACIÓN EN EL PORCENTAJE DE COBERTURA DE LÍQUENES DURANTE LAS ÉPOCAS SECA Y LLUVIOSA EN ÁRBOLES DE LAS PROVINCIAS DE SAN JOSÉ, ALAJUELA Y CARTAGO, COSTA RICA

Víctor Hugo MÉNDEZ ESTRADA
Universidad Estatal A Distancia, San José, Costa Rica
vmendez@uned.ac.cr

RESUMEN

La expansión humana hacia zonas urbanas genera fuentes de contaminación que afectan la calidad del aire, principalmente debidas al tráfico vehicular y a la producción industrial, que producen emisiones de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, metales pesados o hidrocarburos policíclicos aromáticos; que presentan variaciones importantes con respecto a su naturaleza, concentraciones y tamaños. La contaminación atmosférica provoca cambios en la biodiversidad y composición de los ecosistemas, como sucede con la comunidad de líquenes. Los líquenes son utilizados como bioindicadores para medir el estado de la atmósfera de un determinado lugar, debido a que responden de distinta forma ante la presencia de contaminantes atmosféricos. Se busca analizar en la época seca y lluviosa el porcentaje de cobertura de líquenes presentes en los cuatro lados de árboles de las provincias de San José, Alajuela y Cartago (Costa Rica). Se escogieron 10 parques municipales y en cada uno de ellos ocho árboles a los que se les midió por medio de una plantilla con 100 puntos aleatorios la cobertura de líquenes a 1,50cm del suelo, en los cuatro puntos cardinales y durante las épocas seca y lluviosa. El porcentaje de cobertura es mayor durante la época lluviosa en la mayoría de los parques; sin embargo, esa diferencia no es significativa. Entre los 0 a 19%, es el lado oeste el que presenta mayor cobertura de líquenes en los árboles de las áreas verdes de San José, pero no existe un patrón definido de distribución.

PALABRAS CLAVE: Valle Oriental, Valle Occidental, Clima, Parques Municipales, Viento, Contaminación Atmosférica

ABSTRACT

Human expansion into urban areas creates sources of pollution affecting air quality, mainly due to traffic and industrial production, resulting in emissions of sulfur dioxide, nitrogen oxides, ozone, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons; posing significant variations with respect to their nature, concentrations and sizes. Air pollution causes changes in biodiversity and ecosystem composition, as with the community of lichens. Lichens are used as bio-indicators for measuring the state of the atmosphere of a particular place, because they respond differently to the presence of air pollutants. We analysed during dry and rainy seasons the percentage cover of lichens on trees present in the provinces of San José, Alajuela and Cartago (Costa Rica). We chose ten municipal parks and eight trees in each to which they are measured by means of a template with 100 random points lichens cover to 1,50cm of soil, on the four cardinal points and during the dry and rainy seasons. The coverage percentage is higher during the rainy season in most parks, however this difference is not significant. Between 0-19%, west side is the one with more coverage of lichens on trees in the green areas of San José; however, there is a definite distribution pattern.

KEY WORDS: East Valley, West Valley, Weather, Municipal Parks, Wind, Air Pollution

INTRODUCCIÓN

La expansión del ser humano hacia zonas urbanas (McDonnell & Pickett, 1990; Fournier, 1993) es un proceso continuo que produce una gama amplia de densidades y patrones de asentamiento que provocan la reducción y fragmentación de la vegetación nativa (Sheridan, 2007), al darse un aumento en la densidad de habitantes por km² y una disminución del área verde por habitante; especialmente en zonas urbanas de menor ingreso económico (Groenewegen *et al.*, 2006).

Esta expansión genera diversas fuentes de contaminación, siendo las principales el tráfico vehicular y la producción industrial, que afectan la calidad del aire (Conti & Cecchetti, 2001), la cual es promovida principalmente por emisiones de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, metales pesados e hidrocarburos policíclicos aromáticos (Domeño *et al.*, 2006), que presentan variaciones importantes en su composición, naturaleza, concentraciones y tamaños (Falla *et al.*, 2000).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, el aire contaminado presenta en su composición sustancias extrañas, cuyas cantidades y tiempo de permanencia las convierte en nocivas para toda forma de vida en la Tierra (Andrés *et al.*, 2000); por lo tanto, los seres humanos estamos obligados a cuidar el aire para la sobrevivencia de todos los ecosistemas de este planeta. Sin embargo, a nivel mundial se siguen descargando en el aire grandes cantidades de contaminantes que deterioran la calidad de los ambientes y ecosistemas de la Tierra y aumentan las concentraciones de las partículas sólidas en suspensión (Sbarato *et al.*, s.f.) y otras sustancias más como los metales pesados (Rubiano & Chaparro, 2006; Weissman *et al.*, 2006; Aspiazu *et al.*, 2007; Giordani, 2007; Fuga *et al.*, 2008).

No sólo el ser humano se ve afectado por las partículas contaminantes presentes en el aire, muchos organismos más ven interrumpidas sus actividades metabólicas, fisiológicas y funcionales cuando las partículas del aire sobrepasan los valores óptimos para su adecuado desarrollo; tal es el caso de los líquenes (García & Rubiano, 1984; Gombert *et al.*, 2006; García, 2007), asociación mutualista entre un hongo (micobionte) y una alga o cianobacteria (ficobionte) (Hawksworth *et al.*, 2005; Ramírez & Cano, 2005; Lijteroff *et al.*, 2009).

Para determinar la calidad del aire, de los ecosistemas terrestres y acuáticos, se suele recurrir a los organismos bioindicadores (Cepeda & García, 1998; Fernández-Salegui *et al.*, 2006; Nali *et al.*, 2007; Giordani, 2007; Fuga *et al.*, 2008; Policnik *et al.*, 2008; Lijteroff *et al.*, 2009) y a los bioacumuladores, al medir cuantitativamente la concentración de una sustancia presente en ellos (Dillman, 1996; Jeran *et al.*, 2002; Golubev *et al.*, 2005; Bernasconi *et al.*, 2000; Santoni & Lijteroff, 2006; Aspiazu *et al.*, 2007; Fuga *et al.*, 2008).

Las especies indicadoras son organismos vivos que responden a la influencia de sustancias contaminantes presentes en el medio, mediante alteraciones en sus funciones vitales, en sus características poblacionales o por acumulación de dichas sustancias; razón por la cual proporcionan información sobre el medio en que se encuentran (Giordani, 2007; Nali *et al.*, 2007; Policnik *et al.*, 2008).

A nivel mundial, los líquenes son los bioindicadores más utilizados para medir la calidad del aire (Cepeda & García, 1998; Rhoades, 1999; Fernández-Salegui *et al.*, 2006; Rojas-Fernández *et al.*,

2006; Méndez-Estrada & Monge-Nájera, 2011), dado que modifican su comportamiento biológico ante ciertos niveles de contaminantes ambientales (Monnet *et al.*, 2005; Vergara *et al.*, 2005; Vásquez *et al.*, 2006; Munzi *et al.*, 2007; Cristofolini *et al.*, 2008; Neurohr, 2011).

Desde el siglo XX quedó superado el debate sobre el valor de los líquenes como indicadores de la “salud del aire” de una localidad; hoy existen programas de monitoreo en varios países, sobre todo del occidente y centro de Europa (Brighigna *et al.*, 2002; Bedregal, 2005; Anze *et al.*, 2007; Fuga *et al.*, 2008; Lijteroff *et al.*, 2009), donde queda demostrado que la evaluación integral de la calidad del aire se hace rápido, con bajo costo y con técnicas de fácil aplicación (Canseco *et al.*, 2006; Méndez-Estrada & Monge-Nájera, 2011).

En Costa Rica, el estudio de la contaminación atmosférica usando líquenes como biomonitores se inició en 1970 (Méndez, 1977; Méndez & Fournier, 1980), se han hecho una serie de estudios sobre diversos aspectos como la reacción comparada del líquen estándar europeo, *Hipogymnia physoides* y los líquenes de la ciudad de San José (Grüninger & Monge, 1988), los cambios a lo largo de 20 años y su relación con el plomo de la gasolina (Monge *et al.*, 2002), las ventajas y desventajas de diversas metodologías de muestreo, así como el efecto del observador en el error de medición (Cristofolini *et al.*, 2008) y, más recientemente, el uso de sistemas de información geográfica para mapear la contaminación urbana y periurbana de San José (Neurohr *et al.*, 2011).

En esta investigación se busca analizar en la época seca y lluviosa el porcentaje de cobertura de líquenes presentes en los cuatro lados de los árboles de parques municipales de las provincias de San José, Alajuela y Cartago, Costa Rica.

METODOLOGÍA

El estudio se llevó a cabo en la Gran Área Metropolitana (GAM) de Costa Rica, donde se seleccionaron 10 parques municipales de tres provincias y dos valles. El Valle Occidental, incluye a San José (Sabanilla, Guadalupe, Plaza de la Cultura y la Merced), Alajuela (Central, Palmares y Cementerio) y Valle Oriental que abarca a Cartago (Plaza Mayor -Las Ruinas-, Tres Ríos y San Rafael de Oreamuno).

En cada parque la unidad de muestreo fue definida por un grupo de ocho árboles sin importar la especie ni su tipo de corteza, se escogieron tres del lado norte, dos centrales y tres del lado sur. En cada uno se midió con una plantilla que contenía 100 puntos aleatorios el porcentaje de cobertura de líquenes presentes en los cuatro puntos cardinales del árbol y a la altura de 1,50 cm del suelo (DAP), según lo propuesto por Monge *et al.* (2002), método que no requiere conocer las especies de los forófitos ni la de los líquenes. Se realizó entre el 2013 y 2014 dos mediciones, una en la época seca y otra en la lluviosa. En el valle oriental los promedios de temperatura y precipitación en la época seca son de 25°C y 40mm; en la lluviosa de 23°C y 186 mm. Para el valle occidental en la época seca la temperatura promedio es de 26°C y la precipitación de 69mm y en la lluviosa de 26°C y la precipitación de 200 mm. La información fue procesada con el paquete estadístico SPSS v.17. Se realizaron las pruebas estadísticas de Spearman ($p=0,01$) y Kruskal-Wallis ($p = 0,05$).

RESULTADOS

Los porcentajes de cobertura de líquenes en los árboles son muy similares durante la época seca y lluviosa (cuadro1).

CUADRO 1. PORCENTAJE DE COBERTURA DE LÍQUENES EN LOS ÁRBOLES DE LOS PARQUES MUNICIPALES DEL VALLE ORIENTAL Y OCCIDENTAL DE COSTA RICA.

Parque municipal	Cobertura de líquenes según época (%)	
	Seca	Lluviosa
	Valle Oriental	
Central de Tres Ríos	13	26
Las Ruinas	27	17
San Rafael de Oreamuno	5	10
	Valle Occidental	
Plaza de la Cultura	15	11
La Merced	16	12
Sabanilla	33	40
Guadalupe	9	18
Central de Alajuela	3	7
Palmares	4	12
Cementerio	0,60	4
Total promedio	13	16

El mayor porcentaje de cobertura de líquenes en los árboles está entre el ámbito de 0 a 29% (cuadros 2 y figura 1).

CUADRO 2. COBERTURA DE LÍQUENES EN LOS ÁRBOLES DE LOS 10 PARQUES MUNICIPALES, SEGÚN EL PUNTO CARDINAL.

Ámbito de cobertura (%)	Árboles con cobertura según época y punto cardinal (%)							
	Seca				Lluviosa			
	E	O	N	S	E	O	N	S
0 a 9	67	74	62	73	54	61	49	55
10 a 19	13	11	9	8	9	10	10	17
20 a 29	5	4	9	8	11	8	10	7
30 a 39	2	4	7	6	4	5	9	7
40 a 49	4	4	4	2	9	5	2	1
50 a 59			2		5	5	5	10
60 a 69		1			4	5	5	
70 a 79	1	1	2		2		2	
80 a 89	4		1	1	2	1	4	2
90 a 100	4	1	4	2			4	1

VARIACIÓN EN EL PORCENTAJE DE COBERTURA DE LÍQUENES DURANTE LAS ÉPOCAS SECA Y LLUVIOSA EN ÁRBOLES DE LAS PROVINCIAS DE SAN JOSÉ, ALAJUELA Y CARTAGO, COSTA RICA

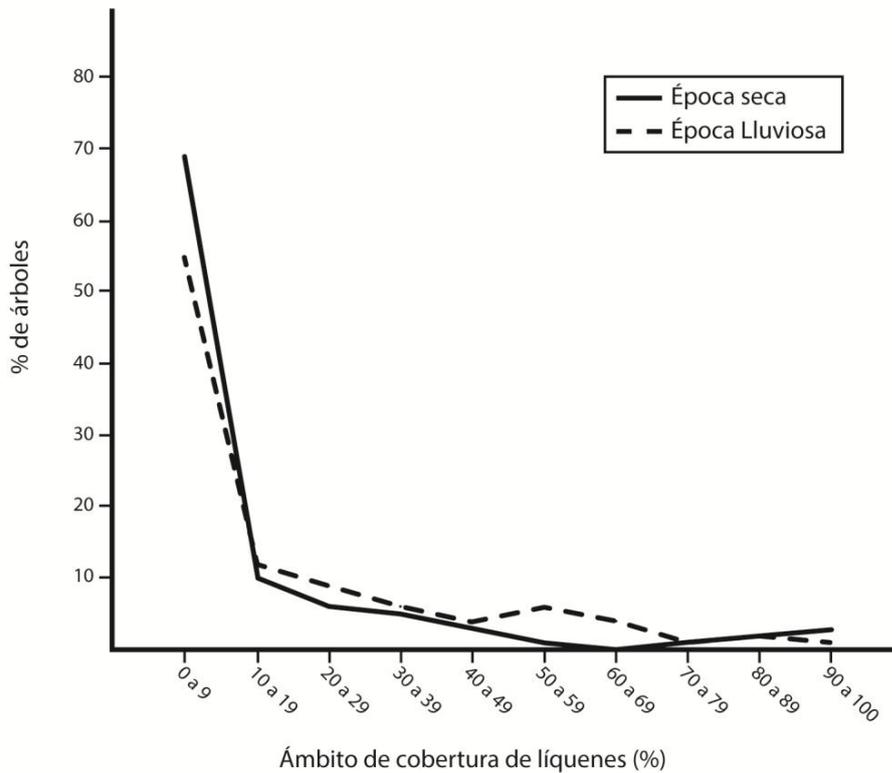


Fig. 1. COBERTURA DE LÍQUENES EN LOS ÁRBOLES DE LOS 10 PARQUES MUNICIPALES, SEGÚN LA ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA.

De acuerdo con la prueba de Sperman ($p=0,01$), el número de árboles disminuye conforme aumenta el ámbito de cobertura y para los cuatro puntos cardinales (cuadro 2): en general la cobertura de líquenes tiende a concentrarse en los ámbitos pequeños indistintamente del punto cardinal donde se mida (cuadro 2). Los coeficientes positivos entre los puntos cardinales confirman que la cobertura de líquenes se comporta de manera similar en los cuatro lados del árbol (cuadro 3).

CUADRO 3. PRUEBA DE SPERMAN ($p=0,01$) PARA EL ÁMBITO DE COBERTURA Y EL PUNTO CARDINAL Y ENTRE CADA PUNTO CARDINAL.

Punto cardinal	Ámbito de cobertura	Este	Norte	Sur
Oeste	-0,849	0,871	0,827	0,761
Este	-0,748		0,736	0,780
Norte	-0,782			0,963
Sur	-0,738			

Existen tres contrastes significativos ($p=0,05$): para el ámbito de 30 a 39% de cobertura, en relación con los puntos cardinales del árbol (K.W. =0,038); para la época lluviosa con el ámbito de 0 a 9% de cobertura (K.W. =0,029) y con el de 50 al 59% de cobertura (K.W. =0,029).

DISCUSIÓN

El estudio de la calidad del aire utilizando la comunidad de líquenes como bioindicadores durante la época seca y lluviosa (húmeda) ha sido llevado a cabo en lugares como Argentina (Canseco *et al.*, 2006) y México (Aspiazu *et al.*, 2007). En La Paz, Argentina se muestrearon diez árboles de la misma especie y se encontró que en las épocas húmeda y seca existía la mayor diversidad de líquenes en zonas con condiciones climáticas favorables y con baja intensidad del tráfico vehicular. En lugares donde existía alto tráfico vehicular y áreas verdes mayores al 30% (avenidas anchas y plazas) existía una cobertura relativamente elevada de líquenes. Esto se debe a la fácil dispersión de los contaminantes por el viento, a los altos niveles de humedad y a la absorción de los contaminantes por la vegetación presente en el lugar (Canseco *et al.*, 2006). En los Valles Oriental y Occidental costarricense se presenta poca variación durante la época seca y lluviosa en la cobertura de líquenes de los árboles de especies diferentes, esto podría ser debido a sus condiciones climáticas muy similares y que en algunos parques los niños se suben a los árboles y desprenden los líquenes.

La posición geográfica de Costa Rica entre los 8 y los 12 grados al norte del Ecuador, le confiere dos condiciones importantes: una temperatura casi estable a lo largo del año y un clima con influencia de los vientos alisios del noreste (Muñoz *et al.*, 2002; Lizano, 2007) y los Nortes -son perturbaciones del comportamiento normal de los Alisios: vientos fríos y secos que se presentan en el territorio costarricense durante diciembre y enero- (Costa Rica, 2008). Esas condiciones propician un clima tropical, cálido y soleado, durante todo el año, ideal para el desarrollo de la comunidad de líquenes en los árboles de los 10 parques municipales y que sus porcentajes de cobertura a 1,5m de altura del suelo sean muy similares durante la época seca y lluviosa.

Ese clima ideal para el desarrollo de los líquenes se ve alterado por las acciones que realiza el ser humano sobre los ecosistemas, principalmente los causados por la contaminación atmosférica que acumula metales y otras partículas que son transportadas por el viento (Larsena *et al.*, 2007). En los valles Oriental y Occidental de Costa Rica, el aire proviene del Caribe y viaja a través del país con dirección este al noreste (Muñoz *et al.*, 2002) y, a su paso va acumulando los contaminantes vehiculares e industriales y, a medida que se mueve por el territorio va dejando una carga más pesada de contaminantes (Monge-Nájera *et al.*, 2002; Neurohr *et al.*, 2011). El porcentaje de variación en la cobertura de líquenes en los 10 parques municipales no varía significativamente durante la época seca y lluviosa, pese a que en todos ellos se ubican paradas de taxis y autobuses, la razón principal es que esas zonas se encuentran más al este y la carga de contaminantes no es tan significativa como la que se descarga en los barrios de Escazú y Santa Ana, zonas con la mayor contaminación del Gran Área Metropolitana (Monge-Nájera *et al.*, 2002; Neurohr *et al.*, 2011).

El clima cálido y soleado durante todo el año de esta zona tropical es ideal para el desarrollo de los líquenes, que, generalmente, se ubican del lado caliente y soleado de sus sustratos: el norte; sin embargo, la tendencia es hacia un crecimiento uniforme en todos los costados del árbol (Medina-Merchán, 2006; Mena-Vásquez & Hofstede, 2006); el porcentaje de variación en la cobertura de líquenes en las épocas seca y lluviosa y en los cuatro puntos cardinales de los árboles de los 10 parques municipales de los valles Oriental y Occidental de Costa Rica no fue significativa, esto puede ser debido a que existen pocas variaciones en la temperatura y precipitación a lo largo del año y a que los líquenes en condiciones extremas reducen su

metabolismo y toman la apariencia reseca ante condiciones de poca humedad (Pinzón & Linares, 2006). Se concluye que el porcentaje de cobertura de líquenes en los árboles de diferentes especies no varía dependiendo de la época seca o lluviosa ni del punto cardinal (lado) del árbol donde se mida.

AGRADECIMIENTOS

A Maribel Zúñiga por la elaboración de la figura, a Ligia Bermúdez por la revisión estadística y a Carolina Seas por los aportes al escrito.

REFERENCIAS

Andrés, D., Ferrero, E. & Mackler, C. (2000). *Monitoreo de contaminantes del aire en la ciudad de Rosario*. On-Line:

http://www.firro.utn.edu.ar/repositorio/investigacion/gese/publicaciones/gese_facchile.pdf 26/6/09

Anze, R., Franken, M., Zaballa, M., Pinto, M., Zeballos, G., Cuadros, M. Canseco, A., De la Rocha, A., Estellano, V.H. & Del Granado, S. (2007). Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. *Revista Virtual REDESMA* 1, pp. 54-74.

Aspiazu, J. L., Cervantes, J., Ramírez, J., López, R., Ramos, R. Muñoz, P. & Villaseñor, P. (2007). Temporal and spatial trends studied by lichen analysis: atmospheric deposition of trace elements in Mexico. *Revista Mexicana de Física* 53, pp. 87-96.

Bedregal, P., Torres, B., Mendoza, P., Ubillús, M., Hurtado, J. Maza, I. & Espinoza, R. (2005). *Uso de Usnea sp. y Tillandsia capillaris, como bioindicadores de la contaminación ambiental en la ciudad de Lima, Perú*. Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Informe Científico y Tecnológico, pp. 151-156.

Bernasconi, E., de Venito, I.E., Martínez, L.D. & Raba, J.. (2000). Liqueen *Usnea densirostra* como bioindicador de metales pesados. Determinación por ICP-AES acoplado con nebulizador ultrasónico. *Ars Pharmaceutica* 41, pp. 249-257.

Brighigna, L., Papini, A., Mosti, S., Cornia, A., Bocchini, P. & Galletti, G.. (2002). The use of tropical bromeliads (*Tillandsia spp.*) for monitoring atmospheric pollution in the town of Florence, Italy. *Rev. Biol. Trop.* 50(2), pp. 577-584.

Canseco A., Anze, R. & Franken, M. (2006). Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. *ACTA NOVA* 3, pp. 286- 307.

Cepeda, J. & García, J. (1998). The effect of air pollution from nitrogen dioxide (NO₂) on epiphytic lichens in Seville, Spain. *Aerobiología* 14, pp. 241-247.

Conti, M.E. & Cecchetti, G. (2001). Biological Monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment - a review. *Environmental Pollution* 114, pp. 471-492.

Costa Rica. (2008). *Cambio climático. Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional, Comité Regional de Recursos Hídricos. On-Line:

[http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/el clima variabilidad y cambio climatico e n cr version final.pdf](http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/el%20clima%20variabilidad%20y%20cambio%20climatico%20en%20cr%20version%20final.pdf)

Cristofolini, F., Giordani, P., Gottardini, E. & Modenesi, P. (2008). The response of epiphytic lichens to air pollution and subsets of ecological predictors: A case study from the Italian Prealps. *Environmental Pollution* 151, pp. 308-317.

Dillman, K. (1996). Use of the lichen *Rhizoplaca melanophthalma* as a monitor in relation to phosphate refineries near Pocatello, Idaho. Great Britain, *Environmental Pollution* 92, pp. 91-96.

- Domeño C., Blasco, M., Sánchez, C. & Nerín, C. (2006). A fast extraction technique for extracting polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from lichens samples used as biomonitors of air pollution: Dynamic sonication versus other methods Aragón. *Analytica Chimica Acta*, 569, pp. 103-112.
- Falla, J., Lalavl-Gilly, P., Henryon, M. Morlot, D. & Ferard, J.F. (2000). Biological air quality monitoring: a review. *Environ Monit Assess*, 64, pp. 627-644.
- Fernández-Salegui, A. B., Terron, A. & Barreno, E. (2006). Bioindicadores de la calidad del aire en La Robla (León, noroeste de España) diez años después. *LAZAROA*, 27, pp. 29-41.
- Fournier, L.A. (1993). *Recursos Naturales*. EUNED, San José, Costa Rica. 389 p
- Fuga, A., Saiki, M., Marcelli, M. & Saldiva, P. (2008). Atmospheric pollutants monitoring by analysis of epiphytic lichens. *Environmental Pollution*, 151, pp. 334-340.
- García, I. (2007). *Científicos leoneses utilizan líquenes como indicadores de la calidad del aire en zonas con centrales térmicas*. On-Line: <http://www.dicyt.com/noticias/cientificos-leoneses-utilizan-liquenes-como-indicadores-de-la-calidad-del-aire-en-zonas-con-centrales-termicas> 28/5/09
- García L. & Rubiano, O.. (1984). Comunidades de líquenes como indicadores de niveles de calidad del aire en Colombia. *Cont. Amb*, 8, pp. 73-90.
- Giordani, P. (2007). Is the diversity of epiphytic lichens a reliable indicator of air pollution? A case study from Italy. *Environmental Pollution*, 146, pp. 317-323.
- Golubev, A.V., Golubeva, V.M., Krylov, N.G., Kuznetsova, V.F., Mavrin, S.V, Aleinikov, A.Y., Hoppes, W.G. & Surano, K.A. (2005). On monitoring anthropogenic airborne uranium concentrations and $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ isotopic ratio by Lichen e bio-indicator technique. England, *Journal of Environmental Radioactivity*, 84, pp. 333-342.
- Gombert S., Asta, J. & Seaward, M. (2006). Lichens and tobacco plants as complementary biomonitors of air pollution in the Grenoble area (Isère, southeast France). *Ecological Indicators*, 6, pp.429-443.
- Groenewegen, P.P., van den Berg, A.E., de Vries, S. & Verheij, R.A.. (2006). Vitamin G: effects of green space on health, well-being, and social safety. *BMC Public Health*, 6(149).
- Gruninger, W. & Monge-Nájera, HJ. (1988). Use of the temperate lichen Hypogymniaphysodes (Parmeliaceae) to valuate air pollution in the Tropics. *Rev. Biol. Trop.*, 36(2B), pp. 545-547.
- Hawksworth, D., Iturriaga, T. & Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Rev Iberoam Micol*, 22, pp. 71-82.
- Jeran, Z., Jacimovic, R. Batic, F. & Mavsar, R. (2009). Lichens as integrating air pollutin monitors. Great Britain, *Environmental Pollution*, 120, pp. 107-113. Lichens as integrating air pollution monitors. Great Britain, *Environmental Pollution*, 120(1), pp. 107-113.
- Larsena, R.S., Bellb, J.N.B., Jamesa, P.W., Chimonidesa, P.J., Rumsey, F.J., Tremperc, A. & Purvisa, O.W. (2007). Lichen and bryophyte distribution on oak in London in relation to air pollution and bark acidity. *Environm.Pollut.*, 146, pp. 332-340.

- Lijteroff, R., Lima, L. & Prieri, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 25, pp. 111-120.
- Lizano, O. (2007). Climatología del viento y oleaje frente a las costas de Costa Rica. Escuela de Física, Universidad de Costa, San José, Costa Rica. *Ciencia y Tecnología*, 25(1-2), pp. 43-56.
- McDonnell, M.J. & Pickett, S.T.A (1990). Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: and unexploited opportunity for ecology. *Ecology*, 71, pp. 1232-1237.
- Medina-Merchán, M. (2006). Briófitos y líquenes de los páramos de Moyas y Los Pozos de Aquitania, Boyacá – Colombia. Aquitania, Boyacá, Colombia. *Ciencia en Desarrollo*, 2(2), pp. 17-28.
- Mena-Vásconez, P. & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Quito, Ecuador. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 2006, pp. 91-109.
- Méndez, O. (1977). *Los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de San José, Costa Rica*. Tesis de licenciatura. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 60 p.
- Méndez, O. & Fournier, L. (1980). Los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de San José, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 28(1), pp. 31-39.
- Méndez-Estrada, V.H. & Monge-Nájera, J. (2011). El uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel mundial. San José, Costa Rica, Centro de Educación Ambiental, UNED. *Biocenosis*, 25(1-2), pp. 51-67.
- Monge, J., González, Ma.I., Rivas, M. & Méndez, V.H.. (2002). Twenty years of lichen cover change in a tropical habit (Costa Rica) and its relation with air pollution. *Rev. Biol. Trop.*, 50, pp. 309-319.
- Monge-Nájera, J., González, Ma.I., Rivas, M. & Méndez, V.H.. (2002). A new method to assess air pollution using lichens as bio-indicators. *Rev. Biol. Trop.*, 50, pp.321-325
- Monnet, F., Bordas, F., Deluchat, V., Chatenet, P., Botineau, M. & Baudu, M. (2005). Use of the aquatic lichen *Dermatocarpon luridum* as bioindicator of copper pollution. Accumulation and cellular distribution tests. *Environmental Pollution*, 138, pp. 456-462.
- Munzi, S., Ravera, S. & Caneva, G.. (2007). Epiphytic lichens as indicators of environmental quality in Rome. Great Britain, *Environmental Pollution*, 146, pp. 350-358.
- Muñoz, A.C., Fernández, W., Gutiérrez, J.A. & Zárate, E.. (2002). Variación estacional del viento en Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. *Top. Meteor. Oceanog.*, 9(1), pp. 1-13.
- Nali, C., Balducci, E., Frati, L., Paoli, L., Loppi, S. & Lorenzini, G. (2007). Integrated biomonitoring of air quality with plants and lichens: A case study on ambient ozone from central Italy. *Chemosphere*, 67, pp. 2169-2176.
- Neurohr, E., Monge-Nájera, J. & González, Ma.I. (2011). Air pollution in a tropical city: the relationship

between wind direction and lichen bio-indicators in San José, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 59(2), pp. 899-905.

Policnik, H., Simoncic, P. & Batic, F. (2008). Monitoring air quality with lichens: A comparison between mapping in forest sites and in open areas. *Environmental Pollution*, 151, pp. 395-400.

Pinzón, M. & Linares, E. (2006). Diversidad de líquenes y briófitos en la región suxerofítica de la Herrera, Mosquera (Cundinamarca-Colombia). *Caldasia*, 28(2), pp. 243-257.

Ramírez, A & Cano, A. (2005). Líquenes de Pueblo Libre, una localidad andina en la Cordillera Negra (Huaylas, Ancash, Perú). *Revista Peruana de Biología*, 12, pp. 383-396.

Rhoades, F. M. (1999). A review of lichen and bryophyte elemental content literature with reference to Pacific Northwest species. United States Department of Agriculture, Forest Service Mt. Baker-Snoqualmie National Forest. Informe. Bellingham, WA. 120 pp.

Rojas-Fernández, J. A., Balza-Quintero, A., Marcano, V., Rojas, P.A., Dávila-Vera, D., Peña-Contreras, Z., Mendoza-Briceño, R.V. & Palacios-Prü, E. (2008). Metabolitos secundarios de líquenes de la zona nival de la Sierra Nevada de Mérida-Venezuela y su papel en la absorción de la radiación ultravioleta. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 65(1), pp. 59-72.

Rubiano, L. & Chaparro, J.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 Biológica Colombiana*, 11, pp. 87-102.

Santoni, C.S. & Lijteroff, R. (2006). Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la provincia de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 22, pp. 49-58.

Sbarato, V., Sbarato, D., Basan, R. Manzo, P., Ortega, J.E, Campos, Ml. & Salort, Ma.R. (s.f.). Análisis y caracterización del material particulado atmosférico. Córdoba, Argentina. Maestría en Gestión para la Integración Regional y Centro de Información y Documentación Regional, Universidad Nacional de Córdoba. On-Line: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/unc/paper24.pdf>

Sheridan, T.E. (2007). Embattled ranchers, endangered species, and urban sprawl: the political ecology of the new american West. *Annual review of Anthropology*, 36, pp. 121-138.

Vásquez, M., Gracia, J., Vaswani, J., Santana, J., Santana, F. & González, J.E. (2006). Líquenes del género *Xanthoria* como indicadores biológicos en la bioacumulación de azufre en el sureste de Gran Canaria-España. Memorias. III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Agua, Biodiversidad e Ingeniería. Zaragoza, 25 al 27 de octubre, 2006. On-Line: http://www.ciccp.es/biblio_digital/Icitema_III/congreso/pdf/040309.pdf

Vergara D., Paredes, T. & Simbaña, W. (2005). Líquenes como bioindicadores de contaminación en el sitio de disposición final desechos sólidos, Isla Santa Cruz, Galápagos. Memorias. II Congreso Internacional de Bosque Seco. V Congreso Ecuatoriano de Botánica. III Congreso de Conservación de la Biodiversidad de los Andes y la Amazonía. Loja, Ecuador. 14 al 17 de noviembre, 2005. On-Line: http://www.rio-b.com/pdf/0509walter_Liquenes_junio05.pdf.

Weissman, L., Fraiberg, M., Shine, L., Garty, J. & Hochman, A.. (2006). Responses of antioxidant in the lichen *Ramalina lacera* may serve as an early-warning bioindicator system for the detection of air pollution stress. *FEMS, Microbiol. Ecol.*, 58, pp. 41-53.