



Evaluación de la calidad de aire mediante el índice de pureza atmosférica usando líquenes epífitos

Evaluation of air quality through the Atmospheric Purity Index using epiphytic lichens

Quinto M. Greiss J.¹ • Quispe S. Pamela¹ • Dueñas J. Carlos¹

Recibido: 28 de Junio del 2024 / Aceptado: 12 de Diciembre del 2024

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo 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 Huancavelica, identificadas en 12 zonas, en función a la identificación de la diversidad de líquenes; siendo considerada una investigación aplicada de nivel descriptivo con un método de investigación cuantitativo, así mismo el diseño de investigación es no experimental tipo transversal descriptivo y se usó el tipo de muestreo no probabilística de tipo intencional, utilizando el método Shannon-Wiener para determinar la diversidad de líquenes. Teniendo como resultado de calidad del aire según el Índice de Pureza Atmosférica que los valores se encuentran en los rangos de contaminación de media a máxima. Las especies liquénicas epífitas identificadas en los líquenes fueron las siguientes: Physconia Distorta, Candelariella Xanthostigma, Parmelia Subrudecta, Lepraria Incana, Chrysotrichia Candelaris, Physcia Stellaris, Xanthoria Polycarpa, Physconia Grisea, Parmelia Sulcata, Hypogymnia Physodes, Placynthium Nigrum, Physcia Caesia y Vulpicida Pinastri. Asimismo, se obtuvo valores inferiores en el rango de 1.1 – 1.9 en el Índice de Shannon-Wiener, concluyendo que las zonas de muestreo presentan baja a media diversidad de líquenes. Finalmente, se determinó el Índice de Pureza Atmosférica, mostrando que las zonas Z2, Z3 Y Z9 expresan contaminación máxima con valores entre el rango de 0-3, y las zonas: Z1, Z8 Y Z10 identificadas como zona de transición con valores de 78-114.

Palabras clave: Líquenes, calidad de aire, contaminación, Índice de Pureza Atmosférica, Índice de Shannon Wiener.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the air quality according to the Atmospheric Purity Index by sampling epiphytic lichens in the main green areas of the city of Huancavelica, identified in 12 areas, based on the identification of lichen diversity; Being considered an applied research of a descriptive level with a quantitative research method, likewise the research design is non-experimental, descriptive cross-sectional type and the type of intentional non-probabilistic sampling was used, using the Shannon-Wiener method to determine diversity. of lichens. The result of air quality according to the Atmospheric Purity Index is that the values are in the medium to maximum pollution ranges. The epiphytic lichen species identified in the lichens were the following: Physconia Distorta, Candelariella Xanthostigma, Parmelia Subrudecta, Lepraria Incana, Chrysotrichia Candelaris, Physcia Stellaris, Pinastri . Likewise, lower values in the range of 1.1 – 1.9 were obtained in the Shannon-Wiener Index, concluding that the sampling areas have low to medium diversity of lichens. Finally, the Atmospheric Purity Index was determined, showing that zones Z2, Z3 and Z9 express maximum contamination with values between the range of 0-3, and zones: Z1, Z8 and Z10 identified as a transition zone with values of 78. -114.

Keywords: Lichens, air quality, pollution, Atmospheric Purity Index, Shannon Wiener Index.

1. INTRODUCCIÓN

✉ Quinto M. Greiss J.
2018161034@unh.edu.pe

¹ Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

El problema ambiental más importante es la contaminación del aire como resultado de las actividades antropogénicas como los principales impulsores de las emisiones de contaminantes atmosféricos y se suman a las fuentes preexistentes de emisiones naturales (Amann et al., 2020). Según Smith (2018), "Las actividades industriales y la combustión de combustibles fósiles son las principales fuentes antropogénicas de contaminación del aire" (p. 45). Asimismo, Las prácticas agrícolas, como el uso de fertilizantes y pesticidas, también contribuyen a la contaminación del aire (Jones & Brown, 2019).

La contaminación del aire tiene graves consecuencias para la salud humana y el medio ambiente. Según un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020), la exposición a la contaminación del aire está asociada con un aumento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Además, la contaminación del aire tiene efectos negativos sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos. Por ejemplo, puede afectar la biodiversidad y provocar la acidificación de los suelos y cuerpos de agua (García et al., 2017).

Según el Informe Mundial sobre la Calidad del Aire 2021 de la empresa privada IQAir, el Perú tiene la calidad del aire más baja de América Latina. Es así que nuestro país se ubica en el lugar 26 (con 29.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de 117 países. Del mismo modo, Organización Mundial de la Salud (2023) emitió un informe donde señala que el Perú lidera la lista de países suramericanos con peor calidad del aire, superando en más de 5

veces las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud con 31 microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) según recoge un estudio presentado.

De acuerdo a Hagan et al. (2015), Huancavelica sigue siendo una de las áreas urbanas más contaminadas por el mercurio en el mundo. Es así que, año siguiente a la publicación de Hagan et al. (2015), el Ministerio del Ambiente (2016) considera a la ciudad de Huancavelica como Zona de Alta Prioridad (ZAP). Pero, evaluar y cuantificar el aumento o disminución de los contaminantes es usualmente complicado debido a los altos costos que demanda el monitoreo. En ese sentido, se planteó el uso del Índice de Pureza atmosférica para determinar la calidad de aire en la ciudad de Huancavelica, haciendo uso de líquenes, siendo una opción recomendada para biomonitoring, ya que son sensibles a los cambios graduales o bruscos de la calidad de aire, afectando la presencia o abundancia de líquenes, así como sus procesos fisiológicos (Kricke & Loppi, 2002).

En tal sentido, los objetivos del estudio fueron: Identificar líquenes epífitos, determinar el Índice de Shannon - Wiener y determinar la calidad de aire mediante el índice de Pureza Atmosférica. Debido a los antecedentes de la ciudad de Huancavelica, se esperó obtener resultados positivos en cuanto a calidad de aire, sin embargo, de acuerdo al Índice de Pureza Atmosférica el aire de la ciudad se encuentra en un rango de contaminación media a máxima.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un diagnóstico situacional de la población de árboles en la ciudad para posteriormente determinar las muestras a través del tipo de muestreo seleccionado, siendo seleccionados 12 zonas de muestreo ubicados en las principales áreas verdes de la ciudad de Huancavelica de los cuales se extrajeron sus coordenadas con la ayuda de un GPS.

Tabla N° 1

Coordenadas de las 12 zonas de muestreo ubicadas en las principales áreas verdes

Nº	Zona de muestreo	Latitud	Longitud
1	Plaza de San Cristóbal	503114.00	8587024.00
2	Psjc- Pedregales- Santa Ana	503802.00	8586727.00
3	Plaza de Santa Ana	503376.00	8586572.00
4	Malecón Santa Rosa I	503268.00	8586634.00
5	Ovalo Augusto B. Leguía	503725.00	8586573.00
6	Cabalgata	503171.00	8586298.00
7	Parque Andrés Avelino Cáceres	501617.00	8586551.00
8	Malecón Santa Rosa II	503068.00	8586693.00
9	Parque 08 de setiembre	503315.00	8586410.00
10	Parque Santa Rosa	502802.00	8586309.00
11	Av. Augusto B. Leguía- Altura de la I.E.Pepín	502994.00	8586217.00
12	Plaza de Armas	502919.00	8586386.00

Seguidamente, de acuerdo al muestreo no probabilístico de tipo intencional, se seleccionó a 60 forófitos, eligiendo árboles con un perímetro menor de 50 centímetros y con una corteza rugosa, sin considerar la especie, de acuerdo al criterio de uniformidad en la selección del uso de forófitos para la aplicación del Índice de Pureza Atmosférica según (Correa et al., 2020) teniendo en cuenta la posibilidad de usar una muestra heterogénea de forófitos.

En cada zona de muestreo, se aplicó cartografía de líquenes, para ello se usó la rejilla liquenológica de 20cm de ancho por 50cm de alto, dividida en 10 cuadrados iguales de 10cm x 10cm de lado, a una altura mínima de 1,00 m hasta 1,50 m. de cada forófito, de acuerdo a la metodología empleada (Canseco et al., 2006). Los parámetros obtenidos de cada forófito fueron frecuencia, cobertura y riqueza, los cuales fueron registrados en la ficha de campo. Para la identificación de especies de líquenes, con ayuda de una navaja se extrajo muestras de líquenes en sobres de papel para almacenarlos y transportarlos sin contaminarlos según (Quijano Abril et al., 2021), para posteriormente ser identificados por su

morfología macroscópica de acuerdo a Palomino Quispe (2020), haciendo uso de la Guía de Campo de Líquenes y Musgos de (Wirth et al., 2004).

Para el procesamiento de datos se usó el programa Excel, asimismo el programa estadístico SPSS versión 27.0 (Statistical Package for The Social Sciences).

3. RESULTADOS

Las especies de líquenes encontradas en cada zona de muestreo, estas son: *Physconia Distorta*, *Candelariella Xanthostigma*, *Parmelia Subrudecta*, *Lepraria Incana*, *Chrysothrix Candelaris*, *Physcia Stellaris*, *Xanthoria Polycarpa*, *Physconia Grisea*, *Parmelia Sulcata*, *Hypogymnia Physodes*, *Placynthium Nigrum*, *Physcia Caesia* y *Vulpicida Pinastri*. Siendo un total de 13 especies encontradas en las zonas de muestreo ubicadas dentro del casco urbano de la ciudad de Huancavelica, sin contar el distrito de Ascensión. Se muestra que en la zona de muestreo 10 se ha identificado un total de 10 especies, siendo la zona con mayor presencia de especies liquénicas, mientras que en la zona de

muestreo 3 y 12 se identificó tan solo 2 especies liquénicas, siendo las zonas con menos presencia de especies liquénicas.

Tabla N° 2
Especies encontradas en las 12 zonas de muestreo

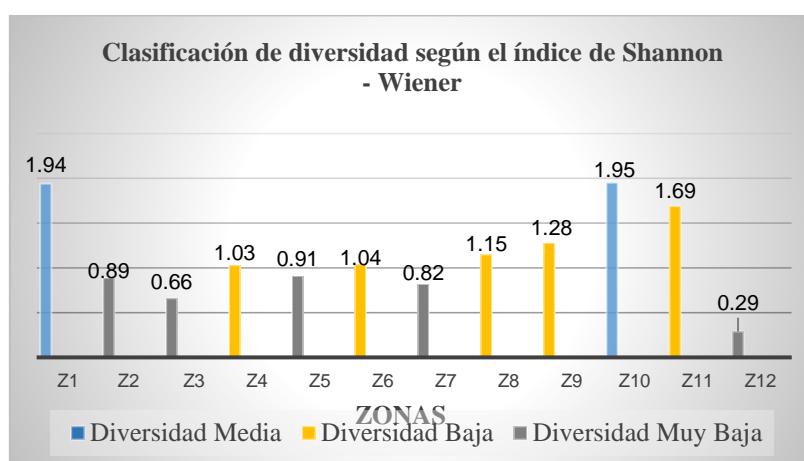
Nº	ESPECIE	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	TOTAL	%
1	Physconia distorta	11	0	0	10	6	4	7	16	0	2	0	0	56	13.86
2	Candelariella xanthostigma	15	0	3	4	1	6	12	23	0	1	5	32	102	25.25
3	Parmelia subrudecta	2	0	5	0	6	9	1	1	2	3	5	0	34	8.42
4	Lepraria incana	4	0	0	7	0	0	0	19	0	14	3	0	47	11.63
5	Chrysothrix Candelaris	12	3	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	25	6.19
6	Physcia Stellaris	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	3.47
7	Xanthoria Polycarpa	16	2	0	0	0	0	0	0	0	8	3	0	29	7.18
8	Physconia Grisea	8	9	0	0	0	0	0	0	0	4	0	3	24	5.94
9	Parmelia Sulcata	0	0	0	0	0	0	0	0	4	29	3	0	36	8.91
10	Hypogymnia Physodes	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0.74
11	Placynthium nigrum	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0.25
12	Physcia caesia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6	1.49
13	Vulpicida pinastri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	9	0	27	6.68
TOTAL		82	14	8	21	13	19	20	59	10	95	28	35	404	100.0

En la tabla N°2, se muestra la presencia de las 13 especies liquénicas identificadas en las 12 zonas de muestreo, dando una suma total de 404 líquenes identificados, siendo la especie Candelariella Xanthostigma con más presencia en las zonas de muestreo, con 25.25 % de presencia. Seguida por la especie Physconia Distorta, con 13.86% de presencia y la especie Lepraria Incana, con 11.63% de presencia. Asimismo, también se muestra que en la zona 10 se muestreo un total de 95 líquenes, siendo la mayor zona con líquenes; por otro lado, se

evidenció en la zona 3 un total de 8 líquenes, siendo la zona con menos líquenes.

Luego de realizar la identificación de la riqueza (especies presentes en cada zona de muestreo) y abundancia liquénica (cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies) en las 12 zonas de muestreo, se procedió a aplicar la fórmula del Índice de Shannon -Wiener según Carmona Galindo & Carmona (2013), donde se obtuvo que tanto la zona 1 y 10 tienen una diversidad media de especies. Mientras que las zonas 4, 5, 7 y 12 tienen una diversidad baja.

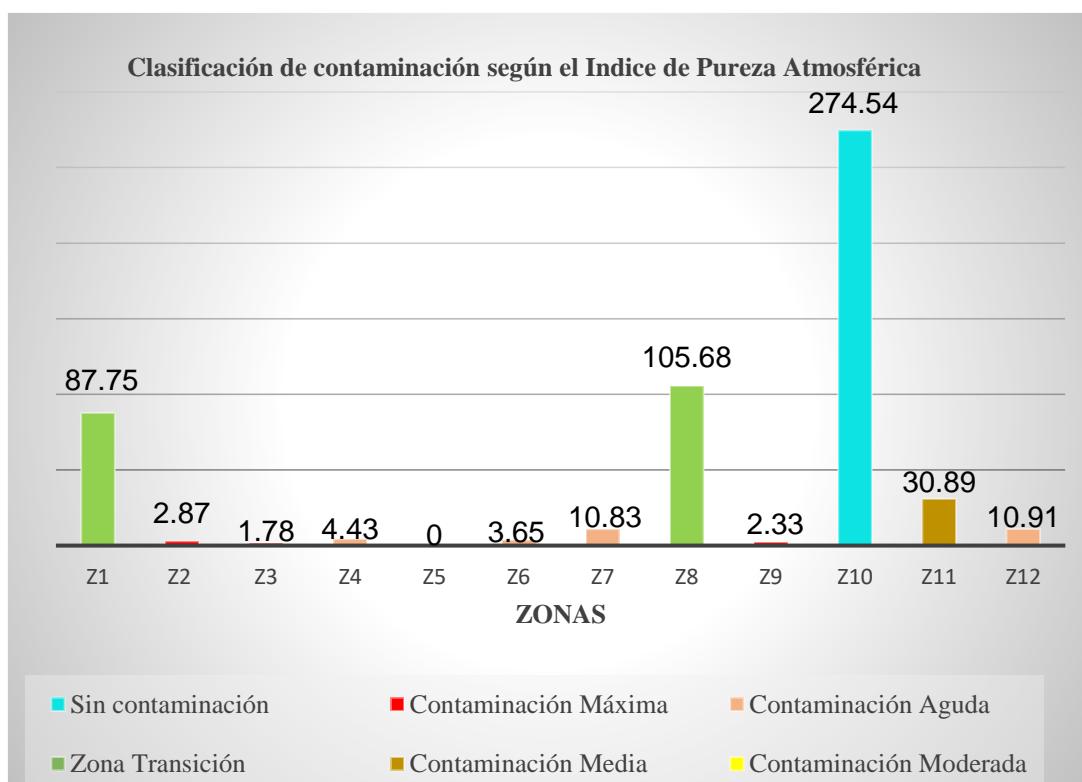
Figura N° 1
Clasificación de diversidad según el Índice de Shannon- Wiener



Después de la obtención de datos en campo se tuvo como procedimiento hallar la fórmula del IPA, con dichas respuestas identificar el valor del IPA según Rubiano (1988), pues de acuerdo a ello se obtuvo

la clasificación de contaminación y se llegó a obtener el Índice de Pureza Atmosférica en las 12 zonas correspondientes.

Figura N° 2
Clasificación de contaminación según el Índice de Pureza Atmosférica



4. DISCUSIÓN

Después de obtener los resultados en cuanto a especies de liquéficas epífitas, se logra sostener que los resultados no guardan relación con lo que sostiene (Yapuchura Matamoros, 2022), pues los líquenes observados en su investigación fueron distintas a las que se obtuvo en nuestra investigación, sin embargo, el liquen *Xanthoria policarpa* fue observado en ambas investigaciones.

Asimismo, no guardan relación los resultados del Índice de Pureza Atmosférica de (Yapuchura Matamoros, 2022), pues señala que en la zona urbana de Huancavelica evaluada a través del IPA (Índice de Pureza Atmosférica) la calidad de aire es mejor en su mayoría, en la que como resultado nuestro se pudo obtener un Índice de Pureza Atmosférica preocupante, debido a que se encontró más de 2 zonas que cuentan con una clasificación de contaminación máxima, pues estamos en peligro de convertirnos en una ciudad con una

calidad de aire contaminada en mayor porcentaje.

Por otro lado, se concuerda con dicho argumento de (Torres Sanchez, 2019), el cual indica que es posible a la alta sensibilidad de cambios derivados de la contaminación del medio donde se encuentren los contaminantes atmosféricos, como por ejemplo el CO, pues por lo obtenido en nuestros resultados, se pude verificar que hay mayor contaminación en los parques automotores.

Después de analizar los resultados obtenidos, se guarda relación con el argumento indicado por (Muñoz & Palacios Lucia, 2018), pues dichos autores indican que se puede encontrar mejor calidad de aire en estaciones que cuenten con mayor diversidad de líquenes, a comparación de otras estaciones, pues en nuestros resultados efectivamente se observa la minoría de especies en la zona que fue diagnosticada con “contaminación máxima” y en la zona que cuenta con abundante cantidad

de especie, ésta tuvo como resultado como una zona “sin contaminación”.

Finalmente se logró identificar un total de 13 especies líquénicas epífitas en las 12 zonas de muestreo, dentro de ellas se identificó 404 líquenes como muestras en todas las zonas de muestreo.

El Índice de Shannon y Wiener resultó en promedio con una biodiversidad baja a muy baja en el casco urbano de la ciudad de Huancavelica, el cual va relacionado con la calidad de aire.

El Índice de Pureza Atmosférica se tuvo como resultado que el promedio de calidad del aire en el rango de una contaminación aguda a máxima, permitiendo indicar que la calidad de aire en nuestra ciudad de Huancavelica se encuentra entre una contaminación aguda – máxima.

El factor del tiempo y clima en nuestra ciudad de Huancavelica, juega un papel muy importante, pues los líquenes podemos encontrar en mayor cantidad durante los meses de enero – marzo, debido a que es la temporada de lluvias en nuestra ciudad.

5. AGRADECIMIENTOS

Al programa presupuestal 066-2022 del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional de Huancavelica, por el financiamiento para realizar el presente trabajo de investigación.

6. REFERENCIA

- Amann, M., Kiesewetter, G., Schöpp, W., Klimont, Z., Winiwarter, W., Cofala, J., ... & Pavarini, C. (2020). Reducing global air pollution: the scope for further policy interventions. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 378(2183), 20190331.
- Canseco, A., Anze, R., & Franken, M. (2006). Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. *Acta Nova*, 3, 286–307.
- Carmona Galindo, V., & Carmona, T. (2013). La diversidad de los análisis de diversidad. *Digital Commons*.
- Correa, M. A., Vélez, L. C., Saldarriaga, J. C., & Jaramillo, 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106355>
- García, A., López, B., & Martínez, C. (2017). Impacto de la contaminación

atmosférica en los ecosistemas. *Revista de Ecología Aplicada*, 12(3), 215-230.

Hagan, N., Robins, N., Gonzales, R. D. E., & Hsu-Kim, H. (2015). Speciation and bioaccessibility of mercury in adobe bricks and dirt floors in Huancavelica, Peru. *Environmental Geochemistry and Health*, 37(2), 263–272. <https://doi.org/10.1007/S10653-014-9644-1/METRICS>

Jones, R., & Brown, S. (2019). Uso de pesticidas y su impacto ambiental. *Journal of Agricultural Science*, 5(2), 110-120.

Kricke, R., & Loppi, S. (2002). *Bioindication: The I.A.P. approach*. Kluwer Academic Publishers,.

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2016). *Informe nacional de la calidad del aire 2013-2014*. www.minam.gob.pe

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). Informe sobre la contaminación del aire y la salud. Recuperado de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Palomino Quispe, R. K. (2020). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE LÍQUENES COMO BIOINDICADORES AMBIENTALES EN LA CIUDAD DE ILO, 2020* [Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1700>

Quijano Abril, M. A., Ramírez Ospina, D. M., Domínguez Rave, M. I., & Londoño Valencia, J. (2021). Líquenes como biosensores para la evaluación de contaminación atmosférica urbana y sub urbana en un valle de montaña tropical, Rionegro, Antioquia. *Bionatura*, 6(1), 1501–1509. <https://doi.org/10.21931/RB/2021.06.01.10>

Rubiano, L. J. (1988). *Líquenes como indicadores de contaminación en el complejo industrial de betania y la termoeléctrica de zipaquirá, cundinamarca*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/37572>

Smith, J. (2018). Impacto de la combustión de combustibles fósiles en la calidad del aire. *Environmental Science Journal*, 30(4), 40-50.

Torres Sanchez, M. E. (2019). *LÍQUENES: LOS BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE*. UNIVERSIDAD

- NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS.
- Wirth, V., Dull, R., Llimona, X., Ros, R. M., & Werner, O. (2004). *GUIA DE CAMPO DE LOS LÍQUENES, MUSGOS Y HEPÁTICAS* (Ediciones Omega).
- Yapuchura Matamoros, L. D. (2022). *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.* Universidad Nacional de Huancavelica.