

Efficacy of lichens as bioindicators of atmospheric quality: A systematic review of the literature between the years 2011 and 2021

Mario N. Aguirre Rayo¹, Annelly Y. Arellano Navarro¹, and Magda Velásquez Marin, Mtr¹

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, marioaguirrerayo@gmail.com, N00047732@upn.pe, mvelasquezm@cip.org.pe

Abstract— This research work aims to determine the effectiveness of lichens as bioindicators of atmospheric quality, according to research journals published in scientific databases between 2011 and 2021. For which a systematic review of 64 academic and scientific research of which we selected 43, counting on 22 theses and 21 scientific articles, and discarding 21 publications that did not fit the determined selection criteria. The main databases used were: Scielo, StuDocu, Lichenology Congresses, Google Scholar, Alicia Repository, Renati, Dialnet, and Institutional Repositories of National and International Universities. This review shows that in the country there are studies on the subject, as well as in Mexico, Colombia, Spain, among others; but that the greatest difficulty, apart from the years of antiquity where the investigations have been carried out, was to classify the lichens studied by species due to the enormous number of them found in the information collected, as well as how these species generally share the same Intrinsic characteristics in this study have been classified by genres. Also with the analysis of the studies carried out between these years, it has been shown that the use of lichens as bioindicators will depend on the type of species, the topography of the place, the meteorological and geological conditions, and the exposure to pollutants; Although similar results have been obtained to those that have been evaluated with traditional methodologies, it is important to emphasize that further study and analysis of the taxonomy of each species is needed.

Keywords—Lichens, bioindicators, atmospheric, efficacy, species.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.213>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Eficacia de los líquenes como bioindicadores de la calidad atmosférica: Una revisión sistemática de la literatura entre los años 2011 y 2021

Mario N. Aguirre Rayo¹, Annely Y. Arellano Navarro¹, y Magda Velásquez Marin, Mtr¹

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, marioaguirrerayo@gmail.com, N00047732@upn.pe, mvelasquezm@cip.org.pe

Resumen– Este trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la eficacia de los líquenes como bioindicadores de la calidad atmosférica, de acuerdo con las revistas de investigación publicadas en base de datos científicas entre los años 2011 y 2021. Para lo cual se realizó una revisión sistemática de 64 investigaciones académicas y científicas de las cuales seleccionamos 43, contando con 22 tesis y 21 artículos científicos, y descartando 21 publicaciones que no se acoplaban a los criterios de selección determinados. Las principales bases de datos usadas fueron: Scielo, StuDocu, Congresos de Lichenología, Google Académico, Repositorio Alicia, Renati, Dialnet, y Repositorios Institucionales de Universidades a Nivel Nacional e Internacional. De esta revisión se rescata que en el país si se cuentan con estudios del tema, así como en México, Colombia, España, entre otros; pero que la mayor dificultad, aparte de los años de antigüedad donde se han realizado las investigaciones, fue clasificar a los líquenes estudiados por especies debido a la enorme cantidad de ellos que se encontró en la información recopilada, además como estas especies generalmente comparten sus mismas características intrínsecas en este estudio se ha clasificado por géneros. También con el análisis de los estudios realizados entre estos años se ha demostrado que el uso de líquenes como bioindicadores dependerá del tipo de especie, de la topografía del lugar, de las condiciones meteorológicas y geológicas, y de la exposición frente a los contaminantes; si bien se han tenido resultados semejantes a los que han sido evaluados con metodologías tradicionales, es importante recalcar que se necesita mayor estudio y análisis de la taxonomía de cada especie.

Palabras claves: Líquenes, bioindicadores, atmosférica, eficacia, especies.

Abstract– This research work aims to determine the effectiveness of lichens as bioindicators of atmospheric quality, according to research journals published in scientific databases between 2011 and 2021. For which a systematic review of 64 academic and scientific research of which we selected 43, counting on 22 theses and 21 scientific articles, and discarding 21 publications that did not fit the determined selection criteria. The main databases used were: Scielo, StuDocu, Lichenology Congresses, Google Scholar, Alicia Repository, Renati, Dialnet, and Institutional Repositories of National and International Universities. This review shows that in the country there are studies on the subject, as well as in Mexico, Colombia, Spain, among others; but that the greatest difficulty, apart from the years of antiquity where the investigations have been carried out, was to classify the lichens studied by species due to the enormous number of them found in the information collected, as well as how these species generally share the same

Intrinsic characteristics in this study have been classified by genres. Also with the analysis of the studies carried out between these years, it has been shown that the use of lichens as bioindicators will depend on the type of species, the topography of the place, the meteorological and geological conditions, and the exposure to pollutants; Although similar results have been obtained to those that have been evaluated with traditional methodologies, it is important to emphasize that further study and analysis of the taxonomy of each species is needed.

Keywords—Lichens, bioindicators, atmospheric, efficacy, species.

I. INTRODUCCIÓN

La problemática de la contaminación atmosférica en diferentes territorios es causada principalmente por varios factores como la industrialización, extracciones mineras, el flujo de medios de transporte, uso de pesticidas en exceso, el mal manejo de la quema de combustibles fósiles y las diferentes actividades que son realizadas propiamente por el ser humano [1]. La mayor preocupación es la toxicidad de los gases resultantes que afectan a la atmósfera, generan daños adversos a la salud de las personas y provocan una variación climática poco favorable en todo el mundo [2].

La evaluación de la calidad atmosférica en mayor porcentaje es realizada a través de equipos automáticos que, si bien, se obtienen resultados óptimos con respecto a la concentración de contaminantes, no muestran el efecto real que estos pueden tener con los seres vivos [2]. Por lo cual, no es adecuada en la toma de decisiones para la mitigación y prevención de los riesgos con la salud pública, por tal motivo se deben aplicar bioindicadores eficientes que sean ampliamente reconocidos como los líquenes, hongos, animales y plantas, que con su presencia permiten visibilizar la calidad integral del estado de la atmósfera y determinar las sustancias nocivas que se encuentran en el aire [3].

Los bioindicadores son actualmente reconocidos como organismos con los mayores beneficios, debido a que sus costos son económicos y además su uso es de fácil aplicación para los biomonitoreos [4]. Desde los años 70, son usados por su susceptibilidad a factores atmosféricos, asimismo son capaces de retener una gran proporción de contaminantes, hasta un 30% aproximadamente y pueden clasificarse como acumulativos o sensibles [5].

Los líquenes son asociaciones simbióticas que, debido a su sensibilidad a la contaminación tienen una limitada capacidad de absorber sustancias presentes en el ambiente [6]. Además, una parte de ellos son considerados bioindicadores de la calidad

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.213>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

del aire a causa de la imposibilidad de excretar sustancias y permitir la acumulación de estas [7]. La relación de los líquenes con la determinación de la contaminación atmosférica coincide con su biotipo, es decir para lugares con bajo nivel de contaminación se utilizan a los fruticulosos, para un nivel medio se usan a los foliosos y finalmente a los crustáceos pues son los más resistentes en lugares con mayor polución [4]

En este sentido, podemos mencionar los métodos utilizados habitualmente para determinar la calidad del aire a través de líquenes como: el índice de pureza atmosférica (IPA), pues calcula la calidad atmosférica a través de ellos, también la contaminación existente puede producir alteraciones en la estructura de sus poblaciones [1-3], [6-29]. La metodología propuesta por la norma VDI - 3799 o cartografía de líquenes expresado en su frecuencia y abundancia, el cual utiliza una rejilla de relevamiento de líquenes para cada forófito (árbol) y, de esta manera, conseguir la evidencia de la presencia o ausencia de líquenes [1], [2], [6-12], [14-30].

Además, existen otros métodos que contribuyen a determinar e identificar cualitativamente los contaminantes ambientales como: el Índice de Pureza Atmosférica Modificado (IPAM), el cual corresponde a una modificación del IPA, asimismo aporta mayor sensibilidad en zonas de climas más severos y mayor contaminación con una limitación en la cantidad de taxas [10], [30]. El trasplante de líquenes o biomonitorio activo que consiste en el traslado de estos organismos de un área no contaminada a una contaminada para su posterior evaluación con la cuantificación de metales pesados [31-33]. El método del punto aleatorio, que es realizado con una plantilla de puntos y según esta cantidad se utiliza todos los lados del forófito o solo el lado de mayor cobertura [34].

El método del factor de enriquecimiento, permite recolectar, además de los líquenes, muestras del suelo superficial para evaluar si las concentraciones de metales en su composición se deben a una contaminación antropogénica o a las partículas del suelo por la acción del viento [33], [35]. El método de comparación de poblaciones caracterizado por el conteo de individuos, medición de tamaños y crecimiento de los líquenes en hábitats de mayor y menor contaminación [3], [5], [7], [14], [28], [33], [36-40]. El método del punto intercepto que utiliza un cuadrante con divisiones internas, cuyos puntos de intersección deben coincidir con un líquen, lo que permite obtener el porcentaje de cobertura [4]. El método de calcar que consiste en sobreponer acetatos sobre las especies liquénicas para imitar el área que ocupan; al mismo tiempo, se mide la superficie total a estudiar con el fin de obtener el porcentaje de cobertura, a través de una hoja de papel milimetrada [4].

Asimismo, se emplean métodos para determinar la cuantificación de metales como: la microscopía electrónica de barrido ambiental (MEBA) pues analiza las partículas depositadas, permitiendo examinar su morfología y estructura elemental destinados a conocer los metales pesados ajenos a los líquenes [3], [31], [38], [41]. La espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), pues permite la determinación de la concentración de metales

pesados de las muestras recolectadas considerando para su análisis el talo de cada líquen [1], [13], [21], [32], [33], [35], [39-43]. El método de las mediciones magnéticas, el cual se utiliza para determinar la concentración magnética y el grado de contaminación a partir de la susceptibilidad magnética relativa y el nivel de exposición de los contaminantes, independientemente de su especie [36].

Por la problemática mencionada en los primeros párrafos, el objetivo del presente estudio fue determinar la eficacia de los líquenes como bioindicadores de la calidad atmosférica, de acuerdo a las revistas de investigación publicadas con base en datos científicos desde el año 2011 hasta el 2022. Y de esta manera, validar la efectividad de los líquenes, teniendo en cuenta la importancia de ser adoptado como una alternativa de bioindicador aplicable a la problemática de la calidad atmosférica para prevenir los efectos negativos futuros.

II. METODOLOGÍA

La metodología utilizada fue una revisión sistemática de la literatura científica. Es decir, unas evaluaciones y unos análisis ordenados y claros en relación a una pregunta planteada que permitió la indagación sobre las herramientas y resúmenes específicos de las evidencias existentes. Fue necesario que previamente se realice una selección adecuada, para poder extraer los datos más resaltantes para el análisis crítico, así como una evaluación a la calidad de la información.

En este caso el proceso que se realizó se dividió en cuatro etapas:

A. Etapa 1: Determinación de criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión tomados en cuenta, se basaron en artículos científicos y tesis. Los artículos científicos fueron publicados entre el periodo del 2011-2021 y estaban relacionados directamente con los líquenes en su función como bioindicadores de la calidad atmosférica, estos artículos podían provenir de cualquier parte del mundo siempre y cuando apliquen con los criterios antes mencionados. Con respecto a las tesis, también cumplieron las mismas condiciones y además debían ser realizadas por aquellos profesionales que optaban por el título, maestría o doctorado de carreras referentes a la Biología, Ingeniería Forestal, Ingeniería Ambiental o Ingeniería Agrónoma.

Asimismo, se dedujeron los criterios de exclusión, como: artículos relacionados a otros bioindicadores diferentes con los líquenes, o que contaron con una finalidad diferente a la del control de calidad atmosférica, además de artículos y/o tesis que hayan sido publicados fuera del periodo del 2011-2021.

B. Etapa 2: Selección de fuentes de investigación

Los repositorios institucionales fueron base importante para el desarrollo de esta sección de la metodología, pues se sabe que estos almacenan, preservan y difunden la producción de su institución, es decir, una biblioteca digital donde refleja toda la recopilación de información de la universidad.

El recurso de información que se eligió para el desarrollo de la revisión sistemática fue el uso de revistas científicas y tesis de repositorios nacionales e internacionales.

Los artículos científicos fueron obtenidos de: Scielo, StuDocu, Google Académico, y de archivos PDF del II y IV Congreso Nacional de Liquenología del Perú. Otro grupo de artículos, así como de Tesis fueron recopilados en formato PDF en diferentes Repositorios Institucionales de Universidades a nivel nacional e internacional, los cuales se encontraron a través del buscador Google.

C. Etapa 3: Búsqueda especializada

Para esta selección de artículos y tesis fue importante usar palabras claves, como: Líquenes, bioindicador, contaminación atmosférica, calidad, aire.

Se utilizaron los operadores booleanos AND y OR para relacionar las palabras que se utilizaron en la búsqueda de información incluyendo también a las comillas para encontrar un grupo de palabras exactas en el orden específico.

Para la búsqueda de información se utilizó palabras claves o las variables correspondientes al estudio como por ejemplo para el repositorio de las universidades nacionales e internacionales fueron “líquenes contaminación”, “líquenes aire”, “líquenes ambiente”, “indicadores líquenes”, “líquenes bioindicadores”, luego para la bases de datos de Scielo y Dialnet se utilizaron los siguientes términos “calidad aire líquenes”, “artículo líquenes contaminación”, “tesis líquenes aire”.

Finalmente, se colocó en búsqueda avanzada el rango de años que corresponde desde el 2011 al 2021, el cual coincide a estudios científicos elaborados desde 10 años antes, con la finalidad de reducir el tiempo de búsqueda.

D. Etapa 4: Análisis documental

En total se encontró 64 informaciones académicas y científicas de las cuales solo se consideraron 43 de ellas entre tesis y artículos científicos, es decir, se descartaron 21 publicaciones en total por motivo de no ajustarse adecuadamente a las variables correspondientes.

De los 43 documentos científicos que sí fueron seleccionados para la revisión sistemática, se distribuyeron en 23 tesis, que representó el 53.5% de la información total de búsqueda, y en 20 artículos científicos el cual comprendía el 46.5% de la recopilación científica seleccionada.

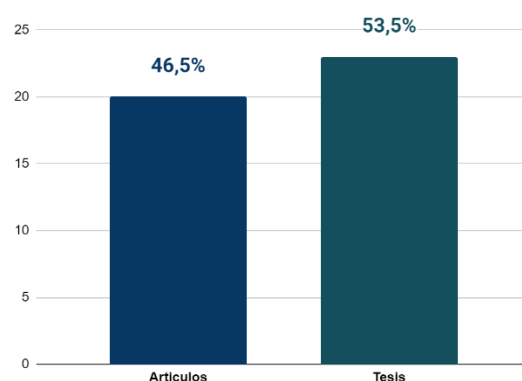


Fig. 1: Clasificación según tipo de estudio

Al realizar el análisis documental se evidenció una mayor cantidad de investigación en la base de datos de Google Scholar, el cual fue 19 representado por el 44,2% de los artículos incluidos para ser utilizados en la revisión sistemática.

TABLA I
BASE DE DATOS DE ARTÍCULOS Y TESIS

Base de datos	Porcentaje (%)	N° de publicaciones
Google Scholar	44.2	19
Scielo	11.62	5
Dialnet	9.3	4
Alicia	4.64	2
Repositorio UNTRM	4.64	2
Repositorio UCV	4.64	2
IV CONALIP Y I CONAL	2.33	1
II CONAL	2.33	1
Renati	2.33	1
Repositorio Institucional Digital UNAP	2.33	1
Repositorio UNAS	2.33	1
Repositorio UNCP	2.33	1
Repositorio UPAGU	2.33	1
Repositorio UPT	2.33	1
StuDocu	2.33	1
Total	100	43

Las publicaciones en SCIELO fueron determinantes para seleccionar 5 de ellas, las cuales representaron el 11.62% de la cantidad de investigaciones. Seguidos de 4 publicaciones cuya base de datos fue Dialnet relacionadas al estudio por consiguiente su representación porcentual fue del 9.3%. Asimismo, 2 publicaciones en 3 repositorios (Alicia, Universidad César Vallejo y Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas) que representan el 4.64% del total.

Además, según la tabla I, representado por el 2.33% y con 1 publicación cada una de ellas, tenemos a las bases de datos siguientes: IV Congreso Nacional de Liquenología del Perú y I Congreso Nacional de Lomas, II Congreso Nacional de Liquenología del Perú, Renati, Repositorio Institucional Digital Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Repositorio Universidad Nacional Agraria de la Selva, Repositorio

Universidad Nacional del Centro del Perú, Repositorio Universidad Privada Antonio Guillermo Urrel, Repositorio Universidad Privada de Tacna y StuDocu.

La mayor cantidad de publicaciones, según el país de procedencia está determinado por investigaciones nacionales pues ocupan el 46.5% del total, representado por 20 estudios, posteriormente se seleccionaron investigaciones extranjeras las cuales colocan a Colombia y a Ecuador como los más utilizados con 6 y 3 investigaciones respectivamente, cuya representación en porcentaje fue del 14% y 7%, seguidamente consideramos con 2 publicaciones a Bolivia, Chile, Marruecos y México, finalmente con 1 publicación relacionada a las variables tenemos a Argentina, Costa Rica, España, Guatemala, Uruguay y Venezuela, el cuál grafican el 2.3% por cada país con respecto al total de las publicaciones.

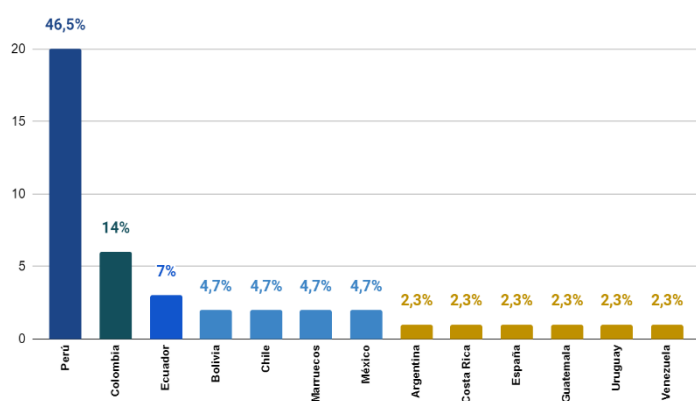


Fig. 2: Estudios según el país de procedencia

También se analizaron las publicaciones por años es decir cada 2 años representan una cantidad de publicaciones utilizadas para el estudio, en el caso del año 2011 y 2012 se seleccionaron 4 publicaciones que representa el 9.3% del total, para los años 2013 y 2014 se encontraron 3 publicaciones que representan el 7%, luego para el 2015 y 2016 con 9 publicaciones que representa el 20.9% del total, más adelante se tiene a los años de 2017 y 2018 con 15 publicaciones y que representan el 34.9%, en los siguientes años de 2019 y 2020 se seleccionaron 11 artículos que representó el 25.6% de todas las investigaciones, y en el último año 2021 se consideró 1 publicación representada por el 2.3% (Tabla II).

TABLA II
ESTUDIOS SEGÚN PERIODO DE PUBLICACIÓN

Años de publicación	Total de investigaciones
2011-2012	4
2013-2014	3
2015-2016	9
2017-2018	15
2019-2020	11
2021	1
Total	43

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Géneros utilizados para demostrar su eficacia

Los géneros de líquenes utilizados para demostrar la eficacia de la calidad atmosférica fueron los siguientes: *Aspicilia, Acarospora, Amandinea, Anisomeridium, Arthonia, Aspicilia, Bacidia, Blastenia, Buellia, Calicium, Caloplaca, Candelaria, Candelariella, Canoparmelia, Carbonicola, Chrysothrix, Cladonia, Coccocarpia, Collema, Dermatocarpon, Dictyonema, Diploicia, Diploschistes, Dirinaria, Endocarpon, Evernia, Everniastrum, Flavoparmelia, Flavopunctelia, Graphis, Heterodermia, Hyperphyscia, Hypogymnia, Hypotrachyna, Imshaugia, Lecanora, Lecidella, Lepraria, Leprocaulon, Leptogium, Leucodermia, Lobaria, Melanelixia, Melanohalea, Opegrapha, Pannaria, Parmelia, Parmotrema, Peltigera, Pertusaria, Phaeophyscia, Physcia, Physciella, Physconia, Placomaronea, Pseudovernia, Psiloparmelia, Punctelia, Pyxine, Ramalina, Rhizocarpon, Rinodina, Rocella, Scoliciosporum, Stereocaulon, Sticta, Teloschistes, Tylophoron, Umbilicaria, Usnea, Xanthoparmelia y Xanthoria.*

Cabe resaltar, que en total se obtuvo 72 géneros de líquenes de los cuales 34 fueron los más representativos y se muestran en la tabla III.

Además, los metales pesados encontrados en los líquenes y, por ende, en el aire fueron: el cadmio, cobre, molibdeno, antimonio, mercurio, plomo, zinc [21], cuya toxicidad evidencian la dificultad de los organismos simbioses para colonizar ambientes [32].

Finalmente, se puede mencionar a los líquenes que fueron utilizados en la mayoría de las publicaciones para ser considerados eficaces como bioindicadores de la calidad atmosférica, los cuales fueron: *Physcia, Candelaria, Ramalina, Parmelia, Xanthoria y Lepraria.*

B. Eficacia de los líquenes según su enfoque de método y género

A continuación, tenemos los resultados de la eficacia de los líquenes según su enfoque de método y género, presentado en la siguiente tabla.

TABLA III
EFICACIA DE LOS LÍQUENES SEGÚN SU ENFOQUE DE MÉTODOS Y GÉNEROS UTILIZADOS

Métodos	Géneros/biotipos	Eficacia	Referencia
IPA/Cartografía de líquenes/ ICP-AES	<i>Xanthoparmelia</i>	Es un excelente bioindicador del plomo.	[1]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Candelaria, Physcia, Pyxine, Lepraria, Teloschistes, Punctelia</i>	Son una buena herramienta para medir la calidad del aire.	[2]
IPA/MEBA/ Comparación de poblaciones	<i>Usnea</i>	Refleja la eficacia del empleo de líquenes como bioindicadores de la contaminación.	[3]
Punto intercepto	<i>Physcia, Xanthoria, Flavopunctelia</i>	Existe una correlación entre la diversidad de líquenes cortícolas y la calidad de aire.	[4]
Comparación de poblaciones	<i>Scoliciosporum, Punctelia, Physcia, Xanthoria</i>	Estos líquenes muestran el estado de la contaminación atmosférica.	[5]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Lobaria, Graphys, Candelaria, Parmelia, Flavoparmelia, Physcia, Phaeophyscia, Lepraria, Pertusaria</i>	“La <i>Lobaria sp.</i> representa a las especies sensibles a la contaminación, la <i>Graphys sp.</i> representa a las especies con resistencia media a la contaminación y la <i>Candelaria concolor, Parmelia caperata, Flavoparmelia soledians, Physcia sp., Phaeophyscia sp., Lepraria sp. y Pertusaria sp.</i> representan a las especies resistentes a la contaminación”.	[6]
IPA/Cartografía de líquenes/ Comparación de poblaciones	<i>Parmelia, Physcia, Candelaria, Chrysothrix</i>	Estos líquenes demuestran ser buenos bioindicadores de la calidad del aire.	[7]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Candelaria, Physcia</i>	La gran cantidad de líquenes presentes de estos géneros indican baja contaminación atmosférica.	[8]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Ramalina</i>	La presencia de esta especie permitió catalogarla como indicadora de buena calidad atmosférica.	[9]
IPA/IPAM/ Cartografía de líquenes	<i>Chrysothrix, Graphis</i>	Los líquenes epífitos resultaron ser excelentes indicadores para detectar zonas de mayor y menor calidad de aire, dependiendo de su abundancia y escasez respectivamente.	[10]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Parmelia, Dictyonema</i>	El uso de estas especies de líquenes son recomendadas como indicadores de la perturbación antropogénica.	[11]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Physcia</i>	Esta especie es un buen bioindicador de la calidad atmosférica.	[12]
IPA/ICP-AES	<i>Evernia</i>	Con la evaluación de los metales pesados se concluyó que el líquen es un buen indicador de la calidad del aire.	[13]
IPA/Cartografía de líquenes/ Comparación de poblaciones	<i>Physcia, Phaeophyscia</i>	Cuando estos líquenes desaparecen significa el empobrecimiento de la calidad del aire.	[14]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Hyperphyscia, Candelaria, Leptogium, Dirinaria, Pyxine</i>	Las especies foliosas de líquenes son propuestas para ser utilizadas como indicadoras de contaminación aérea.	[15]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Candelaria, Parmotrema, Physcia</i>	Los líquenes epífitos resultaron ser excelentes indicadores para detectar la contaminación del aire.	[16]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Folioso, costroso, fruticoso y escamuloso</i>	Los resultados de la investigación determina la eficiencia de estos líquenes como bioindicadores.	[17]
Cartografía de líquenes / IPA	<i>Chrysothrix, Caloplaca, Lepraria</i>	Estos líquenes son organismos demasiados sensibles que brindan utilidad para verificar las alteraciones en el ambiente.	[18]
Cartografía de líquenes / IPA	<i>Candelaria, Physcia, Ramalina, Candelaria, Parmotrema</i>	Estos líquenes como bioindicadores han demostrado ser una alternativa rápida y de bajo costo para la evaluación de la calidad del aire.	[19]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Hyperphyscia, Physcia</i>	La eficiencia de estos líquenes queda demostrado por su alta sensibilidad a los contaminantes y ser una alternativa efectiva y económica.	[20]
Cartografía de líquenes / IPA / ICP-AES	<i>Parmotrema</i>	Este líquen es capaz de bioacumular metales pesados, por tal motivo son utilizados en el monitoreo de la calidad del aire.	[21]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Physcia</i>	El flujo vehicular influye en este líquen convirtiéndolo en un bioindicador de la calidad del aire.	[22]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Physcia, Hyperphyscia, Chrysothrix</i>	Está demostrado que estos líquenes como organismos bioindicadores de la calidad del aire son sensibles frente a cambios en el ambiente.	[23]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Candelaria, Physcia</i>	Estos líquenes son buenos indicadores pues al aumentar las concentraciones de contaminantes la cobertura líquénica disminuye.	[24]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Diploicia, Lecidella</i>	Estos líquenes permiten relacionar que a menor cantidad de especies mayor contaminación.	[25]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Physcia, Flavopunctelia, Candelaria</i>	Estos líquenes son organismos que sirven de manera eficiente para evaluar la calidad atmosférica.	[26]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Flavopunctelia, Physcia</i>	Estos líquenes resultaron ser buenos bioindicadores.	[27]
IPA/Cartografía de líquenes/ Comparación de poblaciones	<i>Hyperphyscia, Xanthoria, Physcia, Candelaria</i>	Estos líquenes podrían establecerse como estudios previos de la calidad del aire en ciudades.	[28]

IPA/Cartografía de líquenes	<i>Candelaria, Physcia, Parmelia</i>	Estas especies líquénicas son bioindicadores eficientes.	[29]
IPA/Cartografía de líquenes	<i>Candelaria, Buellia, Flavoparmelia</i>	Estos líquenes urbanos de Chachapoyas son buenos indicadores de la calidad del aire.	[30]
Trasplante de líquenes/MEBA	<i>Acarospora</i>	Este líquen es sensible a cualquier cambio del ambiente y a su vez resistentes a la contaminación .	[31]
Trasplante de líquenes/ICP-AES	<i>Ramalina</i>	El estudio permitió conocer que el líquen es una especie que puede monitorear la calidad del aire.	[32]
Factor de enriquecimiento/ Comparación de poblaciones/ Trasplante de líquenes/ICP-AES	<i>Parmotrema</i>	Este líquen es un eficiente bioacumulador y biomonitor de metales en zonas de actividad minera.	[33]
Método de puntos aleatorios/ Cartografía de líquenes	<i>Lecanora, Physcia</i>	Estos líquenes son las opciones más realistas para biomonitoreos en América Latina, África y otros países, predominantemente en regiones tropicales.	[34]
Factores de enriquecimiento/ ICP – AES	<i>Usnea</i>	Los líquenes y suelos permitieron demostrar la necesidad de utilizar los suelos locales que sustentan estos organismos para definir mejor la vía de absorción de los elementos.	[35]
Mediciones magnéticas/ Comparación de poblaciones	<i>Canoparmelia, Physcia, Dirinaria</i>	Estos líquenes expuestos a las emisiones vehiculares muestran valores más elevados de los parámetros magnéticos evaluados.	[36]
Comparación de poblaciones	<i>Leucodermia</i>	Este líquen es un potencial y eficiente bioindicador del aire en la ciudad de Lima.	[37]
Comparación de poblaciones/ MEBA	<i>Parmotrema</i>	Este líquen alcanzó buenos resultados en el análisis de metales pesados.	[38]
Comparación de población / ICP-AES	<i>Parmelia</i>	Este líquen podría ser empleado en la evaluación, diagnóstico y monitoreo temporal de la calidad del aire.	[39]
Comparación de población / ICP-AES	<i>Flavopunctelia, Phaeophyscia, Ramalina</i>	Las especies foliosas son potencialmente mejores candidatas para ser utilizadas como bioindicadores a largo plazo.	[40]
ICP-AES/MEBA	<i>Xanthoria</i>	Este líquen podría usarse para determinar metales pesados en climas secos y cálidos en Marruecos.	[41]
ICP-AES	<i>Lecanora</i>	Las formas de uso individuales de este líquen es eficiente en la remoción del plomo del aire.	[42]
ICP-AES	<i>Xanthoparmelia, Caloplaca, Aspicilia</i>	El uso de líquenes saxícolas pueden utilizarse con eficacia en la vigilancia de la calidad del aire.	[43]

IV. CONCLUSIONES

Como se observa en la Tabla III la eficacia de los líquenes detallados en los diferentes estudios toma como referencia su buena efectividad como bioindicador de la contaminación atmosférica, además, en todas las investigaciones detallan la facilidad de los métodos aplicados en el estudio de la calidad del aire.

El género *Physcia* fue utilizado en la mayoría de publicaciones respecto a su eficacia como bioindicador de la calidad atmosférica, pues es resistente a la contaminación en zonas urbanas [4], además está presente en épocas seca y húmeda [2].

En la misma línea, el método más utilizado fue el Índice de Pureza Atmosférica (IPA), pues ha demostrado ser muy eficaz [12], también resulta ser de gran importancia y aporte para la ciencia [19].

Asimismo, estos líquenes son sencillos e importantes de realizar en base al biomonitoreo de la contaminación atmosférica sometido a través del tiempo en un determinado espacio [25].

Los estudios de los líquenes muestran la efectividad como biomonitor o evaluador de la calidad de aire por su presencia o ausencia en la zona de estudio [5].

El presente estudio resalta el valor de los hallazgos que servirán como base para futuras investigaciones que contribuirán a conocer la eficacia de los líquenes como bioindicadores de la calidad atmosférica.

Las 43 investigaciones provienen de bases de datos seguras, confiables y que nos permite tener información sobre la realidad actual de este bioindicador no solamente en el Perú sino también en el mundo.

Esta revisión sistemática nos permitió tener un panorama más amplio y encontrar el punto de intersección de la efectividad de los líquenes con sus géneros y métodos, esto gracias a que se seleccionaron de manera correcta y siguiendo los criterios de inclusión y exclusión adecuados.

En consecuencia, y según lo evaluado, los líquenes como bioindicadores de la calidad atmosférica son eficaces de acuerdo con la revisión sistemática analizada. Además, debido a su efectividad deben ser adoptados como bioindicadores aplicables a la problemática de la calidad ambiental para prevenir los efectos negativos futuros que nos permitan tener ciudades y pueblos más sostenibles.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Privada del Norte por formarnos a lo largo de estos años en conocimientos y valores, por inculcarnos el interés en la investigación que es una gran contribución para el desarrollo de nuestro país.

REFERENCIAS

- [1] Villamar O. Evaluación de la calidad del aire mediante el índice de pureza ambiental y el análisis de metales pesados en el líquen *xanthoparmelia* sp. (vain.) hale en la ciudad de Puno. 2018.
- [2] Gonzales N, Luján M, Navarro G, Flores R, Gonzales Vargas N, Luján Pérez M, et al. Aplicabilidad de líquenes bioindicadores como herramienta de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cochabamba. *Acta Nov* [Internet]. 2016;7(4):455–82. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892016000200006&lang=es
- [3] Valdivia D, Ramírez Á. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en el pasivo ambiental minero Santo Toribio, Áncash, Perú. *Biol* [Internet]. 2018;6(2):77–95. Disponible en: <https://revistas.unfv.edu.pe/rb/article/view/223>
- [4] Huamán M. Diversidad de líquenes cortícolas y calidad de aire en el distrito de Huancayo [Internet]. Repositorio UNCP. 2016. Disponible en: [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3469/Huamán Tupac.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3469/Huamán%20Tupac.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [5] Silva E, Álvarez C, López V, Varinia R. Análisis de la población líquénica en salamanca, Guanajuato. *Rev Divulg Científica* [Internet]. 2017;3(1):259–63. Disponible en: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3137>
- [6] Livia H, Rojas R. Determinación de la calidad del aire en las principales vías de tránsito vehicular en la ciudad de Jaén empleando líquenes como bioindicadores, Cajamarca, 2019. [Internet]. 2019. Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNJA_2d494f58c3c2cec5ba74ae0328e5ac2c
- [7] Montenegro D, Cruz M. Calidad del aire de las principales áreas públicas de la ciudad de Jaén empleando líquenes como bioindicadores, Cajamarca [Internet]. 2019. Disponible en: <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/210>
- [8] Arellano F, Corpa I, Huarachi J. Efecto del tráfico vehicular y la calidad del aire mediante el IPA sobre las poblaciones de líquenes en dos zonas, Challapata y Oruro (Parque Zoológico y Vinto). *Fac Ciencias Agrar y Nat - Univ Técnica Oru* [Internet]. 2016;1–5. Disponible en: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnica-de-oruro/contabilidad-de-socios/articulo-cientifico-liquenes/10324170>
- [9] Gualteros R, Pérez C, Torres A, Moreno M. Evaluación de la calidad atmosférica en zonas verdes y de tráfico vehicular de la ciudad de Ibagué (Tolima, Colombia) mediante el estudio de líquenes cortícolas. *IV CONALIP Y I CONAL* [Internet]. 2017;220–9. Disponible en: <https://liquenesperu.com/libros>
- [10] Oyarce W. Determinación de la calidad del aire mediante el uso de líquenes en la microcuenca del lago Pomacochas, distrito Florida, provincia Bongará, departamento Amazonas, 2016 - 2017 [Internet]. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. 2017. Disponible en: http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1482/chapa_grandez_sally_patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [11] Porras G. Efecto de actividades antropogénicas sobre la comunidad líquénica del distrito de Matucana [Internet]. Vol. 126, Universidad Ricardo Palma. 2019. Disponible en: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3137>
- [12] Vargas A. Calidad atmosférica del Parque Nacional Cerros de Amotape (Zona Sur) mediante el uso de líquenes epífitos [Internet]. 2012. Disponible en: <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1346>
- [13] El Rhzaoui G, Divakar P, Crespo A, Tahiri H. Biomonitoring of air pollutants by using lichens (*Evernia prunastri*) in areas between Kenitra and Mohammedia cities in Morocco. *Lazaroa* [Internet]. 2015;36:21–30. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5356184>
- [14] Fontecha A, Burgaz AR. Uso de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire: estado de la Ciudad Universitaria (Madrid, España). *Bot Complut* [Internet]. 2017;42:57–68. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6657569>
- [15] Cohn G, Quezada M. Líquenes como bioindicadores de contaminación aérea en el corredor metropolitano de la ciudad de Guatemala. *Rev Científica la Fac Ciencias Químicas y Farm* [Internet]. 2016;26(1):20–39. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5607516>
- [16] Ochoa D, Cueva A, Prieto M, Aragón G, Benitez Á. Cambios en la composición de líquenes epífitos relacionados con la calidad del aire en la ciudad de Loja (Ecuador). *Caldasia* [Internet]. 2015;37(2):333–43. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-52322015000200008
- [17] Carrero C, Rodríguez T. Evaluación de la eficiencia de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire del Kilómetro 3 al 4 de la Vía Villavicencio – Acacias [Internet]. Universidad Santo Tomás. 2019. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/19514>
- [18] Palomino R. Evaluación de la calidad del aire mediante líquenes como bioindicadores ambientales en la ciudad de Ilo, 2020 [Internet]. Universidad Privada de Tacna. 2020. Disponible en: <http://www.upt.edu.pe/upt/web/home/contenido/10000000/65519409>
- [19] Segura S. Caracterización de la contaminación atmosférica en seis parques recreacionales del distrito Metropolitano de Quito mediante el uso de bioindicadores [Internet]. 2013. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/678>
- [20] Coronado K, Castiblanco D. Líquenes como bioindicadores en la evaluación de la calidad del aire en cinco colegios públicos ubicados en las principales vías de la ciudad de Bogotá D.C [Internet]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2019. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/22282>
- [21] Gonzales A. Evaluación de la capacidad bioacumuladora de contaminantes en líquenes, utilizados en el monitoreo de la calidad del aire de la parroquia San Carlos, Cantón La Joya de los Sachas, provincia de Orellana. [Internet]. 2018. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10244/1/236T0381.pdf>
- [22] Reyes S. Influencia del flujo vehicular en la población de líquenes bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Huaraz, 2020 [Internet]. Vol. 4, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 2020. Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3040063>
- [23] Quispe K, Ñique M, Chuquilin E. Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, Perú. *Investig y*

- Amaz [Internet]. 2015;70(4):99–104. Disponible en: <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/90>
- [24] Figueroa E. Comparación histórica de la calidad del aire del sector las Ferias-Bogotá D.C. por medio de indicadores biológicos (líquenes). Univ Mil Nueva Granada [Internet]. 2017;16. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16431>
- [25] Huamán S. Determinación de la calidad del aire empleando líquenes en la ciudad de Bagua grande, provincia de Utcubamba, región Amazonas, 2017 [Internet]. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. 2018. Disponible en: <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/3060/47077.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [26] Figueredo C. Uso de líquenes foliosos como bioindicadores de la calidad del aire de Bogotá, D. C [Internet]. Universidad de La Salle. 2020. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia%0Ahttps://ciencia.lasalle.edu.co/biologia/86>
- [27] Figueroa E, Méndez A. Evaluación de la calidad del aire en 8 zonas de la ciudad de Bogotá utilizando los líquenes como bioindicadores [Internet]. Universidad de La Salle. 2015. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/3/
- [28] Oller O. Empleo de bioindicadores para determinar la calidad del aire en la ciudad de Tarija en puntos de muestreo de red MoniCA. Acta Nov [Internet]. 2018;8(3):307–21. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892018000100004
- [29] Ambrosio M, Bringas B, Gutiérrez F. Evaluación de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica de origen vehicular en tres zonas del distrito de Cajamarca en el año 2017. Trabajos científicos del IV Congr Nac Lichenología del Perú y I Congr Nac Lomas [Internet]. 2017;135. Disponible en: [http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/432/2.Informe final de Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/432/2.Informe%20final%20de%20Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [30] Mendoza J. Evaluación de la calidad del aire empleando líquenes como indicadores en la ciudad de Chachapoyas, Amazonas, 2017 [Internet]. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. 2018. Disponible en: <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/3060/47077.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [31] Pari A. Análisis del efecto de las emisiones de tráfico vehicular acumulados sobre organismos bioindicadores (líquenes) en zonas contaminadas y no contaminadas en los distritos de Tacna, 2017 [Internet]. 2020. Disponible en: <http://www.repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4102>
- [32] Chavez G. Capacidad del Liqueen Fruticuloso (Ramalina Farinacea) para la Bioacumulación de Plomo en el aire en zonas metalúrgicas en Jicamarca, 2017 [Internet]. Universidad César Vallejo. 2017. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/10872>
- [33] Hurtado W, Gómez H, Fernández R, Galarraga F, Hernández J, González R. Liqueen Parmotrema sancti angelii como biomonitor de los metales provenientes de la mina Loma de Niquel, Estado Aragua. Geos Rev Venez Ciencias la Tierra [Internet]. 2013;0(44):5–12. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Raiza-Fernandez/publication/267624126_liquen_Parmotrema_sancti_angelii_como_biomonitor_de_los_metales_provenientes_de_la_min_a_loma_de_niquel_estado_aragua/links/587539b408ae8fce492820f1/liquen-Parmotrema-sancti-angelii
- [34] Neurohr E, Monge-Nájera J, Méndez V. Use of a Geographic Information System and lichens to map air pollution in a tropical city: San José, Costa Rica. Rev Biol Trop [Internet]. 2013;61(2):557–63. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442013000300007&lang=es
- [35] Tapia R. Evaluación de la calidad del aire en la Península Fildes, Isla Rey Jorge, Antártica biomonitorio de líquenes como herramienta de gestión [Internet]. 2011. Disponible en: <http://repositorio.conicyt.cl/handle/10533/179746>
- [36] Sanchez L, Darre E, Aguilar B, Gogichaishvili A. Estudio magnético en líquenes de la ciudad de Montevideo. Latinmag Lett [Internet]. 2013;3:1–7. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Bautista-2/publication/291334440_estudio_magnetico_en_liquenes_de_la_ciudad_de_montevideo/links/56a283b708ae1b65112cae9f/estudio-magnetico-en-liquenes-de-la-ciudad-de-montevideo.pdf
- [37] Bermudez D, Ramírez A. Leucomedia Leucomelos: Potencial bioindicador de la calidad del aire en Lima Perú. II Congr Nac Lomas [Internet]. 2021;118–23. Disponible en: <https://liquenesperu.com/libros>
- [38] Ferry G. Calidad del aire mediante la liquenobiota saxícolas en la Zona Arqueológica de Teatino-Reserva Nacional Lomas de Lachay, Huacho-Lima-Perú, 2017 [Internet]. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana; 2018. Disponible en: <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/5751>
- [39] Ghirardi R, Fosco M, Gervasio S, Imbert D, Enrique C, Pacheco C. Líquenes y Claveles del Aire como Bioindicadores de Contaminación Atmosférica en el Microcentro de la Ciudad de Santa Fe. Ciencia [Internet]. 2011;6(24):89–99. Disponible en: <http://www.exactas.unca.edu.ar/revista/v240/pdf/ciencia24-8.pdf>
- [40] Pereira I, Tapia J, Errázuriz I, Basulto S. Comparative study of the presence of heavy metals utilizing epiphytic corticolous lichens in Talca city, Maule region, Chile. Gayana - Bot [Internet]. 2018;75(1):494–500. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-66432018000100494&script=sci_arttext&tlng=en
- [41] El Rhzaoui G, Divakar P, Crespo A, Tahiri H, El Alaoui-Faris F. Xanthoria parietina as a biomonitor of airborne heavy metal pollution in forest sites in the North East of Morocco. Lazaroa [Internet]. 2015;36:31–41. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5357916>
- [42] Soto A, Zabalú A. Eficiencia de remoción del plomo del aire mediante musgo, liquen y tillandsia en el distrito de Mi Perú - Callao 2019 [Internet]. Facultad de Ingeniería-Universidad César Vallejo. 2019. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/59876/Soto_ZAV-Zabalú_VAA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [43] Puy M, Miranda R, Zanor G, Salazar M, Ordaz Y. Study of the Distribution of Heavy Metals in the Atmosphere of the Guanajuato City: Use of Saxicolous Lichen Species as Bioindicators. Ing Investig y Tecnol [Internet]. 2017;18(1):111–26. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-7432017000100111&lng=es&nrm=iso&tlng=en