



Líquenes epífitos como bioindicadores de contaminación del aire en la ciudad de Lircay, Perú

Epiphytic lichens as bioindicators of air pollution in the city of Lircay, Peru

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i22.262>

Líquenes epífitos como bioindicadores de poluição atmosférica na cidade de Lircay, Perú

Russbelt Yaulilahua-Huacho¹
russbelt.yaulilahua@unh.edu.pe

Liliana Asunción Sumarriva-Bustanza²
lsumarriva@une.edu.pe

José Luis Gave-Chagua¹
jose.gave@unh.edu.pe

Jorge Luis Huere-Peña¹
jorge.huere@unh.edu.pe

Rubén García-Ticllacuri¹
ruben.ticllacuri@unh.edu.pe

¹Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica, Perú

²Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Lima, Perú

Artículo recibido 27 de noviembre 2023 / Arbitrado 18 de diciembre 2023 / Publicado 20 de enero 2024

RESUMEN

Los líquenes son utilizados como bioindicadores para valorar la calidad atmosférica, debido a que obtienen la mayor parte de sus nutrientes del aire, son muy sensibles a las impurezas presentes en la atmósfera, tales como el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, dióxidos de carbono y metales pesados. Con el objetivo de determinar la calidad de aire según el índice de pureza atmosférica mediante el muestreo de líquenes epífitos en las principales áreas verdes de la ciudad de Lircay, en función a su riqueza y diversidad de líquenes. El estudio se realizó en la ciudad de Lircay, Huancavelica-Perú, en cinco zonas (Pueblo Viejo, Pampa, Santa Rosa, Bellavista y Virgen del Carmen), que representa área urbana con pocas o ninguna fuente de contaminación del aire. Se determinaron la biodiversidad de líquenes epífitos (LE) se usó el Índice de Shannon Wiener (ISW) e Índice de Pureza Atmosférica (IPA) se obtuvo en función del número de especies de LE encontrados. La identificación de especies diferentes de LE se realizó mediante la construcción de rejilla en el tronco del árbol. Se encontraron un total de 4140 LE distribuidos en 27 especies (La especie más abundante fue *Cladoniicola irregularis*, con 7.27%, seguida por *Arthonia microcarpa* 5.97%, *Collema nigrescens* 5.46%, *Roccella caribaea* 5.43% y *Leptogium phyllocarpum* 5.00%). En ISW de la biodiversidad evaluada, se encontró 2.98-3.13 (media y alta) la mayor fue en la zona 1 (Pueblo viejo). Por otro lado, en IPA se identificó una contaminación que oscila entre 38.9-46.3 que puede considerarse de moderada a en transición. Se concluye, En la ciudad de Lircay, se ha observado una variedad moderada de biodiversidad, con una amplia gama de especies. En cuanto a la calidad del aire, se registra una ligera contaminación, lo que indica niveles menores de polución en la ciudad.

Palabras clave: Calidad de aire; Contaminación; Líquenes epífitos; Índice de Shannon Wiener ISW; Índice de pureza atmosférica IPA

ABSTRACT

Lichens are used as bioindicators to assess atmospheric quality, because they obtain most of their nutrients from the air, they are very sensitive to impurities present in the atmosphere, such as sulfur dioxide, nitrogen oxides, carbon dioxide, and heavy metals. With the objective of determining air quality according to the atmospheric purity index by sampling epiphytic lichens in the main green areas of the city of Lircay, based on their richness and diversity of lichens. The study was carried out in the city of Lircay, Huancavelica-Peru, in five areas (Pueblo Viejo, Pampa, Santa Rosa, Bellavista and Virgen del Carmen), which represents an urban area with few or no sources of air pollution. The biodiversity of epiphytic lichens (LE) was determined using the Shannon Wiener Index (ISW) and the Atmospheric Purity Index (IPA) was obtained based on the number of LE species found. The identification of different LE species was carried out by constructing a grid on the tree trunk. A total of 4140 LE were found distributed in 27 species (The most abundant species was *Cladoniicola irregularis*, with 7.27%, followed by *Arthonia microcarpa* 5.97%, *Collema nigrescens* 5.46%, *Roccella caribaea* 5.43% and *Leptogium phyllocarpum* 5.00%). In ISW of the biodiversity evaluated, 2.98-3.13 (medium and high) was found, the highest was in zone 1 (Old Town). On the other hand, in IPA a contamination was identified that ranges between 38.9-46.3, which can be considered moderate to transition. It is concluded, in the city of Lircay, a moderate variety of biodiversity has been observed, with a wide range of species. Regarding air quality, slight contamination is recorded, which indicates lower levels of pollution in the city.

Key words: Air quality; Pollution; Epiphytic lichens; Shannon-Wiener index ISW; Atmospheric purity index IPA

RESUMO

Os líquenes são utilizados como bioindicadores para avaliar a qualidade atmosférica, pois obtêm a maior parte de seus nutrientes do ar, são muito sensíveis às impurezas presentes na atmosfera, como dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e metais pesados. Com o objetivo de determinar a qualidade do ar de acordo com o índice de pureza atmosférica por amostragem de líquenes epífitos nas principais áreas verdes da cidade de Lircay, com base na sua riqueza e diversidade de líquenes. O estudo foi realizado na cidade de Lircay, Huancavelica-Peru, em cinco áreas (Pueblo Viejo, Pampa, Santa Rosa, Bellavista e Virgen del Carmen), o que representa uma área urbana com poucas ou nenhuma fontes de poluição atmosférica. A biodiversidade de líquenes epífitos (LE) foi determinada através do Índice de Shannon Wiener (ISW) e o Índice de Pureza Atmosférica (IPA) foi obtido com base no número de espécies de LE encontradas. A identificação das diferentes espécies de LE foi realizada através da construção de uma grade no tronco da árvore. Foram encontrados 4.140 LE distribuídos em 27 espécies (a espécie mais abundante foi *Cladoniicola irregularis*, com 7,27%, seguida por *Arthonia microcarpa* 5,97%, *Collema nigrescens* 5,46%, *Roccella caribaea* 5,43% e *Leptogium phyllocarpum* 5,00%). No ISW da biodiversidade avaliada foi encontrado 2,98-3,13 (médio e alto), o maior foi na zona 1 (Cidade Velha). Por outro lado, no IPA foi identificada uma contaminação que varia entre 38,9-46,3, que pode ser considerada moderada a transição. Conclui-se que na cidade de Lircay foi observada uma moderada variedade de biodiversidade, com uma ampla gama de espécies. Em relação à qualidade do ar, registra-se leve contaminação, o que indica níveis mais baixos de poluição na cidade.

Palavras-chave: Qualidade do ar; Poluição; Líquenes epífitos; Índice Shannon Wiener ISW; índice de pureza atmosférica IPA

INTRODUCCIÓN

El aire es uno de los cuatro elementos importantes para el desarrollo de la vida; sin él, la existencia de los seres humanos, la flora, fauna y otros organismos sería imposible. La calidad del aire se refiere a la pureza del ambiente atmosférico, libre de contaminantes, estos pueden ser de origen natural o antropogénico, y su presencia puede afectar directa o indirectamente la salud y los ecosistemas (1). La contaminación del aire es la alteración no deseada del ambiente causada por agentes físicos, químicos, biológicos y naturales, lo que perturba el equilibrio de los ecosistemas y afecta la salud humana (2). La emisión de sustancias peligrosas al aire constituye uno de los problemas ambientales más graves a nivel mundial, ya que afecta la calidad de aire, la salud humana y el equilibrio de los ecosistemas (3).

Las principales fuentes de contaminación del aire son los parques automotores, las fuentes fijas, las fuentes de área y las fuentes naturales, estas emisiones contribuyen al deterioro de la calidad del aire en las ciudades (4). Los efectos de la contaminación del aire en la salud humana se asocian con el incremento de infecciones respiratorias, enfermedades cardíacas, accidentes cerebrovasculares y cáncer de pulmón (5). Los principales contaminantes provienen de procesos industriales, metalúrgicas, vehículos automotores, entre otros contaminantes (2,6). La Ley N° 28611- Ley general del ambiente en su Artículo 118 menciona sobre la protección de la calidad

del aire, los responsables a tomar medidas para prevenir, vigilar y controlar el ambiente y la salud pública, priorizando las áreas con niveles de contaminación alarmantes son las autoridades públicas privadas (7).

La Organización Mundial de la Salud informa que Perú encabeza la lista de países sudamericanos con la peor calidad del aire, superando en más de cinco veces las recomendaciones de la OMS, con un promedio de 31 microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), según un estudio presentado. El aumento de las fuentes de contaminación, tanto móvil como fija, se atribuye al crecimiento poblacional de nuestras ciudades. Por otro lado, según el informe mundial sobre la calidad del aire en 2021 de IQAir, una empresa privada, Perú presenta la peor calidad del aire en América Latina, ubicándose en el puesto 26 de 117 países, con un promedio de $29.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Conscientes de la importancia que representa contar con un aire puro para la sobrevivencia de los ecosistemas de la Tierra, muchos científicos a nivel mundial emplean diversas técnicas para monitorear su calidad y poder determinar así los niveles de las sustancias nocivas, como elementos y metales pesados (Al, As, B, Cd, Ca, Cr, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Hg, Ni, P, K, Na, S y Zn) que alteran su calidad y composición. Las técnicas más comunes para monitorear la calidad del aire son las que emplean a los seres vivos como bioindicadores, pues a través de ellos se logra determinar la calidad de los

ambientes terrestres y como bioacumuladores, al medir cuantitativamente la concentración de una sustancia. Los más usados son los líquenes (8).

La observación de los cambios en el comportamiento de los líquenes, puede dar un indicio de la calidad para valorar el estado de contaminación del aire de un área específica, pues ellos responden con cambios de su estado biológico ante ciertos niveles de contaminantes, ya que los líquenes son hongos liquenizados del reino Fungi que pueden colonizar cualquier tipo de ambiente, desde altas montañas hasta desiertos, debido a su asociación mutualista son especies sensibles o resistentes ante los grados de contaminación atmosférica. Cuando la contaminación aumenta se produce un cambio de las especies sensibles que son sustituidas por especies tolerantes. Si el grado de contaminación es elevado entonces se produce el descenso o desaparición incluso de las especies tolerantes (9).

Este comportamiento del líquen se debe a las siguientes características, presencia de un talo perenne que carece de cutícula que lo cubra, esto hace que su superficie quede expuesta al aire y permita el paso libre de líquidos y gases durante toda su vida (10); la ausencia de una relación nutricional dependiente del sustrato o de sus elementos (11); sus requerimientos ecológicos son mínimos y precisos (12); No poseen aparato excretor ni mecanismos de defensa, por lo tanto, son sensibles a los cambios ambientales y Son poiquilohidros, por lo que son

capaces de concentrar (13) y acumular en su talo distintos compuestos, como los contaminantes atmosféricos que se presentan en soluciones muy diluidas (14).

Se pueden utilizar de dos formas como bioindicador el cual consiste en el mapeo o cartografía de todas las especies de líquenes presentes en un área específica que manifiestan síntomas particulares en respuesta a los cambios ambientales; en la práctica, lo que se mide son las respuestas indirectas a la emisión de contaminantes, que se manifiestan por la presencia o ausencia de las especies de líquenes, su número, la frecuencia de aparición, la cobertura y los síntomas de daños externos o internos, sin determinar el origen o tipo de contaminante; mientras que, la bioacumulación está basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los líquenes cuando acumulan sustancias particulares dentro de sus tejidos, cuyas concentraciones se determinan mediante métodos químicos. Consiste en el muestreo individual de las especies liquenáceas y la medición de los contaminantes acumulados en sus talos (15). Las razones anteriores son las que se han considerado para emplear y seguir utilizando los líquenes como monitores de la calidad del aire del Distrito de Lircay y Provincia de Angaraes, de la región de Huancavelica, Perú.

Es por ello, que, en la actualidad, los automotores y las fuentes fijas como chimeneas están aumentando a gran escala en la ciudad de Lircay, convirtiéndose en las principales fuentes

de contaminación atmosférica. La contaminación del aire por partículas suspendidas es la principal amenaza para la salud humana como para los ecosistemas terrestres y acuáticos. El estudio de calidad de aire es importante en la ciudad de Lircay para mitigar la contaminación. Sin embargo, no existe estudios de calidad de aire en la región de Huancavelica. El objetivo de esta investigación fue determinar la calidad de aire según el índice de pureza atmosférica mediante el muestreo de líquenes epifitos en las principales áreas verdes de la ciudad de Lircay, en función a su riqueza y diversidad de líquenes

MATERIALES Y MÉTODOS

Ámbito de estudio

El estudio se llevó a cabo en cinco zonas: Pueblo Viejo, Pampa, Santa Rosa, Bellavista y Virgen del Carmen, ubicados en el Distrito de Lircay y Provincia de Angaraes, de la región de Huancavelica, Perú. A una altitud de 3 288 metros sobre el nivel del mar (msnm), con temperaturas medias anuales que oscilan entre 6-18°C.

Numero de arboles

Para el estudio se tomaron 50 árboles con presencia de líquenes epifitos, los mismos fueron agrupados en cinco zonas de muestreo (10 árboles por zona). Para los cual se consideró como mínimo 5 árboles de la misma especie en cada zona. Donde se seleccionaron individuos representativos de la cobertura de líquenes que

existe en cada zona, sin escoger los que presentan el tronco completamente desnudo y aquellos individuos con más cobertura líquénica de toda el área. Para determinar la cantidad de árboles a ser muestreados, se consideró el muestreo no probabilístico de tipo intencional. Como criterio de inclusión se consideraron árboles con tronco entre 20 y 40 centímetros (cm).

Características de los árboles de muestreo

Para garantizar una toma de datos estandarizada, los individuos seleccionados para los inventarios cumplan con ciertos requisitos específicos. Cada árbol seleccionado debe tener un diámetro de tronco que oscile entre 20 y 40 cm, lo que equivale a un perímetro de aproximadamente 60 a 120 cm. Este rango garantiza que los individuos sean de una edad similar. La inclinación del tronco no debe superar los 20 grados con respecto a la vertical. Los árboles elegidos deben estar lo suficientemente alejados de carreteras con tráfico significativo. Además, estos árboles seleccionados no deben formar parte de agrupaciones arbóreas demasiado densas y deben estar en buen estado de salud y sin rebrotes en la base ni en el tronco.

Toma de muestra

Después de construir la rejilla, se la posiciona sobre el tronco del árbol elegido, en la superficie con la mayor presencia de líquenes. El punto central de la gradilla se ubica en el área con la

máxima cobertura liquénica, asegurándose de que la distancia al suelo sea de al menos 120 cm. Las esquinas de la rejilla se fijan al tronco del árbol con chinchetas para mantener la forma de los 10 sub cuadros en los que está dividida, según la metodología usada por (16). Asimismo, se utilizó la navaja para recolectar muestras de LE y guardada en papel de aluminio, al mismo tiempo fue almacenado en coolers y transportado las muestras obtenidas para su evaluación, con finalidad de identificar su morfología macroscópica de acuerdo (16), haciendo uso la guía del campo de líquenes y musgos (17).

Conteo de las frecuencias de cada especie de liquen

Para cada especie de liquen epífita identificada, se registró el número de subcuadros en los cuales se encuentra presente al menos una vez, y este valor representa su frecuencia. Los cuales toman valores 0 y 10, donde 0 indica que la especie no está presente en el área de inventario y 10 indica que la especie está presente en los 10 subcuadros del área del inventario.

Cálculo del ISW

El índice de Shannon-Wiener. Este contempla la cantidad de especies en un área de estudio (cuantos individuos por especie) (17, 18).

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

Donde:

S: El número de especies (la riqueza de especies) se define como; la proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos, es decir la abundancia relativa de la especie i $\frac{n_i}{N}$
 p_i ; número de individuos de la especie i se define como número de todos los individuos de todas las especies N .

Tabla 1. Índice de Shannon-Wiener (ISW)

Rangos del ISW	Clasificación
0.5 – 1.1	Diversidad muy baja
1.1 – 1.9	Diversidad baja
1.9 – 3.1	Diversidad media
3.1 - 5	Diversidad alta

Fuente: (19)

Cálculo del IPA

Después de obtener la Tabla que muestra la frecuencia de las especies presentes en cada inventario, se determina el cálculo del IPA del inventario mediante la utilización de la siguiente fórmula se define como:

$$IPA = \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{5}$$

Donde:

IPA: Índice de pureza atmosférica

F_i = frecuencia de la especie “ i ”;

n =Número de especies de líquenes del inventario;

5: es el número mínimo de árboles sobre los que se realiza el inventario en una localidad dada

En la Tabla 2 aparecen los rangos según niveles de contaminación (20).

Tabla 2. Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

Rangos del IPA	Clasificación
0-3	Contaminación máxima
3-12	Contaminación aguda
12-40	Contaminación media
40-78	Contaminación moderada
78-114	Zona transición
> 114	Sin contaminación

Fuente: (21)

Análisis estadístico

La investigación fue de tipo aplicada y observacional. Para el procesamiento de análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico Statistical Package for The Social Sciences (SPSS) versión 27.0 (22), con intervalo de confianza al 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los cambios en composición de las comunidades de líquenes son determinadas por el inventario realizado según la identificación, aspecto que se muestran en la Tabla 3, donde se encontraron 27 especies de LE identificadas en las cinco zonas de muestreo, siendo el número 3 (Santa rosa) la de mayor registro de líquenes, superando en 78, 139, 278 y 355 las zonas 2 (Pampa), 1 (Pueblo Viejo), 5 (Virgen del carmen)

y 4 (Bellavista). Las especies con más elevado registro superiores al 5 % fueron según orden descendiente *Cladoniicola irregularis*, *Arthonia microcarpa*, *Collema nigrescens*, *Rocella caribaea* y *Leptogium phyllocarpum* de 5.00%. La elevada diversidad de especies y cantidad de líquenes (4140) encontrados en las zonas es un indicador de la baja contaminación atmosférica. Lo que confirma que estos organismos son altamente sensibles a la contaminación, y su abundancia suele relacionarse con aire limpio y saludable. Además, las especies de menor presencia fueron *Rimelia reticulata* y *Psoroma hypnorum* con proporciones inferiores al 2 %. Lo cual puede estar ligado a las características específicas y exigencias y tolerancia de estas especies a las condiciones del clima y vegetación es decir cambios climáticos drásticos, deforestación o degradación del suelo. Resultados que coinciden con las especies identificados por Medrano (23) en Huancavelica quien encontró líquenes *Xanthoria polycarpa*, *Flavoparmelia carperata*, *Candelario concolor*, *Collema nigrescens*, *Cladia aggregata*, *Parmotrema latissimum*, *Leptogium phyllocarpum* y *Xanthoria polycarpa*. Donde ratifican que los LE constituyen un sensor natural eficiente, además de ser un bioindicador sin costes económico adicionales para emplearse en la vigilancia de la contaminación atmosférica.

Tabla 3. Identificación de especies por zonas de la ciudad de Lircay - Huancavelica

N°	Líquenes	Pueblo Viejo	Pampa	Santa rosa	Bellavista	Virgen del Carmen	Total	Porcentaje (%)
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5		
1	<i>Acarospora nodulosa</i>	26	62	63	8	23	182	4.40
2	<i>Anaptychia setifera</i>	34	10	83	10	23	160	3.86
3	<i>Arthonia microcarpa</i>	83	15	73	54	22	247	5.97
4	<i>Buellia aethalea</i>	34	21	46	24	14	139	3.36
5	<i>Candelaria concolor</i>	63	79	12	16	11	181	4.37
6	<i>Cladia aggregata</i>	25	15	13	11	23	87	2.10
7	<i>Cladonia perforata</i>	31	64	8	16	45	164	3.96
8	<i>Cladoniicola irregularis</i>	52	87	5	83	74	301	7.27
9	<i>Coccocarpia palmicola</i>	24	27	5	27	78	161	3.89
10	<i>Collema fuscovirens</i>	34	13	35	11	34	127	3.07
11	<i>Collema nigrescens</i>	59	24	44	56	43	226	5.46
12	<i>Evernia prunastri</i>	46	12	7	34	24	123	2.97
13	<i>Flavoparmelia caperata</i>	38	32	35	10	21	136	3.29
14	<i>Leptogium phyllocarpum</i>	15	73	93	3	23	207	5.00
15	<i>Myriotrema glaucophaenum</i>	27	27	16	13	11	94	2.27
16	<i>Myriotrema squamuloides</i>	22	56	32	48	13	171	4.13
17	<i>Parmelia carperata</i>	23	44	40	63	11	181	4.37
18	<i>Parmotrema latissimum</i>	14	45	5	7	14	85	2.05
19	<i>Physcia</i>	75	11	34	11	48	179	4.32
20	<i>Porpidia speirea</i>	8	67	51	13	24	163	3.94
21	<i>Psoroma hypnorum</i>	18	11	8	16	11	64	1.55
22	<i>Rimelia reticulata</i>	12	2	10	9	45	78	1.88
23	<i>Roccella caribaea</i>	23	83	73	24	22	225	5.43
24	<i>Sticta canariensis</i>	11	8	63	16	12	110	2.66
25	<i>Teloschistes exilis</i>	17	24	44	43	16	144	3.48
26	<i>Teloschistes flavicans</i>	11	3	63	9	12	98	2.37
27	<i>Xanthoria polycarpa</i>	34	5	37	8	23	107	2.58
Total		859	920	998	643	720	4140	100.00

En cuanto al comportamiento del índice de Biodiversidad específica de especies en los ecosistemas de ciudad de Lircay según Índices Shannon-Wiener Figura 1, estos resultados se establecieron según los rangos establecidos según Livia (19) tabla 1, de la clasificación por número de especies; las zonas 1, 3 y 5 (Pueblo Viejo, Santa

rosa y Virgen del carmen) presentaron índices de biodiversidad superiores a 3 (alta); mientras que, para la Pampa y Bellavista (zonas 2 y 4) estuvieron en el rango de 2.9-3 (media), los resultados que indican que una diversidad de especie media y alta según el ISW indica baja significación de aislamiento de la diversidad ecológica causado

por automotores, fuentes fijas, cambio climático, urbanización y la actividad humana además indica una ciudad saludable. Situación que concuerda con lo descrito por otros autores Cortés (24) en México quien encontró ISW de 1.94. Buendía (25) obtuvieron un ÍSW que oscilo entre 0.71 a 1.53. Flores (26), encontraron prevalencia de ÍSW superiores a 1.78, y el más bajo de 0.83-1.10. Los

resultados obtenidos en la actual investigación fueron inferiores a los reportados por Araujo (27) en Bolivia, quien registró ÍSW que oscila entre 3.34-3.80 representado a un buen grado de biodiversidad. Moreno (28) encontró diversidad de ISW de 3.81 en varzea y en tierra firme de 3.78. Por su parte, Flores (26) en México encontraron prevalencia del ÍSW de 2.40.

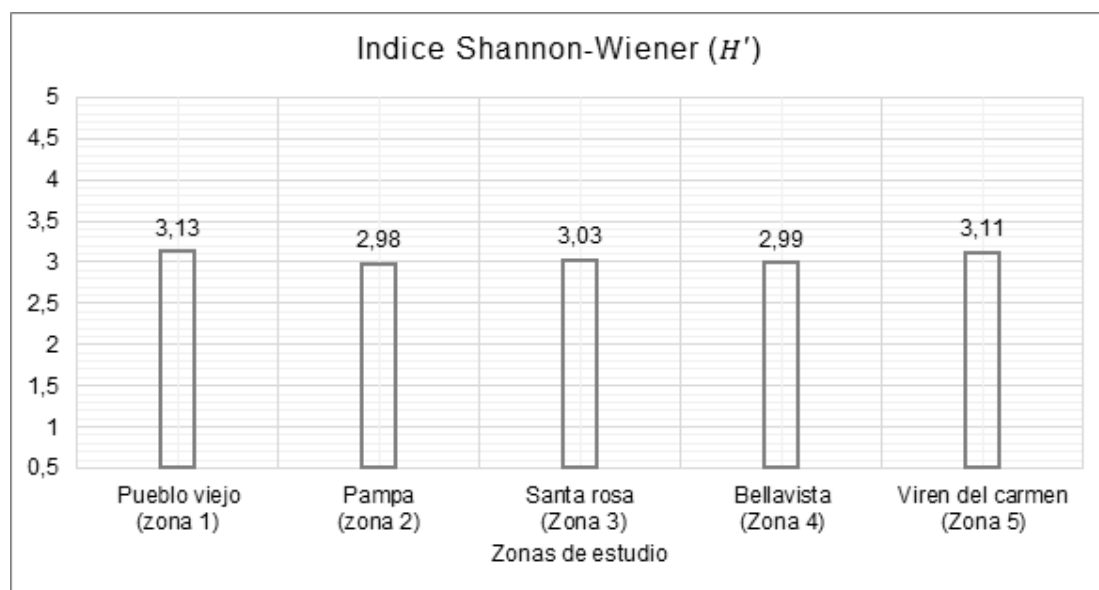


Figura 1. Biodiversidad específica de especies en los ecosistemas de ciudad de Lircay.

Los resultados del Índice de Pureza Atmosférica expuestos Figura 2, estos resultados obtenidos por zonas de estudio fueron establecidos de acuerdo a LeBlanc (21), Tabla 2 de la clasificación de nivel contaminación, donde se mantuvo un comportamiento similar al encontrado en el índice de biodiversidad, con las zonas 1, 3 y 5 (Pueblo Viejo, Santa Rosa y Virgen del Carmen) presentaron índices superiores a 44 (contaminación moderada); mientras que, para la Pampa y Bellavista (zonas 2

y 4) estuvieron en el rango de 37-38 (media), el cual indica una situación en la que la calidad del aire está comprometida y puede causar molestias y efectos adversos en la salud, especialmente en personas sensibles, aunque los riesgos no son tan graves. Los resultados concuerdan con Alvarez (29) en Perú, encontró líquenes que oscilaron entre 12.15 a 31.50. Magan (30) en Colombia encontró IPA de 34.02. En Bolivia, según el estudio realizado por Cohn (31), se observaron niveles de IPA más bajos con un valor de 14.5, indicando un nivel de

contaminación alto. Por su parte, Valdivia (32) encontraron valores que oscilan entre 11.8-12.6 y 26.8 .28.6. Mientras que, Fernando (33) identificó valores de IPA que oscila entre 4.5 a 25.5 a lo largo del corredor metropolitano, indicando diversos niveles de contaminación del aire.

Los resultados encontrados en las zonas 1, 3 y 5 indica que es una zona de contaminación moderada, lo que sugiere una situación donde la calidad del aire se encuentra en fase intermedia que puede necesitar monitoreo continuo, sin contaminación, lo que muestra que el aire es limpio

y no existe ningún riesgo para la salud y medio ambiente. Resultados encontrados en la actual investigación son superiores a los encontrados por Magan (30) en Jain, Perú con IPA=0.2. Fernando (33) reportó IPA=5.66. Magan (30) en Colombia, en las estaciones de los Parques Santander y Semáforos con solo dos especies Heterodermia albicans y Lobariaceae sp reportadas. Por su parte, Valdivia (32) notificó prevalencia de IPA= 6.4, lo que sugiere que en estas zonas de requiere acciones urgentes para reducir las emisiones contaminantes y proteger la salud pública y medio ambiente.

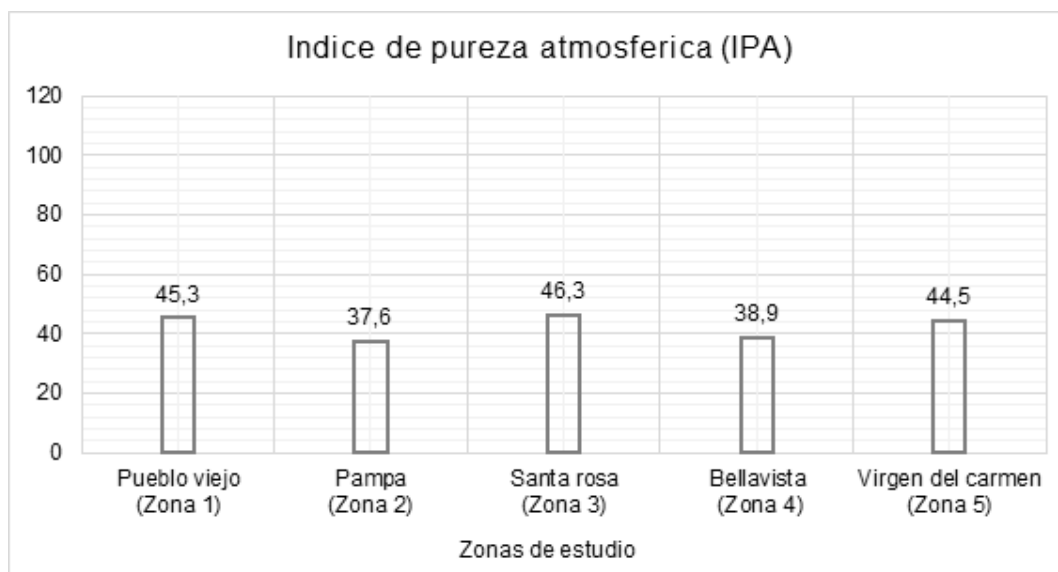


Figura 2. Evaluación de la contaminación de atmosférica en la ciudad de Lircay.

CONCLUSIONES

Con las metodologías aplicadas lograron delimitar cinco zonas de monitoreo; se identificaron veinte siete LE, siendo las especies *Cladoniicola irregularis*, *Arthonia microcarpa*, *Collema nigrescens*, *Roccella caribaea* y *Leptogium*

phyllocarpum las que presentaron mayor abundancia.

En cuanto al análisis del ISW, las zonas con mayor diversidad fueron las zonas uno (Pueblo Viejo), tres (Santa rosa), y cinco (Virgen del Carmen) catalogadas como alta, aunque existe

influencia ligera del tráfico vehicular y fuentes de contaminación fijas.

Los Índice de Pureza Atmosférica (IPA), se identificaron zonas con diferentes niveles de contaminación. La zona dos, correspondiente a Pampa, y cuatro Bellavistas, presentaron niveles de contaminación media. Mientras que, se observó que la zona uno (Pueblo Viejo), tres (Santa Rosa) y cinco (Virgen del Carmen), mostraron niveles de contaminación moderada. En ambos casos, se evidenció una baja influencia vehicular y fuentes fijas. Además, se encontró una ligera abundancia de diversidad y frecuencia líquénica en las zonas analizadas.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaramos que no existe ningún conflicto de intereses para la publicación del presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bermudes C. Gestión de la calidad del aire Causas, Efectos y Soluciones. Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial-UNMSM. 1ra. Edición. 2004. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bivirtualdata/libros/mambiente/gest_cal/pdf/t_completo.pdf
- Romero M, Diego F, Álvarez M. La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Rev Cuba. Hig Epidemiol.* 2006; 44(2): 1-12. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000200008&lng=es.
- Yassi A, Kjellstrom T, Kok de Theo, Guidotti T. *Salud Ambiental Básico*; 2002.
- Perú. Ministerio del Ambiente (MINAM). Informe nacional de la calidad del aire 2013-2014. San Isidro Lima, Perú; 2016. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>
- Ochoa D, Cueva A, Prieto M, Aragón G, Benitez Á. Changes in the epiphytic lichen composition related with air quality in the city of Loja (Ecuador). *Caldasia.* 2015; 37 (2): 333–343. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v37n2.53867>
- Correa M. Vélez L. Saldarriaga J, Jaramillo M. Evaluation of the Index of Atmospheric Purity in an American tropical valley through the sampling of corticolous lichens in different phorophyte species. *Ecol. Indic;* 2020; 115: 106–355. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106355>
- Perú. Ministerio del Ambiente (MINAM). Ley general del ambiente. San Isidro Lima, Perú; 2017.
- Valdivia D, Iannacone J. Líquenes como medio de evaluación ambiental–aplicaciones del índice de pureza atmosférica (IPA). *Biotempo.* 2020; 19 (1): 101-108, <https://doi.org/10.31381/biotempo.v19i1.4797>
- De Gea A, Pérez Ortega S. Liguency: Busca líquenes urbanitos y conoce la calidad del aire de tu ciudad. *Conservación Vegetal.* 2020; 24: 42-45, <https://revistas.uam.es/conservacionvegetal/article/view/13592>
- Jiménez M. Bioindicadores de la contaminación atmosférica. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide.* 2020; 39 (1): 1-5. <https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero39/Destacado-2.pdf>
- Correa L, Vélez C, Saldarriaga J, Jaramillo M. Evaluation of the Index of Atmospheric Purity in an American tropical valley through the sampling of corticolous lichens in different phorophyte species. *Ecological Indicators.* 2020; 115: 106355. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106355>
- Ellis C, Steadman C, Vieno M, Chatterjee S, Jones M, Negi S. Estimating nitrogen risk to Himalayan forests using thresholds for lichen bioindicators. *Biological Conservation.* 2022; 265: 109401. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109401>

- 13.** Correa M, Vélez L, Saldarriaga J. Spatial distribution of lichen communities and air pollution mapping in a tropical city: Medellín, Colombia. *Revista de Biología Tropical*. 2021; 69: 1107-1123. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i3.46934>
- 14.** Bocanegra M, Cano Y, Herrera A, Nieto-Vera M, Lombo Y, Rincón Y. Briofitos y líquenes como bioindicadores de contaminación del aire en sede barcelona y sede san antonio de la universidad de los llanos, villavicencio, meta. Universidad de Barcelona; 2022. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/11540?locale=en>
- 15.** Valladares Y, Valladares N, Valladares M. Calidad del aire de la ciudad de Danlí, Honduras a partir del uso de líquenes como indicadores de la polución atmosférica durante julio de 2019. Dirección de Educación Superior Universidad Nacional Autónoma de Honduras Ciudad Universitaria “José Trinidad Reyes, Honduras; 2019. <https://n9.cl/jpym0>
- 16.** Palomino R. Evaluación de la calidad del aire mediante líquenes como bioindicadores ambientales en la ciudad de Ilo, 2020, Universidad Privada de Tacna, Perú; 2020. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1700>
- 17.** Claudia M. Métodos para medir la biodiversidad, Primera. México; 2001.
- 18.** Quijano M, Ramírez D, Domínguez M, Londoño J. Lichens as biosensors for the evaluation of urban and sub-urban air pollution in a tropical mountain valley, Rionegro, Antioquia. *Bionatura*. 2021; 6(1):1501–1509, <https://doi.org/10.21931/RB/2021.06.01.10>
- 19.** 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. Universidad Nacional de Jaén; 2019. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNJA_2d494f58c3c2cec5ba74ae0328e5ac2c/Details
- 20.** Tobergte D, Curtis S. Procesamiento de Datos y Análisis Estadístico usando SPSS. 2013, 53(9): 1-18. https://www.researchgate.net/publication/261704346_Procesamiento_de_datos_y_analisis_estadisticos_utilizando_SPSS_Un_libro_practico_para_investigadores_y_administradores_educativos
- 21.** LeBlanc F, De Sloover J. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal Botany*. 1970; 48: 1485–1496. <https://doi.org/10.1139/b70-224>
- 22.** Yapuchura L. Identificación de líquenes como bioindicadores de contaminación de la atmósfera por origen de actividades antrópicas en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica - Provincia de Huancavelica, Perú; 2018. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/4af0c27a-56ca-428f-aa02-00cd26dc9b45>
- 23.** Medrano M, Javier F, Corral S, Nájera J. Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango. *Rev. Mex. Ciencias For*. 2017; 8 (40): 57–68, <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i40.36>
- 24.** Cortés B, Gárate J D. Diversidad biológica de ciempies en surutato Badiraguato. *Sinaloa*. 2017; 300: 23–26.
- 25.** Buendía E, Treviño E J, Alanís E, Aguirre O, González M, Pompa M. Structure of a forest ecosystem and its relationship with the carbon stock in Northeastern Mexico. *Rev. Mex. Ciencias For*. 2019; 10(54) 1-15. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.149>
- 26.** Flores S. Relevamiento de flora del área protegida Bosque de Bolognia para la obtención de un índice de diversidad Shannon Wiener a través de una aplicación móvil. *Rev. Difusión Cult. y científica la Univ. La Salle en Bolivia*. 2019; 17(17): 215–238. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2071-081X2019000100011&script=sci_abstract
- 27.** Araujo A, Milliken W, Klitgaard B, Carrion A, Vargas S, Parada Arias. Diversidad, estructura y composición florística de los bosques de tierra firme y várzea en el oeste de Pando, Bolivia. *Ecología en Bolivia*. 2021; 56(2):78-90. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282021000200003

- 28.** Moreno C. Métodos para medir la biodiversidad. España, 2000.
- 29.** Alvarez A, Ordoñez P, Soto E. Determinación de la calidad del aire por medio de líquenes como bioindicadores en el área urbana del municipio de Tuluá, Valle del Cauca. *Rev. Ciencias.* 2022; 24 (2):1–17. <https://doi.org/10.25100/rc.v24i2.10528>
- 30.** Magan K, Mau R, Contreras L. Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la Comunidad Nativa Shawan Rama, San Ramón (Perú). *Yotantsipanko.* 2022; 2(2): 34–47. <https://doi.org/10.54288/yotantsipanko.v2i2.20>
- 31.** Cohn G, Quezada M. Líquenes como bioindicadores de contaminación aérea en el corredor metropolitano de la ciudad de Guatemala. *Rev. Científica.* 2016; 26(1): 20–39, <https://doi.org/10.54495/rev.cientifica.v26i1.79>
- 32.** Valdivia D, Ramírez Á. Use of Lichens As Bioindicator of Air Pollution in Environmental Liabilities Santo Toribio, Ancash, Peru. *Biol.* 2018; 6 (2): 77–95. <https://doi.org/10.24039/rtb2018161223>
- 33.** Fernando D, Simijaca D, Vargas M, Morales M. Uso de organismos vegetales no vasculares como indicadores de contaminación atmosférica urbana (Tunja, Boyacá, Colombia). *Acta Biol. Colomb.* 2014; 19 (2): 221–232. <https://www.redalyc.org/pdf/3190/319030502010.pdf>