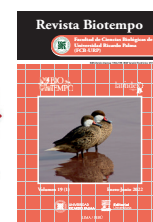


Biotempo (Lima)

latindex  
catálogo



<https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Biotempo>

REVIEW ARTICLE / ARTÍCULO DE REVISIÓN

## LICHENS AS A MEANS OF ENVIRONMENTAL ASSESSMENT – APPLICATIONS OF THE INDEX OF ATMOSPHERIC PURITY (IAP)

## LÍQUENES COMO MEDIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL – APLICACIONES DEL ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFERICA (IPA)

Diego Valdivia<sup>1\*</sup> & José Iannacone<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Biológicas. Escuela de Posgrado (EPG). Universidad Ricardo Palma (URP). Lima, Perú.

<sup>3</sup> Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA). Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Escuela Universitaria de Posgrado (EUPG). Grupo de Investigación en Sostenibilidad Ambiental (GISA). Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.

joseiannacone@gmail.com

\*Corresponding author: daaron.valdiviah@gmail.com

Diego Valdivia: <https://orcid.org/0000-0001-9673-2035>

José Iannacone: <https://orcid.org/0000-0003-3699-4732>

### ABSTRACT

The results obtained in environmental impact studies often do not present a quality and reliability database. The high costs of installing instrumental monitoring equipment and the geographical extent of the study areas have not allowed a correct environmental assessment to be carried out. Thus, the application of lichens as bioindicators of atmospheric pollutants has emerged as a complementary option. The application of the Atmospheric Purity Index (IPA) protocol is the most widely used; however, there are currently more than twenty types of IPA which have been modified from the original formula. In this context, the present study aims to analyze the theoretical aspects related to the application of the IPA methodology in different contexts, to recommend the most widely used formula, easy application and standardization. As a result, it was defined that the protocol used by Crespo is the one with the highest frequency of application among the studies related to the use of lichens as bioindicators.

**Keywords:** bioindicators – atmospheric pollutants – environmental impact studies – index of atmospheric purity

### ABSTRACT

Los resultados obtenidos en los estudios de impacto ambiental muchas veces no presentan una base de datos de calidad y confiabilidad. Los altos costos de instalación de equipos instrumentales de monitoreo y la amplitud geográfica de las zonas de estudio no han permitido realizar una correcta evaluación ambiental. Es así, que la aplicación de líquenes como

bioindicadores de contaminantes atmosféricos ha surgido como una opción complementaria. La aplicación del protocolo del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) es la de mayor uso; sin embargo, actualmente existen más de veinte tipos de IPA las cuales se han modificado de la fórmula original. En este contexto el presente estudio tiene como objetivo analizar los aspectos teóricos relacionados a la aplicación de la metodología IPA en diferentes contextos, para recomendar la fórmula de mayor utilización, fácil aplicación y estandarización. Como resultado se definió que el protocolo utilizado por Crespo es la de mayor frecuencia de aplicación entre los estudios relacionados a uso de líquenes como bioindicadores.

**Palabras clave:** bioindicadores – contaminantes atmosféricos – estudios de impacto ambiental – índice de pureza atmosférica

## INTRODUCCIÓN

Los líquenes son organismos aparentemente insignificantes; sin embargo, juegan un rol importante en nuestro ambiente, tanto en la conformación del medio físico como del biológico (Gupta *et al.*, 2016; Ellis *et al.*, 2022). Los líquenes son importantes como colonizadores de suelos y rocas expuestas, jugando un papel significativo disgregándolas rocas física y químicamente, contribuyendo a la formación del suelo (Alquiza *et al.*, 2015). Del mismo modo, son de gran importancia como sensores naturales de nuestro del entorno cambiante (Correa-Ochoa *et al.*, 2020, 2021).

La sensibilidad de diferentes especies a una gama muy amplia de condiciones ambientales; tanto naturales como no naturales, contribuyendo de esta manera a mejorar la calidad de la atmósfera para una variedad mucho más amplia de formas de vida (Hawksworth & Coppins, 2018). Asimismo, es importante mencionar el papel de los líquenes en el secuestro del dióxido carbono actuando como sumideros, para utilizarlo en el proceso fotosintético, favoreciendo de este modo el retraso del calentamiento global; además, poseen la capacidad de capturar la niebla y el rocío esencial para la conservación de humedad en lugares donde el agua es escasa (Gonzales-Vargas *et al.*, 2016).

Otros estudios han relacionado su relevancia en el crecimiento de la vegetación arbustiva y arbórea a través de la fijación del nitrógeno y como fuente de energía alimentando a muchos animales invertebrados pequeños y vertebrados grandes (Oña-Rocha *et al.*, 2017). Es por esta razón que los líquenes también son utilizados cada vez más para la evaluación de hábitats que se encuentran bajo amenazas, en evaluaciones de estudios de impacto ambiental y en temas de perturbaciones ambientales usados como bioindicadores, bioacumuladores, biomonitores o biomarcadores (Goodenough & Roth, 2021).

La bioindicación utiliza organismos para obtener información de la calidad del medio ambiente, siendo estos organismos usados los llamados bioindicadores, los cuales detectan e identifican los efectos de la contaminación siendo una alternativa directa para medir la perturbación en el medio ambiente (Rodríguez *et al.*, 1981; Martínez, 2016). En este contexto el uso de líquenes como bioindicadores en presencia de contaminantes no es un tema reciente, actualmente existe mucha literatura al respecto usando diversas metodologías para su aplicación (Purvis, 2000). Dentro de estas se encuentra el Índice de Pureza Atmosférica (IPA), el cual fue propuesta por De Sloover and LeBlanc (1968) para cuantificar las condiciones del medio ambiente usando a los líquenes como bioindicadores (Kricke & Loppi, 2002). El IPA tiene presente el número de especies en cada lugar de monitoreo y la sensibilidad de estas frente a los factores de estrés ambientales, en especial enfocada a la contaminación del aire (Belguidoum *et al.*, 2022). Aunque es un método muy aplicado el IPA ha pasado por un proceso de modificaciones desde la propuesta original planteada por De Sloover and LeBlanc (1968). Existen más de 20 formulas diferentes para el cálculo del IPA; sin embargo, la esencia de esta fórmula es sostenida hasta la actualidad, la aplicación del IPA está estandarizada para ser aplicadas en arboles llamados también forófitos. A pesar de sus muchas ventajas este método es muy restrictivo, siendo una de las exigencias que el único factor ecológico variable entre las estaciones tomadas sea la contaminación atmosférica, siendo estas estaciones ecológicamente homogéneas.

Los cambios en composición de las comunidades de líquenes son correlacionales con las variaciones del grado contaminación atmosférica, frente a esto se han desarrollados índices cuantitativos como el IPA. Este método hace posible determinar la calidad del aire en una determinada área. El IPA, brinda una evaluación de nivel de contaminación atmosférica, basados en el número (n),

frecuencia (F) y tolerancia de los líquenes en un área de estudio. Como se mencionó anteriormente, existen diferentes adaptaciones de la fórmula original de acuerdo al contexto de estudio, un claro ejemplo es el detallado a continuación donde en Moore (1974) plantea una variación en la aplicación del IPA, adaptándolo a situaciones donde no se produzca homogeneidad en el sustrato, desestimando cualquier información sesgada; sin embargo, la información bibliográfica obtenida al respecto de esta adaptación es muy limitada. Así es que, los valores

producto de la aplicación del IPA, pueden ser de mucha utilidad para poder establecer una gradiente de contaminación atmosférica en una zona determinada a través de aplicación de grandes redes de monitoreo (Ochoa-Jiménez *et al.*, 2015).

A continuación, se adjunta una lista de diversos estudios donde se ha aplicado el IPA, y en alguno de ellos se han utilizado modificaciones a la versión original (Tabla 1).

**Tabla 1.** Relación de trabajos relevantes en cálculo de IPA (Índice de Pureza Atmosférica).

Nº	Nombre De La Investigación	Ubicación	Año	Objetivo	Autores
1-	A modification of the "Index of Atmospheric Purity" method for substrate differences.	Irlanda	1974	Aplicar el IPA en sustratos rocosos. Normalmente, esta metodología se usa en arboles homogéneos, sin embargo, esta es una adaptación.	Moore
2-	Valoración de la contaminación atmosférica del área urbana de Madrid mediante bioindicadores (líquenes epífitos).	España	1977	Determinar la distribución de líquenes epífitos a través de la aplicación del IPA para conocer la calidad de la zona urbana de Madrid	Crespo <i>et al.</i>
3-	Establecimiento de una red de valoración de pureza atmosférica en la provincia de La Coruña (España) mediante bioindicadores líquénicos. (Central Térmica).	España	1981	Estudiar la comunidad de líquenes en los alrededores de una central térmica en la Coruña (España) para conocer los niveles de calidad del aire.	Crespo <i>et al.</i>
4-	Valoración de la contaminación atmosférica por SO <sub>2</sub> en la zona de Ferrol-Fene (La Coruña) mediante líquenes epífitos.	España	1991	Analizar en el área de Ferrol-Fene utilizando líquenes epífitos como indicadores biológicos de contaminación atmosférica. Se cartografiaron y delimitaron zonas de isocontaminación	Carballal & García-Molares
5-	Delimitación de áreas de isocontaminación atmosférica en el campus de la Universidad Nacional de Colombia mediante el análisis de bioindicadores (líquenes epífitos).	Colombia	2006	Determinar los niveles de contaminación en la Universidad Nacional de Colombia.	Olaya & Valencia
6-	Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina.	Argentina	2009	Determinar gradualidad en los niveles de contaminación a través de comparación de zonas de estudio.	Lijteroff <i>et al.</i>
7-	Corticolous lichens as environmental indicators in urban areas in southern Brazil.	Brazil	2011	Evaluar las comunidades de líquenes en zonas urbanas ubicadas en Brazil y Porto alegre a través de comparación de zonas.	Käffer <i>et al.</i>

Continúa Tabla 1

Continúa Tabla 1

8-	Uso de organismos vegetales no vasculares como indicadores de contaminación atmosférica urbana (Tunja, Boyacá, Colombia).	Colombia	2014	Identificar las zonas con mayor influencia de contaminantes del aire	Simijaca-Salcedo <i>et al.</i>
9-	Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en el pasivo ambiental minero Santo Toribio, Ancash, Perú.	Perú	2018	Caracterizar los niveles de contaminación en una zona de pasivo ambiental minero y alrededores.	Valdivia & Ramírez
10-	Evaluation of the Index of Atmospheric Purity in an American tropical valley through the sampling of corticolous lichens in different phorophyte species.	Colombia	2020	Evaluar la funcionalidad del IPA en áreas con diferencias en la calidad del aire. Para ello, se mapearon y recolectaron los líquenes.	Correa-Ochoa <i>et al.</i>

Bajo este contexto la presente investigación tiene como objetivo evaluar los aspectos teóricos relacionados a la aplicación de la metodología IPA en líquenes en diferentes contextos, y de esta manera recomendar la fórmula de mayor utilización, fácil aplicación y de mejor estandarización.

## DESARROLLO

### Protocolo IPA

Dentro de los materiales utilizados de mayor uso para la aplicación de la metodología IPA se consideran el cincel, martillo y navaja para muestreo de líquenes. Asimismo, se utiliza un instrumento para medición de frecuencia y cobertura de líquenes, el cual puede ser una grilla de metal de dimensiones 20 x50 cm. Para la identificación de especies de líquenes se considera una lupa plegable de campo, así como reactivos como reactivos KOH (5%), C (hipoclorito de Calcio, KC (Potasio+ Clorox) y P (Parafenilenediamina) con el fin de facilitar la

determinación de especies. Otro instrumento a considerar es el clinómetro para verificar la inclinación de los árboles y tener estaciones de muestreo estandarizadas.

### Aplicación del Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

A continuación, se explica la aplicación de la fórmula IPA más utilizada en los estudios de bioindicación con líquenes, originalmente propuesta por LeBlanc & De Sloover (1970) y modificada posteriormente por Crespo *et al.* (1981):

- a) Todos los inventarios se levantaron sobre arboles de la misma especie.
- b) Se realizó en cada estación al menos cinco inventarios en un árbol diferente.
- c) Los arboles posee aproximadamente el mismo diámetro.
- d) La altura de muestreo sobre cada tronco está comprendida entre 120 cm y 160 cm.
- e) Las estaciones escogidas tienen que ser ecológicamente homogéneas.

$$*IPA = \sum_n^1 \frac{(Qxf)}{10} \text{ - (Ecuación 1- Índice de pureza atmosférica)}$$

n = nº de especies presentes en la estación; Q = cortejo medio específico de cada especie en el área estudiada (se calcula haciendo la media del número de especies que

acompañan a la que estamos calculando en todas las estaciones. Este valor será mayor cuando la especie se encuentra en zonas menos contaminadas.

$$*F = (P + Am) / 2 \text{ - (Ecuación 2 - Frecuencia de especies)}$$

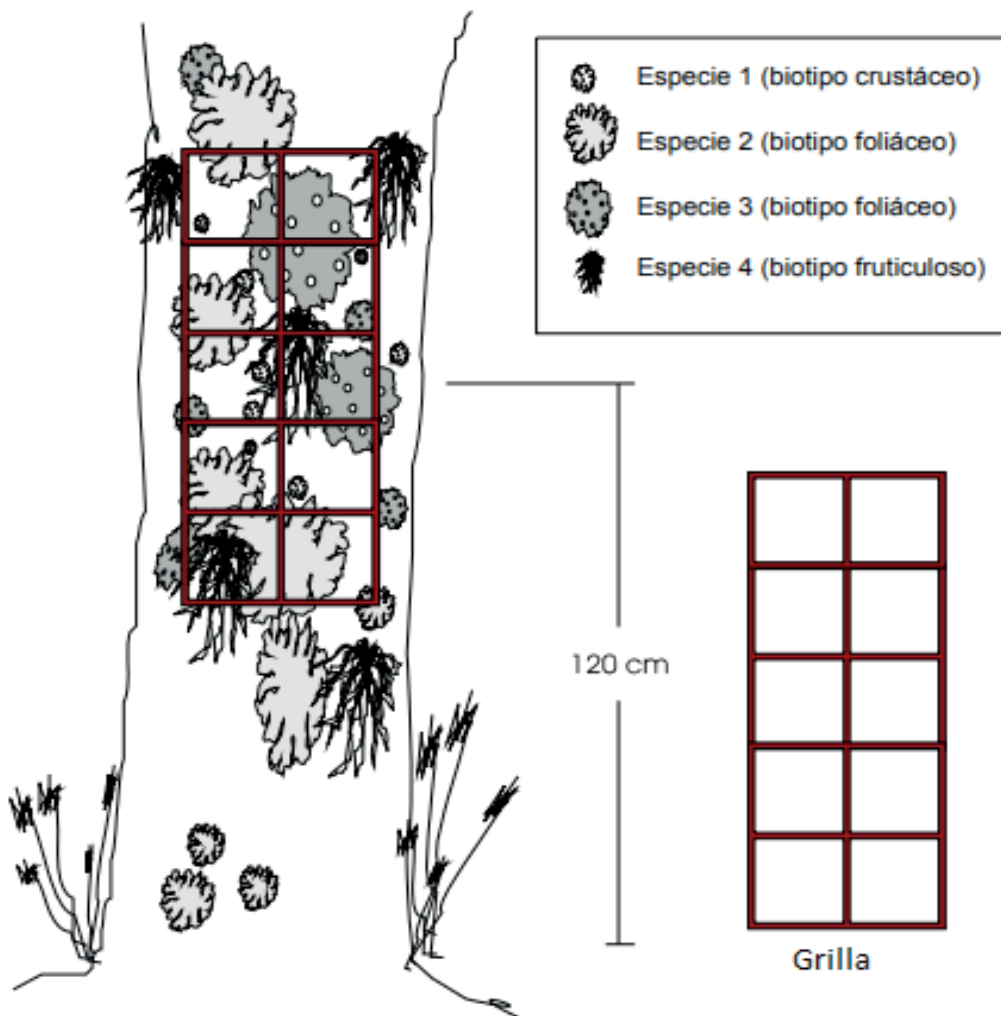
P= presencia de la especie analizada en cada estación; Am= media de la abundancia de cada especie en la estación, en

clases de 1 a 5 (es el cociente entre el recubrimiento total en la estación y el número de estaciones muestreadas).

$$*Am = Rt / \text{número de forófitos muestreados} \text{ - (Ecuación 3 - Recubrimiento medio)}$$

- Recubrimiento total (Rt) de una especie en una estación determinada es la suma del recubrimiento de la especie en cada una de las rocas muestreadas. El recubrimiento de cada especie en la zona inventariada es un valor muy

subjetivo, por lo general se utiliza herramientas como una grilla para poder conocer el porcentaje de recubrimiento como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Grilla para cálculo de cobertura y frecuencia. Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas (UNECE/ONU, 2008).

Obtenidos los resultados del IPA, estos pueden ser clasificados según el rango de clasificación establecido por LeBlanc & De Sloover (1970) representando de esta manera los niveles de contaminación como se detalla en la Tabla 2. Sin embargo, se tiene que tener en cuenta que existen muchas modificaciones o adaptaciones de acuerdo a los datos obtenidos. De esta manera Käffer *et al.* (2011) y Käffer & Martins (2014) utilizaron el factor de corrección tomando en cuenta el biotipo

del líquen, siendo este crustoso, folioso o fruticuloso, asignándole un peso a cada uno y relacionándolo con los niveles de contaminación; sin embargo, debido a que esta metodología requiere una alta variabilidad de cada biotipo del líquen, la cual era escasa en el presente estudio no se tomó en consideración; es así que la propuesta de Crespo *et al.* (1981) representaron el protocolo de mayor uso en los diferentes estudios de investigación.

**Tabla 2.** Clasificación del Índice de Pureza Atmosférica (IPA).

Zonas	IPA	Descripción
Zona I	1 al 5,5	Ausencia de líquenes – áreas de mayor contaminación
Zona II	5,6 al 15,5	Pobre presencia de líquenes-todavía hay presencia de áreas contaminadas
Zona III	15,6 a 35,5	Llamada zona de transición –donde la vegetación epífita no es exuberante, pero está bien representada
Zona IV	35,6 a 75,5	Zona donde el aire está limpio y favorable para el crecimiento de líquenes
Zona V	75,6 a más	Zona exuberante y tiene mejor desarrollo para los líquenes

Fuente: Adaptado de LeBlanc & De Sloover (1970).

### Modificaciones del IPA

De la revisión realizada se ha determinado que existen más de veinte tipos de variaciones de IPA. Asimismo, se revela que las principales modificaciones encontradas en estas metodologías estarían relacionada a variables como el tipo de sustrato, la tipología de líquen y la herramienta usada para el cálculo de frecuencia y cobertura. El 80% de los estudios revisados revelan que la metodología de IPA de mayor utilización es la propuesta de Crespo *et al.* (1981) originalmente realizada por De Sloover & LeBlanc (1970). La facilidad en la aplicación de la fórmula facilita la comparabilidad entre estudios.

Del total de investigaciones revisados se encontró que las principales variables para elaboración del IPA están relacionadas a la cobertura y frecuencia de comunidades de líquenes tal y como describen Oishi & Hiura (2017), Correa-Ochoa *et al.* (2020) y Mikhaylov (2020) quienes basan los resultados en ambas variables. Por otro lado, estudios realizados por Käffer *et al.* (2011) y Käffer & Martins (2014) detallan modificaciones en la fórmula original a través del uso de la variable tipología de líquenes con la finalidad de otorgar mayor certeza en los datos

obtenidos. Finalmente, como se indican en variabilidad de estudios no existe una fórmula determinada para un sustrato rocoso sin embargo se realizan adaptaciones a la fórmula original como los estudios realizados por Valdivia & Ramírez (2018) donde aplican IPA en sustratos rocosos, tomando diferentes variables para reducir el error al tomar datos en sustratos no homogéneos.

### CONCLUSIÓN

Se concluye que existe una alta efectividad en utilización de líquenes como bioindicadores de contaminantes atmosféricos, demostrándose en las diversas investigaciones realizadas. Asimismo, entre las metodologías utilizadas para el análisis de las variaciones en las comunidades de líquenes el IPA es la de mayor frecuencia de aplicación. Existe modificaciones con respecto a la metodología inicial debido a que muchas zonas de estudios no poseen las condiciones citadas inicialmente por De Sloover & LeBlanc; sin embargo, se han tomado variables adicionales con la finalidad de reducir el error de los datos obtenidos.

## AGRADECIMIENTO

El autor agradece a los revisores del presente artículo por sus aportes y observaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alquiza, M.J.; Gómez, P.M.; Miranda-Avilés, R.; Reyes-Zamudio, V.; Salazar-Hernández, M.C. & Ordaz-Zubia, V.Y. 2015. El rol de las comunidades de líquenes en el deterioro superficial de su substrato rocoso: estudio de la interfase liquen-roca en dos monumentos históricos de la ciudad de Guanajuato, México. *Acta universitaria*, 25: 35-47.
- Belguidoum, A.; Haichour, R.; Lograda, T. & Ramdani, M. 2022. Biomonitoring of air pollution by lichen diversity in the urban area of Setif, Algeria. *Biodiversitas*, 23: 970-981.
- Carballal, R. & García-Molares, A. 1991. Valoración de la contaminación atmosférica por SO<sub>2</sub> en la zona de Ferrol-Fene (La Coruña) mediante líquenes epífitos. *Acta Botánica Malacitana*, 16: 197-206.
- Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE/ONU). 2008.. *Inventario de Líquenes Epífitos*. Convenio marco de contaminación atmosférica transfronteriza. UNECE/ONU.
- Correa-Ochoa, L.; Vélez-Monsalve, C.; Saldarriaga-Molina, J.C. & Jaramillo-Ciro, M.M. 2020. Evaluation of the Index of Atmospheric Purity in an American tropical valley through the sampling of corticolous lichens in different phorophyte species. *Ecological Indicators*, 115: 106355.
- Correa-Ochoa, M.A.; Vélez-Monsalve, L.C. & Saldarriaga-Molina, J.C. 2021. Spatial distribution of lichen communities and air pollution mapping in a tropical city: Medellín, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 69: 1107-1123.
- Crespo, A.; Amo, G.; Argüello, A.; Blanco, O.; Divakar, P.; Ferencova, Z. & del Prado, R. 1981. *Biomonitorización de la biodiversidad del parque del oeste utilizando líquenes como bioindicadores del posible efecto de eutrofización con el uso de agua reciclada*. [https://webs.ucm.es/info/systemoll/Trabajos\\_liquenes/Contaminacion\\_Parque\\_Oeste/Biomonitorizacion\\_Parque\\_Oeste.htm](https://webs.ucm.es/info/systemoll/Trabajos_liquenes/Contaminacion_Parque_Oeste/Biomonitorizacion_Parque_Oeste.htm)
- Crespo, A.; Manrique, E.; Barreno, E. & Serina, E. 1977. Valoración de la contaminación atmosférica del área urbana de Madrid mediante bioindicadores (líquenes epífitos). *Anales del Instituto Botánico A. J. Cavanilles*, 34: 71-94.
- De Sloover, J. & LeBlanc, F. 1968. *Mapping of atmospheric pollution on the basis of lichen sensitivity*. In: *Proceedings of the Symposium on recent advances in tropical ecology* (Misra, R. & Gopal, B. Eds.). (pp. 42-56). Varanasi.
- Ellis, C.J.; Steadman, C.E.; Vieno, M.; Chatterjee, S.; Jones, M.R.; Negi, S.; Pandey, B.P.; Rai, H.; Tshering, D.; Weerakoon, G.; Wolseley, P.; Reay, D.; Sharma, S. & Sutton, M. 2022. Estimating nitrogen risk to Himalayan forests using thresholds for lichen bioindicators. *Biological Conservation*, 265: 109401.
- Goodenough, U. & Roth, R. 2021. *Lichen 2. Constituents*, *Algal Research*, 58: 102356.
- Gonzales-Vargas, N.; Luján-Pérez, M.; Navarro-Sánchez, G. & Flores-Mercado, R. 2016. Aplicabilidad de líquenes bioindicadores como herramienta de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cochabamba. *Acta Nova*, 7: 455-482.
- Gupta, S.; Khare, R.; Bajpai, O.; Rai, H.; Upreti, D.K.; Gupta, R. K. & Sharma, P.K. 2016. Lichen as bioindicator for monitoring environmental Status in Western Himalaya, India. *International Journal of Environment*, 5: 1-15.
- Hawksworth, D. & Coppins, B. 2018. A tribute to Mark Seaward, environmental lichenologist and recorder par excellence, at eighty. *The Lichenologist*, 50: 599-602.
- Käffer, M.I. & Martins, S.M. 2014. Evaluation of the environmental quality of a protected riparian forest in Southern Brazil. *Bosque (Valdivia)*, 35: 325-336.
- Käffer, M.I.; Martins, S.M.; Alves, C.; Camejo-Pereira, V.; Fachel, J. & Ferrão-Vargas, V.M. 2011. Corticolous lichens as environmental indicators in urban areas in southern Brazil. *Ecological Indicators*, 11: 1319-1332.
- Kricke, R. & Loppi, S. 2002. *Bioindication: the I.A.P. approach*. In: *Monitoring with Lichens Monitoring*

- Lichens* (P. L. Nimis, C. Scheidegger and P. A. Wolseley, (eds.)). (pp. 21–37). Springer Nature.
- LeBlanc, F. & De Sloover, J. 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal Botany*, 48: 1485–1496.
- Lijteroff, R.; Lima, L. & Prieri, B. 2009. Uso de Líquenes como Bioindicadores de Contaminación Atmosférica en la Ciudad de San Luis, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25: 111 - 120.
- Martínez, I. 2016. *Líquenes y su conservación*. Universidad Autónoma de Madrid.
- Mikhaylov, A. 2020. Lichens as indicators of atmospheric pollution in urban ecosystems. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 67: 60-68.
- Moore, C.C. 1974. A Modification of the “Index of Atmospheric Purity” Method for Substrate Differences. *The Lichenologist*, 6: 156–157.
- Ochoa-Jiménez, D.A.; Cueva-Agila, A.; Prieto, J.; Aragón, G. & Benítez, A. 2015. Cambios en la composición de líquenes epífitos relacionados con la calidad del aire en la ciudad de Loja (Ecuador). *Caldasia*, 37: 333-343.
- Oishi, Y. & Hiura, T. 2017. Bryophytes as bioindicators of the atmospheric environment in urban-forest landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 167: 348-355.
- Olaya, L.J.R. & Valencia, M.C. 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: 82-102.
- Oña-Rocha, T.; Bravo-Paspuel, A.; Velarde-Cruz, E. & Ortega-Andrade, S. 2017. *Líquenes de Papallacta*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra – Ecuador.
- Purvis, O.W.; Williamson, B.J.; Bartok, K. & Zoltani, N. 2000. Bioaccumulation of lead by the lichen *Acarospora smaragdula* from smelter emissions. *New Phytologist*, 147: 591-599.
- Rodríguez, E. B.; Sancho, L.G.; Crespo, A. & Bueno, A.G. 1981. Establecimiento de una red de valoración de pureza atmosférica en la provincia de La Coruña (España) mediante bioindicadores líquénicos. *Lazaroa*, 3: 289– 313.
- Simijaca-Salcedo, D.F.; Vargas-Rojas, D.L. & Morales-Puentes, M.E. 2014. Uso de organismos vegetales no vasculares como indicadores de contaminación atmosférica urbana (Tunja, Boyacá, Colombia). *Acta biológica colombiana*, 19: 221-232.
- Valdivia, D. & Ramírez, Á. 2018. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en el pasivo ambiental minero Santo Toribio, Ancash, Perú. *The Biologist (Lima)*, 16: 77-95.

Received January 27, 2022.

Accepted March 7, 2022.