

## Determinación del impacto de la contaminación en el medio ambiente en Guanajuato por medio de líquenes como bioindicadores

LÓPEZ-RAMÍREZ, Varinia†, ALVARADO-RAYA, Juan, MORALES-VARGAS, Adán Topiltzin y ÁLVAREZ-MEJÍA, César\*.

*Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Carretera Irapuato-Silao Km. 12.5, Irapuato, Gto., 36821 México.*

*División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Universidad de Guanajuato Campus Celaya-Salvatierra, Guanajuato, México.*

*Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, Blvd. Cuitzeo de los Naranjos 401, Abasolo Gto., 36976. México*

Recibido Abril 11, 2016; Junio 21, 2016

### Resumen

Los líquenes son sensibles a la contaminación atmosférica y pueden ser usados como bioindicadores. En este trabajo describimos la distribución de la población de líquenes en diferentes escenarios; en un entorno rural y en áreas naturales protegidas. Incluimos algunos parámetros de la calidad de agua como una medida del impacto ambiental en estos sitios. Nuestros resultados muestran diferencias entre la distribución de líquenes y las actividades realizadas en cada área. La distribución de líquenes y su diversidad fue diferente y encontramos que está ligada a la actividad humana o el impacto de la contaminación. También identificamos líquenes reportados anteriormente como bioindicadores, lo que representa la conservación de los sitios muestreados, y por lo tanto podrían ser utilizados como indicadores de perturbaciones en estas áreas.

**Líquenes, bioindicadores, contaminación diversidad**

### Abstract

Lichens are sensitive to atmospheric pollution, and could be used as an environmental bioindicators. In this study, we describe the distribution of lichen population into different scenarios, an agricultural area and in natural areas under protection. We included some water parameter as a measure of pollution impact in these sites. Our results show differences between lichen population distribution, and the human activities in each area. The lichen distribution and its diversity were different and we found that could be related to the human activity or pollution impact. Also we show some lichen that had been reported previously as a bioindicator and represent the conservation of the sites sampled and therefore, they could be use as indicators of perturbations by contamination in these areas.

**Lichens, bioindicators, pollution, diversity**

**Citación:** LÓPEZ-RAMÍREZ, Varinia, ALVARADO-RAYA, Juan, MORALES-VARGAS, Adán Topiltzin y ÁLVAREZ-MEJÍA, César. Determinación del impacto de la contaminación en el medio ambiente en Guanajuato por medio de líquenes como bioindicadores. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales 2016, 2-4: 6-11

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: cesar.alvarez@tecabasolo.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Los líquenes es la asociación de al menos tres microorganismos, un hongo, llamado micobionte, un alga, llamada fotobionte, y recientemente se describió la interacción de levaduras (Spribille et al., 2016). Estas relaciones simbióticas han promovido la generación de más de 20000 diferentes géneros, capaces de colonizar cualquier lugar en la Tierra. Por ello, los líquenes presentan un papel importante en la naturaleza, como biomineralizadores, un papel fotosintético y fijadores de nitrógeno, por mencionar a algunos (Willenbruch, Huneck, Leuschner, & Hauck, 2009) . También presentan una diversidad de compuestos químicos, producidos como intermediarios en su metabolismo secundario, con potencial biotecnológico aún por ser explorado, algunos con actividad antibiótica, estabilizadores alimenticios y como cosméticos (Stocker-Wörgötter, 2008). A pesar de su capacidad de adaptación, los líquenes presentan sensibilidad a la contaminación, especialmente a la atmosférica, ya que se ha establecido que algunos gases de efecto invernadero, como CO, NO<sub>x</sub> y SO, producen un efecto letal en el mantenimiento y sobrevivencia del fotobionte, provocando que los líquenes crezcan más lento o mueran, dejando zonas impactadas con contaminación ambiental libres de líquenes, por ello su ausencia puede ser usada como indicadores de contaminación y puede ser utilizada como parte del estudio de áreas con impacto ambiental (Seed, Wolseley, Gosling, Davies, & Power, 2013). En este trabajo, nos enfocamos en evaluar la presencia, distribución y diversidad de líquenes en diferentes áreas, considerando las actividades humanas que puedan estar provocando un desequilibrio en el ecosistema, y en áreas que puedan estar resguardadas, como marco referencial de la población natural de líquenes. Realizamos un análisis general de agua en las zonas de colecta, para determinar si es posible detectar algún tipo de desequilibrio ecológico con parámetro diferente al de los líquenes.

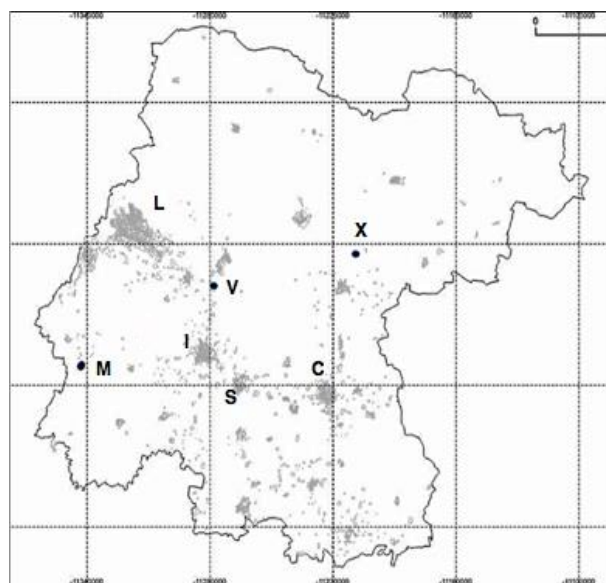
Encontramos que el área natural protegida (ANP) en Xichú presenta la mayor calidad en su ecosistema, y el ANP de las Musas, está en un proceso de desequilibrio ecológico. Proponemos que se debe evaluar la diversidad de líquenes como una medida del impacto ambiental en zonas urbanas, así como en zonas agrícolas y en áreas naturales protegidas, como una opción de diagnóstico temprano.

## Metodología

### Muestreo de líquenes

La colecta de líquenes se realizó en tres puntos del estado de Guanajuato, considerando sus actividades económicas o el estado de conservación de los mismos. En la Figura 1 se observa la localización de los puntos de muestreo. Las Musas (M) es un área natural protegida reciente, con categoría de uso sustentable, ubicada en el municipio de Manuel Doblado, presenta un bosque de galerías formado principalmente por ahuehuetes (*Taxodium moctezumae*), sauces y sabinos, cruzado principalmente por el Río Colorado (Zamudio Ruiz, 2012). La comunidad El Varal (V), ubicada en el municipio de Guanajuato, es un asentamiento cercano a un área natural protegida y en las inmediaciones de la Sierra de Santa Rosa, ubicada a una altura de 2700 msnm, rodeada por encinos, dentro sus actividades económico-productivas destaca la agrícola y de producción de carbón. Otro punto de nuestro muestreo fue Charco Azul en Xichú (X), el cual está localizado en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda de Guanajuato, representa uno de los lugares naturales mejor conservados, compuesto principalmente por pinos y encinos. La colecta e identificación de las especies líquénicas se realizó como se indica en Hale y col. (Hale, 1969).

Las muestras se seleccionaron considerando solamente aquellos líquenes que presentaban mejor desarrollo y únicamente se colectaron aproximadamente 2 cm<sup>2</sup> de cada líquen, con el propósito de no afectar el crecimiento ni la sobrevivencia del espécimen. Los líquenes colectados fueron apropiadamente etiquetados, indicando su geolocalización y guardados en bolsas de papel para su transporte al laboratorio y posteriores estudios.



**Figura 1** Localización de la colecta de líquenes, **M)** Las Musas; **J)** Joya de Calvillo; **V)** Varal y **X)** Xichú. En Gris se muestran las principales ciudades del Estado de Guanajuato **L)** León, **I)** Irapuato, **S)** Salamanca y **C)** Celaya.

### Análisis de agua

Con el propósito de conocer la conservación de los sitios de colecta, realizamos adicionalmente análisis fisicoquímico y microbiológico de cuerpos de agua y/o pozos. En el caso de Xichú y las Musas, se recolectó 1 litro de agua en 4 puntos diferentes, los cuales fueron transportados en hielera para la determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, solo en el Ejido del Varal se tomó muestra de agua de un solo punto, de la escurrintia del sitio.

A todas las muestras de agua se les determinó su valor de pH, la alcalinidad, dureza, sulfatos, nitrógeno, hierro por medio de los paquetes de detección HANNA (Kit Hanna HI 3817, HI 83214). Mientras que la determinación de cromo se realizó por medio de análisis espectrofotométrico utilizando difenilcarbazida (Zaffiro, Zimmerman, Wendelken, & Munch, 2011) considerando la NMX-AA-044-SCFI-2001. La cuenta total de mesófilos aerobios se determinó por medio de filtración de agua y el cultivo de colonias en agar McConkey, contabilizando las colonias rosas.

## Resultados

### Diversidad de Líquenes

Con el propósito de evaluar el estado de conservación de los lugares seleccionados, determinamos la presencia de líquenes, su número y diversidad. En la Tabla 1 se muestra un resumen comparativo de las colectas y líquenes identificados, así como el género con mayor predominio.

El lugar con mayor diversidad de líquenes fue Xichú, con 81 líquenes colectados y 53 de ellos identificados, de los cuales 25 de estos pertenecen al género *Lecanora* spp. El lugar con menos líquenes y menor diversidad fue el ANP Las Musas, con un total de 39 líquenes colectados, solamente 6 fueron identificados y el género predominante fue *Punctelia* sp con 10.

Sitio	Iden.	No Iden.	Total	Género	Total Géneros
Xichu	53	28	81	<i>Lecanora</i> sp.	25
El Varal	24	2	26	<i>Lecanora</i> sp.	13
Las Musas	33	6	39	<i>Punctelia</i> /sp.	10

**Tabla 1** Distribución y diversidad de líquenes colectados en este trabajo

## Análisis de Agua

Los resultados de los análisis de agua se muestran en la Tabla 2. El lugar con la mejor calidad del agua corresponde al ejido el Varal con los indicadores de alcalinidad, dureza, y sulfatos por debajo de la norma, no así para los microorganismos mesófilos, ya que presentó el mayor número de éste tipo de microorganismos. El sitio con mayor alteración de sus indicadores fisicoquímicos fue Las Musas, presentado valores elevados en dureza y alcalinidad.

Tabla 2. Resumen de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua colectada en los sitios de colecta.

Sitio	pH	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	SO <sub>4</sub> (mg/L)	Fe (ppm)	Cr (ppm)	Mo (UFC/100 ml)
Xichú	8.6	39.7 ± 5.86	55 ± 14.80	0.47 ± 0.12	<1	1.57	1.2
El Varal	8.6	5	7.2	1	<1	1.56	24.8
Las Musas	8.3	259.1 ± 11.71	226.5 ± 27.11	1.1 ± 0.35	<1	1.53	23.6

Mo. Mesófilos

**Tabla 2** Resumen de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua colectada en los sitios de colecta

## Discusión

Los líquenes son organismos capaces de habitar cualquier lugar de la Tierra (DePriest, 2003; Galloway, 1992; Service & Jovan, 2008) ésta gran capacidad de adaptación hace que ellos puedan realizar fotosíntesis en lugares en los que las plantas no pueden crecer, que contribuyan significativamente a la formación de productos fotosintéticos y que formen parte de la cadena trófica. Sin embargo, presentan una sensibilidad significativa a la presencia de contaminantes, afectando el desarrollo del fotobionte y la sobrevivencia del líquen, por ello, la presencia y diversidad de los mismos ha sido empleado como una medida del impacto ambiental de lugares contaminados (Davies, Bates, Bell, James, & Purvis, 2007; Shukla, Upreti, & Bajpai, 2014). En este trabajo evaluamos la presencia y diversidad de los líquenes en tres puntos del estado de Guanajuato, una de ellas, es una ANP de jurisdicción estatal (Las Musas) que presentó una menor diversidad de líquenes, estas observaciones han sido apoyadas con los análisis de agua, siendo dicho punto en el que se presentaba una menor calidad de agua.

Por otro lado, se detectaron algunos géneros de líquenes que fueron predominantes en las diferentes zonas, consideramos que esta diferencia puede deberse a estrategias de adaptación de dichas especies, por lo que su presencia puede ser indicativo de que hay un proceso de impacto ambiental en curso (Van Dobben, Wolterbeek, Wamelink, & Ter Braak, 2001).

Las diferencias en géneros pueden responder también a la adaptación a los diferentes hábitats (Herrera-Campos et al., 2014), por lo que, las diferencias en diversidad podrían ser debidas a las características climatológicas, propias de cada zona, sin embargo, estas no debieran afectar la cantidad de líquenes (Castell, 2012).

Por ello, Xichú representa uno de los sitios mejor conservados, con la mayor cantidad y diversidad de líquenes colectados, considerando que el género *Lecanora* spp. podría ser el mejor adaptado. En este sitio se observaron varios líquenes del tipo fruticuloso, como el género *Usnea* spp., que se ha reportado como sensible a contaminación atmosférica, este tipo de líquenes no fueron observados en Las Musas, y en el caso de El Varal, se observa en menor proporción. Por su parte, Las Musas presenta una disminución en la diversidad de géneros identificados, siendo el género *Punctelia* spp. y en menor proporción el género *Physcia* spp, los que destacan en la zona, esto relacionado a los parámetros fisicoquímicos del agua analizada en el lugar, consideramos que son indicadores de que se está presentando un deterioro ecológico del lugar, quizá debido a las actividades pecuarias y agrícolas que se realizan en las cercanías, contaminando el agua e impactando en la población de líquenes.

El Ejido del Varal, que presentó la mejor calidad de agua, también presenta una diversidad de líquenes, en menor frecuencia, esto quizá debido a la producción de carbón, ya que, durante la misma, se generan gases y el calor producido podría afectar el desarrollo y establecimiento de los líquenes. La elevada presencia de microorganismos mesófilos en este punto puede estar relacionado con la manera en la que es colectado el agua, en escurrintia, y que está al nivel del suelo, por lo que, su exposición a la materia orgánica es considerable.

Consideramos entonces que Xichú, presenta la población de líquenes más diversa y que podría ser usada como la línea comparativa de líquenes en el estado de Guanajuato. Este trabajo muestra el primer estudio comparativo de diversidad de líquenes en el estado de Guanajuato que está relacionado con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de cuerpos de agua y pozos.

### Conclusiones

En este trabajo encontramos una correlación del impacto ambiental y la diversidad de líquenes en estos sitios, por lo que los líquenes pueden ser utilizados como un indicador confiable de la conservación de un lugar. Los datos obtenidos de la calidad del agua también pueden ser usados para una mayor comprensión de la estabilidad y conservación de los sitios de estudio. Hemos definido algunos líquenes que se presenta en mayor abundancia en estos sitios y que pueden ser utilizados como indicadores de un proceso de desestabilización ecológica en progreso. Estos últimos muestran estrategias adaptativas para la tolerancia a los contaminantes, por lo que sus estudios en estos mecanismo pueden ser utilizados en una mejor comprensión de la naturaleza adaptativa a la contaminación y su probable uso en procesos de biorremediación de lugares impactados.

### Agradecimientos

Queremos agradecer a los miembros del Laboratorio de Diversidad e Interacción Microbiana (ITESI) y al Laboratorio de Bioquímica y Microbiología Ambiental (ITESA) por el apoyo durante las colectas de especies liquénicas. A Juan Alberto Villalobos Ramírez por las colectas y análisis de la zona de las “Musas” y al Biól. Efrén Hernández Navarro por su asesoramiento en los sitios de colecta.

### Fuentes de financiamiento

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo del Tecnológico Nacional de México, (TNM 173.14.2-PD) y al apoyo del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato, Concyteg (No. de Convenio: 14-IJ-DPP-Q-182-05).

### Contribución de los autores

Diseño Experimental VLR, análisis de los datos CAM, Escritura del artículo CAM, Revisión del artículo VLR, Colecta de líquenes ATMV, JDAR, Análisis de agua JDAR. Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final de este artículo.

### Referencias

- Castell, E. D. (2012). Líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en Montevideo-Uruguay/. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 28(4), 311–322.
- Davies, L., Bates, J. W., Bell, J. N. B., James, P. W., & Purvis, O. W. (2007). Diversity and sensitivity of epiphytes to oxides of nitrogen in London. *Environmental Pollution*, 146(2), 299–310.
- DePriest, P. T. (2003). *Lichen Biology. Annual Review of Microbiology*.

- Galloway, D. J. (1992). Biodiversity: a lichenological perspective. *Biodiversity and Conservation*, 1(4), 312–323.
- Hale, M. E. (1969). How To Know the Lichens. *The Pictured Key Nature Series*.
- Herrera-Campos, M. D. L. Á., Lücking, R., Pérez-pérez, R. E., Miranda-, R., Sánchez, N., Barcenás-peña, A., ... Nash, T. H. (2014). Biodiversidad de líquenes en México Biodiversity of lichens in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 82–99.
- Jovan, S. (2008). Lichen Bioindication of Biodiversity , Air Quality , and Climate : Baseline Results From Monitoring in Washington , Oregon , and California. *Forestry Sciences*, (March), 115.
- NMX-AA-044-SCFI-2001, Análisis de aguas - determinación de cromo hexavalente en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
- Seed, L., Wolseley, P., Gosling, L., Davies, L., & Power, S. A. (2013). Modelling relationships between lichen bioindicators, air quality and climate on a national scale: results from the UK OPAL air survey. *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)*, 182, 437–47.
- Shukla, V., Upreti, D. K., & Bajpai, R. (2014). Lichens to Biomonitor the Environment, 185.
- Spribile, T., Tuovinen, V., Resl, P., Vanderpool, D., Wolinski, H., Aime, M. C., ... McCutcheon, J. P. (2016). Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens. *Science*, 353(6298), 488–492.
- Stocker-Wörgötter, E. (2008). Metabolic diversity of lichen-forming ascomycetous fungi: culturing, polyketide and shikimate metabolite production, and PKS genes. *Natural Product Reports*, 25(1), 188–200.
- Van Dobben, H. F., Wolterbeek, H. T., Wamelink, G. W. W., & Ter Braak, C. J. F. (2001). Relationship between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollutants. *Environmental Pollution*, 112(2), 163–169.
- Willenbruch, K., Huneck, S., Leuschner, C., & Hauck, M. (2009). Dissociation and metal-binding characteristics of yellow lichen substances suggest a relationship with site preferences of lichens, 13–22. <http://doi.org/10.1093/aob/mcn202>
- Zaffiro, a, Zimmerman, M., Wendelken, G., & Munch, D. (2011). Method 218.7: Determination of Hexavalent Chromium in Drinking Water, (November), 1–30.
- Zamudio Ruiz, S. (2012). Diversidad de ecosistemas del estado de Guanajuato. In *La biodiversidad en Guanajuato* (1a., pp. 21–55). México, D. F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.