



## APPLICATION OF LICHENS IN MINING IN HIGH ANDEAN AREAS OF PERU

## APLICACIÓN DE LOS LÍQUENES EN MINERÍA EN ZONAS ALTOANDINAS DEL PERÚ

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. Grupo de Investigación "One Health". Universidad Ricardo Palma (URP). Lima, Perú. [joseiannacone@gmail.com](mailto:joseiannacone@gmail.com)

<sup>3</sup> Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA). Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.

\* Corresponding author: [daaron.valdiviah@gmail.com](mailto:daaron.valdiviah@gmail.com)

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

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

### ABSTRACT

The presence of mining in Peru is an essential factor in economic development. In this context, this document aims to apply lichens in mining in high Andean areas of Peru and establish a relationship between mining development and the application of lichens as bioindicators of s pollution. The studies revealed the effectiveness of lichens as bioaccumulator of metals such as lead, zinc, cadmium, nickel, copper, mercury, and chromium. Likewise, the existence of methodologies for heavy metal analysis was verified, and the environmental scanning electron microscope (ESEM), was the most useful in the studies reviewed.

**Keywords:** bioindicator – heavy metals – lichens – mining – pollution

### RESUMEN

La presencia de la minería en el Perú es un factor importante en el desarrollo económico. En este contexto este documento tiene como objetivo aplicar los

Este artículo es publicado por la revista Paideia XXI de la Escuela de posgrado (EPG), Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.

líquenes en minería en zonas altoandinas del Perú y establecer una relación entre el desarrollo minero y la aplicación de líquenes como bioindicadores de contaminación. Los estudios revelaron la efectividad de los líquenes como bioacumuladores de metales como plomo, zinc, cadmio, níquel, cobre, mercurio y cromo. Asimismo, se comprobó la existencia de metodologías para el análisis de metales pesados siendo el microscopio electrónico de barrido ambiental (MEBA), el de mayor utilidad en los estudios revisados.

**Palabras clave:** bioindicadores – contaminación – líquenes – metales pesados – minería

## INTRODUCCIÓN

América Latina indudablemente se ha convertido en el destino más importante de la inversión minera en el mundo provocando que estos países centren en esta actividad gran parte de su economía (Valdivia & Ramírez, 2018); sin embargo, se sabe que la minería es una actividad que se desarrolla desde siglos atrás y a pesar de ser un potencial económico para muchos países latinoamericanos, la explotación de metales diversos genera indudablemente cambios y en ocasiones estos son irreversibles en el medio ambiente, así como residuos que sin un correcto manejo pueden ser perjudiciales para el medio donde se desarrolla esta actividad (Muñoz-Silva *et al.*, 2019).

El Perú no es ajeno a esto, y se ha venido desarrollando los procesos mineros desde hace siglos atrás, pero desde hace unos años ha surgido

una minería moderna y responsable, la cual contempla planes de cierre y tecnologías avanzadas que permiten mantener controlados los impactos al ambiente; sin embargo, antiguamente no era preocupación de las empresas mineras hacer un adecuado cierre y remediación de la zona donde se desarrolla la actividad minera, por lo que en el Perú se puede encontrar un número considerable de instalaciones abandonadas, residuos, áreas contaminadas entre otros pasivos ambientales, siendo estos expuestos a la superficie y al no contar con ningún tipo de control ambiental ocasionan daños al ambiente y a la salud de las personas (Alquiza *et al.*, 2017).

Es por eso que las empresas mineras vienen actualizando y mejorando constantemente su planes de manejo ambiental para permitir prevenir y mitigar los posible impactos ambientales que pudieran ser gene-

radas con sus actividades (Valdivia & Ramírez, 2018), mientras por otro lado el Ministerio de Energía y Minas (MEM) en el 2014 reveló que se ha logrado ubicar hasta el momento 7000 pasivos ambientales provenientes de actividades mineras (siendo entre los más comunes los depósitos de relaves, botaderos de desmonte, pilas de lixiviación y labores subterráneas) y así determinar a los responsables para que asuman su remediación o de lo contrario encargarse directamente de la solución del problema. Estas iniciativas tanto de las empresas mineras como del ministerio de energía y minas logran establecer el concepto de una minería responsable.

La utilización de líquenes para realizar una evaluación de impacto ambiental es un tema que año tras año va ganando más adeptos, debido a las características que estos poseen (Valdivia & Ramírez, 2018; Anderson *et al.*, 2022). Actualmente, existe mucha literatura al respecto, que usan los líquenes para establecer comparaciones entre niveles de contaminación en áreas geográficas o en un determinado tiempo (Ramírez-Morán *et al.*, 2016; Koval, 2022).

La aplicación de los líquenes como bioindicadores recae en características que hace exitosa su aplicación, como lo plantean Crespo *et al.* (2016):

1. Son ubicuos y actualmente se encuentran en aumento en muchos centros urbanos, sobre todo en países desarrollados, gracias a la disminución en la concentración de dióxido de azufre en la atmósfera de las ciudades.

2. No poseen una cutícula protectora y absorben nutrientes y contaminantes a través de gran parte de su superficie.
3. Su naturaleza simbiótica, ya que, si cualquiera de los simbiotes se ve afectado por algo, ambos organismos mueren.
4. Son relativamente longevos, permaneciendo expuestos al efecto nocivo por largos periodos, por lo que proporcionan una imagen de estados crónicos y no de variaciones puntuales del medio ambiente.
5. Son organismos perennes que pueden ser muestreados todo el año.

Estas características demuestran la importancia y sensibilidad que poseen los líquenes frente a los cambios que se puedan producir y así son considerados en la detección de perturbaciones ambientales (Anderson *et al.*, 2022). El presente estudio tiene como objetivo realizar un análisis bibliográfico de los casos de aplicación de líquenes en zonas mineras y conocer la efectividad de los líquenes como bioindicadores de contaminación.

## DESARROLLO

### Líquenes y estudios de impacto ambiental

El Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos, Decreto Supremo N° 039-2013-EM (El Peruano, 2014) define los “Estudios de Impacto Ambiental” (EIA) como los estudios sobre los ele-

mentos físicos naturales, biológicos, socioeconómicos y culturales dentro del área de influencia del proyecto, teniendo como objetivo describir las condiciones existentes y sus capacidades de respuesta a perturbaciones, así como prevenir los impactos (efectos y consecuencias) de los proyectos y determinar las medidas de control (mitigación) necesarias para asegurar la compatibilidad entre las actividades extractivas y el medio ambiente.

Dentro de la estructura de los estudios de impacto ambiental, la participación de los líquenes representaría un aporte significativo. En primer lugar a la constitución de la línea base ambiental, la cual describe el estado actual del área del proyecto, donde se podría realizar un inventario de las especies presentes en la zona, así como la cantidad de contaminantes bioacumulados en ese momento, describiendo así la calidad del aire antes de la ejecución del proyecto, para luego hacer una comparación temporal. En segundo lugar dentro de los planes de manejo y mitigación forman parte de los monitoreos que se deben realizar frecuentemente y ser un complemento a los monitoreos instrumentales al brindar confiabilidad y representatividad a los datos (Salamon & Altarawneh, 2021).

### **Líquenes y minería**

Si bien es cierto actualmente se habla de una minería responsable, las emanaciones de grandes cantidades de elementos nocivos al ambiente por parte de las actividades mineras es una realidad, la presencia de material

particulado proveniente de voladuras, transporte, molienda, escombreras o de la misma acción del viento es uno de los factores que perjudica la calidad de las zonas aledañas a las empresas mineras, al igual que la presencia de metales pesados como plomo, arsénico, mercurio, cadmio entre otros, producen una alteración en el medio afectando tanto procesos naturales y diversidad biológica (Alquiza, *et al.*, 2017; Salamon & Altarawneh, 2021). La necesidad de establecer redes de monitoreo contemplados dentro de los planes de manejo de las compañías mineras es de vital importancia, si se desea hablar de una minería responsable. La obtención de datos confiables acerca de la calidad de la zona donde se desarrolla el proyecto no solo asegura el compromiso de la empresa frente a las poblaciones, sino establece tranquilidad frente a las poblaciones aledañas (Berdonces, 2016).

Sin embargo, los elevados costos para el establecimiento de estas redes de monitoreo crean una limitación con respecto al número de estaciones de muestreos y contaminantes considerados, y aunque confiables estos registros podrían estas estadísticas incompletas generar información no confiable sobre el impacto real de los contaminantes ambientales (Muñoz-Silva *et al.*, 2019).

El uso de líquenes como bioindicadores en minería es un tema que actualmente no se está desarrollando, pero ya tiene trabajos relacionados que detallan la relación que existe entre los efectos que ocasionan la

minería y la presencia de líquenes en zonas cercanas a proyectos mineros (Salamon & Altarawneh, 2021; Kuang *et al.*, 2022).

En ese contexto la minería puede afectar a los líquenes de dos formas, pero relacionadas entre sí (Berdonces, 2016).

Los residuos de la concentración de minerales sulfurados por gravedad o flotación, siendo características estos por la presencia de pirita ( $\text{FeS}_2$ ) un mineral que es rechazado del proceso concentrador.

1. La fundición de especies meta-líferas sulfuradas.

Con relación al primer caso el reconocimiento de la liberación de  $\text{SO}_2$  es de fácil reconocimiento por el olor penetrante que tiene este gas, expresando la reacción según lo planteado por Ferrow *et al.* (2006):



Por otro lado el segundo caso está relacionado con las fundiciones de sulfuros como el cobre u otros metales. El proceso se da de la siguiente manera (Moore *et al.*, 2010):



Y tanto en las balsas como en las fundiciones, el resultado final es la producción de  $\text{SO}_2$ , teniendo en cuenta que la sensibilidad de los líquenes frente al dióxido de azufre ha sido ya tema de numerosos estudios, llegándose a la conclusión que es el componente más perjudicial para los líquenes ocasionado daños y siendo el factor principal de la desaparición de

estos en áreas contaminadas (Nash, 1973; Roziaty *et al.*, 2022). Se han desarrollado trabajos que establecen una relación entre los daños hacia los líquenes a diferentes concentraciones (LeBlanc & Rao, 1973; Kuang *et al.*, 2022), efectos sobre el proceso de fotosíntesis y pérdida del catión potasio (Tomassini *et al.*, 1977) o daños en el proceso de respiración (Baddeley, 1972).

### Líquenes en zonas altoandinas, Perú

La aplicación de líquenes como bioindicadores de contaminación en zonas mineras del Perú, aún es muy limitada en comparación a otros países como Canadá, Italia y en especial los ubicados en el continente Europeo, la aplicación de protocolos de sistemas de monitoreo con líquenes ya es una realidad; sin embargo, el Perú aún no toma conciencia de lo provechoso que puede ser aplicar esta metodología tanto en proyectos mineros como en otras actividades que causan perturbaciones al ambiente, la falta de trabajos taxonómicos como el realizado por Ramírez & Cano (2005) son de gran utilidad para el reconocimiento de la liquenobiota en el Perú; sin embargo, en relación a los trabajos aplicados en zonas mineras existen estudios como el planteado por Rivas-Plata (2006) en la provincia de Yauli, Región Junín, entre 4700 - 4900 msnm aledaña a la Unidad Minera Andaychagua de "Volcan Compañía Minera" que a través de un análisis especializado resaltan los principales líquenes que pueden ser usados como buenos bioindicadores teniendo entre las especies encontradas:

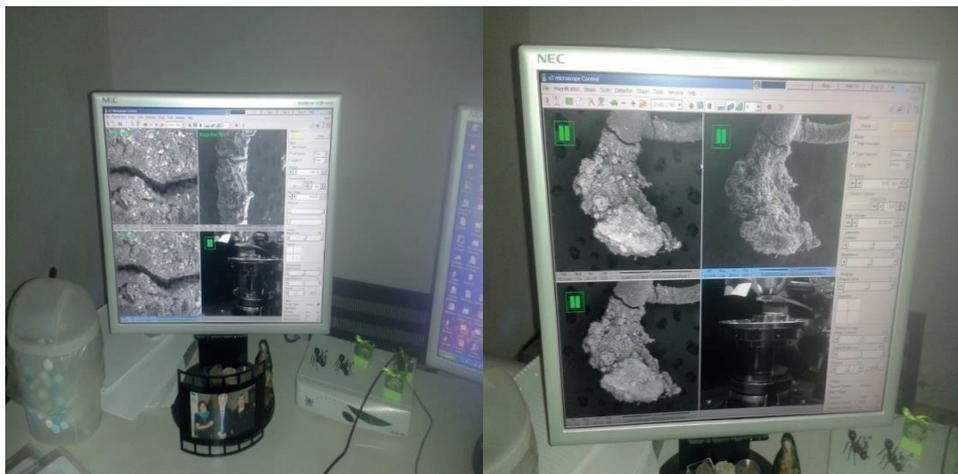
*Coccocarpia palmicola* (Spreng.) Arv. & D.J.Galloway, *Diploschistes scruposus* (Schreb.) Norman, *Protoparmeliopsis garovaglii* (Körb.) Arup, Zhao Xin & Lumbsch, *Lecidea lithophila* (Ach.) Ach, *Rhizocarpon obscuratum* (Ach.) A. Massal., *Rh. petraeum* (Wulfen) A. Massal., *Rh. sublecanorinum* Anders, *Rimelia* sp., *Tephromela atra* Hafellner ex Kalb., *Umbilicaria calvescens* Nyl. y *U. kraschenikowskii* (Savicz) Zahlbr., *Acarospora flava* (Wahlenb.) Stein, *Heterodermia* sp. y *Leprocaulon gracilis*. Se ha demostrado que los líquenes foliosos *Xanthoparmelia* sp. y *Paraparmelia* sp. son buenos bioacumuladores.

Por otro lado, Filamir (2011), en el Distrito de Pampas, provincia de Pallasca en la región Ancash, Perú resaltan a: *Punctelia bolliana* (Müll. Arg.) Krog, *Hypotrachyna osorioi* (Hale) Hale, *Xanthoparmelia huachucensis* T.H. Nash) Egan, *Rhizocarpon* sp, *Di-*

*plochistes* sp., *Myriospora smaragdula* (Wahlenb. ex Ach.) Nägeli ex Uloth., *Buelia* sp. y *Placopsis lambii* Hertel & V. Wirth pueden ser usados como bioindicadores en presencia de metales pesados, mientras se evidencio que líquenes como el *Rhizocarpon* funcionan como acumuladores biológicos eficientes.

### Equipo para el análisis de metales pesados

Tras la revisión, se pudo encontrar diferentes metodologías a través del uso de equipos de laboratorio para el análisis de metales pesados. Sin embargo, en muchos estudios se ha realizado la aplicación de Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental (MEBA) (Fig. 1), el cual permite la observación directa de todo tipo de superficies, así como la extensión del rango de resolución de las imágenes (Gökçe, 2020).



**Figura 1.** Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental (MEBA). Valdivia (2015).

### Aplicación de líquenes en Minería

La aplicación de los líquenes se puede establecer de dos maneras: 1) Realizando un estudio de carácter cualitativo que detalle las especies presentes en la zona, dando a conocer su nivel de abundancia y estableciendo relaciones entre su presencia y ausencia con los niveles de contaminación 2) La toma de muestras en la zona de estudio que recae en análisis químicos de concentraciones de distintos elementos de manera cuantitativa.

En el primer caso se tiene el método del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) (Rodríguez *et al.*, 1981), como el método más usado, el IPA proporciona una evaluación de los niveles de contaminación atmosférica basados en número (n), frecuencia (f) y tolerancia de los líquenes en un área estudiada (Correa-Ochoa *et al.*, 2020).

El uso de este método hoy en día tiene muchas modificaciones, la variación con respecto a lo propuesto por LeBlanc & DeSloover (1970) donde se describe la relación y metodología del IPA aplicada a la ciudad de Montreal, si bien es cierto existen algunos cambios, la idea principal de establecer los niveles de contaminación frente a ausencia o presencia de líquenes se mantiene vigente; sin embargo la aplicación del IPA presenta algunas limitaciones como la homogeneidad del área de estudio y a la elección de las estaciones de muestreo ya que el único factor variable debe ser la contaminación atmosférica (Boonpeng *et al.*, 2018), por otro lado la aplicación de estos

estudios solo se limitan a árboles (Lijteroff *et al.*, 2009; Estrabou *et al.*, 2011; Simijaca *et al.*, 2018), lo que hace difícil su aplicación en zonas mineras, ya que éstas se encuentran en zonas alto andinas donde la predominancia es de sustratos rocosos y la vegetación arbórea nativa es escasa; sin embargo, trabajos como el planteado por Lavornia (2009) en la ciudad de Tandil (Argentina), aplican el IPA en zonas alto andinas obteniendo resultados favorables.

En el segundo caso tenemos la toma de muestras en la zona de estudio que recae en análisis químicos de concentraciones de distintos elementos de manera cuantitativa; así como análisis de la actividad de los líquenes (fotosíntesis, intercambio de CO<sub>2</sub>, etc.) y así comparar la concentración de elementos o vitalidad líquénica entre las estaciones escogidas (Cubas *et al.*, 2010).

Existe una mayor cantidad de trabajos con relación al primer caso de aplicación en zonas mineras y esto por las condiciones de la zona para la aplicación de métodos como el IPA (Gombert *et al.*, 2004), el muestreo de especies líquénicas en zonas cercanas a empresas o depósitos mineros en estado de abandono, lo cual recae en la interacción entre los metales pesados y los líquenes, dando a conocer su capacidad como biocumuladores.

Un acumulador biológico es aquel organismo que va a reflejar el contenido químico de su ambiente, y en este caso la aplicación de un monitoreo biológico con organismos acumuladores proveerá datos esenciales para complementar

a los registros instrumentales, siendo la aplicación de estos de un costo considerablemente bajo en comparación a los métodos químicos y físicos (Rola *et al.*, 2021).

Por ende, la relación entre las concentraciones encontradas en sus talos y su entorno los hacen buenos bioacumuladores de metales pesados. Rola (2020), aunque muchos autores tienen la dificultad para establecer

la relación entre la desaparición de un líquen y la presencia de metales pesados, sin embargo, existen estudios que demuestran que a diferentes fuentes y niveles de contaminación con metales pesados afecta a la estructura de comunidades líquénicas (Lucadamo *et al.*, 2022). En la tabla 1 se muestran algunas técnicas analíticas para el análisis de contaminantes ambientales.

**Tabla 1.** Técnicas analíticas utilizadas para análisis químico.

CONTAMINANTE	MÉTODO INSTRUMENTAL
DIÓXIDO DE AZUFRE	-Fotómetro de llama -Cromatografía de gases con detector fotométrico de llama -Espectrofotometría -Electroquímica -Conductividad
METALES PESADOS	-Espectrometría de absorción atómica -Espectrometría de emisión atómica -Espectrometría de emisión óptica de plasma de acoplamiento inductivo -Espectrometría de masas con Plasma Acoplado Inductivamente -Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente

Adaptado de Conti & Cecchetti (2001).

Los estudios dieron a conocer que la presencia de metales pesados provenientes de empresas mineras se depositaba sobre la superficie del líquen o en la médula intracelular generando la acumulación de metales pesados. Asimismo, se desprende de la revisión que las principales afectaciones en los líquenes estarían relacionadas con su morfología, variaciones en su

vitalidad y a cambios en respuesta funcional. Adicionalmente los metales pesados como el plomo, zinc, cadmio, níquel, cobre, mercurio y cromo son los elementos que causan mayor toxicidad. La presencia dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, Óxidos nitrosos (NOx) y Dióxido de carbono son gases relacionados con la lluvia ácida (Figura 2).



**Figura 2.** Liqueen *Parmotrema cf. andinum* (Müll. Arg.) Hale bajo efectos de contaminación. Valdivia (2015).

Los estudios han revelaron la capacidad de fijación y acumulación de metales pesados tal y como lo detallan estudios como el Osyczka & Rola (2019) quienes analizan la capacidad de bioacumulación a través de la membrada de los líquenes o el trabajo realizado por Valdivia & Ramírez (2018) donde se analiza el impacto que produce un pasivo ambiental minero en los líquenes ubicados en zonas colindantes. Por otro lado, Vitali *et al.* (2019) utilizó a *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., para la evaluación de la presencia de los metales pesados. Se constató que la presencia de metales pesados en los líquenes produce efectos adversos, tal y como lo detalla Rola (2020), y Rola *et al* (2021) donde analizan los efectos en procesos como la fotosíntesis, en la afectación morfológica en el talo y en modificaciones en su composición genérica. Por otro lado, los trabajos realizados por Gökçe (2020), Mattarozzi

*et al.* (2015) y Agnan *et al.* (2014) destacan la utilidad del microscopio electrónico de barrido ambiental (MEBA) para el análisis de metales pesados en líquenes.

## CONCLUSIONES

Aunque exista la presencia de normativas ambientales establecidas como los límites máximos permisibles (LMP) para las emisiones realizadas, no se puede comprobar que estas se cumplan a cabalidad, necesitando de un monitoreo constante del impacto real causado. Los estudios desarrollados demuestran la utilidad de los líquenes como bioindicadores en presencia de contaminación y su eficiencia como acumuladores biológicos. La falta de estudios taxonómicos en las zonas altoandinas limita la realización de estudios donde se apliquen a los líquenes como bioindicadores de contaminación. La aplicación de líquenes en proyectos mineros reduciría el costo

de estas empresas en la obtención de numerosos instrumentales de monitoreo, complementando la data existente y otorgando confiabilidad a los datos ya obtenidos por las estaciones instrumentales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agnan, Y.; Séjalon-Delmas, N. & Probst, A. 2014. Origin and distribution of rare earth elements in various lichen and moss species over the last century in France. *Science of The Total Environment*, 487: 1-12.
- Alquiza, M.J.; Miranda-Aviles, R.; Zanol, G.A.; Salazar-Hernández, M.M. & Ordaz-Zubia, V.Y. 2017. Study of the distribution of heavy metals in the atmosphere of the Guanajuato City: Use of saxicolous lichen species as bioindicators. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 18: 111-126.
- Anderson, J.; Lévesque, N.; Carona, F.; Beckett, P. & Spiers, G.A. 2022. A review on the use of lichens as a biomonitoring tool for environmental radioactivity. *Journal of Environmental Radioactivity*, 243: 106797.
- Baddeley, B.W.F. 1972. The effects of Sulphur Dioxide on lichen espiration. *The Lichenologist*, 5: 283-291.
- Berdonces, A. 2016. *Las interacciones aire/suelo/plantas-líquenes/leguminosas-Rhizobium del mercurio en áreas contaminadas*. Universidad de Castilla.
- Boonpeng, C. S.; Sriviboon, C.; Polyiam, W.; Sangiamdee, D.; Watthana, S.; Boonpragob, K. 2018. Assessing atmospheric pollution in a petrochemical industrial district using a lichen-air quality index (LiAQI). *Ecological Indicators*, 95: 589-594.
- Conti, M. E. & Cecchetti, G. 2001. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment — a review. *Environmental Pollution*, 114: 471-482.
- Correa-Ochoa, L.C.; Vélez-Monsalve, L.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.
- Crespo, A.; Crous, P.W.; Divakar, P.K. & Lumbsch, H.T. 2016. A Festschrift for David L. Hawksworth. *Fungal Biology*, 120: 1269-1271.
- Cubas, P.; Nuñez, J.; Crespo, A. & Divakar, P. 2010. *Líquenes: que son y su uso como bioindicadores*. Un Documento GEMM / Proyecto de Innovación 123 - UCM - 2010. [https://www.aulados.net/GEMM/Documentos/San\\_Quintin\\_Innova/Liquenes\\_que\\_son\\_uso.pdf](https://www.aulados.net/GEMM/Documentos/San_Quintin_Innova/Liquenes_que_son_uso.pdf)
- El Peruano. 2014. *Aprueban Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos*. Decreto Supremo N° 039-2014-EM. Normas Legales. pp. 537400-537419.

- Estrabou, C.; Filippini, E.; Soria, J.P.; Schelotto, G. & Rodriguez, J.M. 2011. Air quality monitoring system using lichens as bioindicators in Central Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*, 182: 375–383.
- Ferrow, E.A.; Mannerstrand, M. & Sjöberg, B. 2006. Reaction kinetics and oxidation mechanisms of the conversion of pyrite to ferrous sulphate: A Mössbauer Spectroscopy Study. *Hyperfine Interactions*, 163:109–119.
- Filamir, C. 2011. *Uso de líquenes como bioindicadores en presencia de metales pesados en una zona de Pasivos Ambientales Mineros en abandono.* (Tesis). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Gombert, S.; Asta, J. & Seaward, M.R.D. 2004. Assessment of lichen diversity by index of atmospheric purity (IAP), index of human impact (IHI) and other environmental factors in an urban area (Grenoble, southeast France). *Science of The Total Environment*, 324: 183–199.
- Gökçe, M. 2020. Determining the physical properties of polymer in different admixtures used for self-compacting cement paste by ESEM. *Micron*, 139: 102953.
- Koval, Y.N. 2022. Lichen indication of surface air pollution in CATE Zheleznogorsk. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 979: 012113.
- Kuang, X.; Kyaw, W.T.; Soe, P.P.; Thandar, A.M.; Khin, H.E.; Zaw, N.M.P. & Sakakibara, M. 2022. A Preliminary Study on Mercury Contamination in Artisanal and Small-Scale Gold Mining Area in Mandalay Region, Myanmar by using Plant Samples. *Pollution*, 8: 225-238.
- Lavornia, J. M. 2009. *Las Comunidades de Líquenes de Tandil (Buenos Aires) como bioindicadores de la calidad del Aire* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de La Plata.
- LeBlanc, F. & Rao, D. N. 1973. Effects of Sulphur Dioxide on lichen and moss transplants. *Ecology*, 54: 612–617.
- LeBlanc, S.C.F. & DeSloover, J. 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of 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.
- Lucadamo, L.; Gallo, L. & Corapi, A. 2022. Detection of air quality improvement within a suburban district (southern Italy) by means of lichen biomonitoring. *Atmospheric Pollution Research*, 3: 101346.
- Mattarozzi, M.; Visioli, G.; Sanangelantoni, A.M. & Careri, M. 2015. ESEM-EDS: *In vivo* characterization of the Ni hyperaccumulator *Noccaea caerulea*. *Micron*, 5: 18-26.
- Moore, J., Stanitski, C., & Jurs, P. 2010. *Chemistry: The Molecular Science*. Cengage Learning.

- Muñoz-Silva, L.; Olivera-Gonzales, P.; Santillán-Torres, M. & Tamariz-Angeles, C. 2019. Microorganismos tolerantes a metales pesados del pasivo minero Santa Rosa, Jangas (Perú). *Revista Peruana de Biología*, 26: 109-118.
- Nash, T.H. 1973. Sensitivity of lichens to Sulfur Dioxide. *The Bryologist*, 76: 333-339.
- Osyczka, P. & Rola, K. 2019. Integrity of lichen cell membranes as an indicator of heavy-metal pollution levels in soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 174: 26-34.
- Ramírez, Á. & Cano, A. 2005. Líquenes de Pueblo Libre, una localidad andina en la Cordillera Negra (Huaylas, Ancash, Perú). *Revista Peruana de Biología*, 12: 383-396.
- Ramírez-Morán, N.A.; León-Gómez, M. & Lücking, R. 2016. Uso de biotipos de líquenes como bioindicadores de perturbación en fragmentos de bosque Altoandino (Reserva Biológica «Encenillo», Colombia. *Caldasia*, 38: 31-52.
- Rivas-Plata, E.T. 2006. *Uso de líquenes como bioindicadores de presencia de metales pesados en áreas cercanas a empresas mineras de altura del Perú*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rola, K. 2020. Insight into the pattern of heavy-metal accumulation in lichen thalli. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 61: 126512.
- Rola, K.; Lenart-Boroń, A.; Boroń, P. & Osyczka, P. 2021. Heavy-metal pollution induces changes in the genetic composition and anatomical properties of photobionts in pioneer lichens colonising post-industrial habitats. *Science of The Total Environment*, 750: 141439.
- 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 liquénicos. *Lazaroa*, 3: 289-313.
- Roziaty, E.; Suntoro, S. & Sugiyarto. 2022. Uptake test the content of ambient SO<sub>2</sub> (Sulphur Dioxide) and NO<sub>2</sub> (Nitrogen Dioxide) compounds in lichen thalli in urban, sub urban and forest in Surakarta, Central Java, Indonesia. *Materials Science Forum*, 1051: 71-78.
- Salamon, I. & Altarawneh, R. 2021. Assessment of lichens as biomonitors of heavy metal pollution in selected mining area, Slovakia. *Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry*, [S.1.], 22: 53-59.
- Simijaca, D.; Moncada, B. & Lücking, R. 2018. Bosque de roble o plantación de coníferas, ¿qué prefieren los líquenes epífitos?. *Colombia Forestal*, 21: 123-141.
- Tomassini, F.D.; Lavoie, P.; Puckett, K.J.; Nieboer, E. & Richardson, D.H.S. 1977. The effect of time of exposure to Sulphur Dioxide on Potassium loss from and photosynthesis in the lichen, *Cladina Rangiferina* (L.) Harm. *New Phytologist*, 79: 147-155.

- Valdivia, D. & Ramírez, Á. 2018. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en el pasivo ambiental minero Santo Toribio, Áncash, Perú. *The Biologist* (Lima), 16: 77-95.
- Valdivia, D. 2015. *Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en el pasivo ambiental minero Santo Toribio, Ancash. Perú.* (Tesis Título Profesional). Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Vitali, M.; Antonucci, A.; Owczarek, M.; Guidotti, M.; Astolfi, M.L.; Manigrasso, M.; Avino, P.; Bhattacharya, B. & Protano, C. 2019. Air quality assessment in different environmental scenarios by the determination of typical heavy metals and Persistent Organic Pollutants in native lichen *Xanthoria parietina*. *Environmental Pollution*, 254, Part A: 113013.

Received January 27, 2022.

Accepted March 7, 2022.