

Validation of air quality using lichens as bioindicators in the city of San Miguel de Pallaques, Cajamarca - 2024

Kiara Alvétez-Linares¹ , Gladys S. Licapa-Redolfo² , Haydeé Díaz-Rimarachín¹ , Edilberto Gastolomendo-Malimba¹ 

¹Universidad Privada del Norte, Perú. N00016047@upn.pe, N00220092@upn.pe, N00219829@upn.pe

²Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Perú. gladys.licapa@upn.edu.pe

Abstract – This study aimed to evaluate the influence of air pollution on the diversity and abundance of lichens in the district of San Miguel de Pallaques, Cajamarca, using epiphytic lichens as bioindicators. Sampling was conducted in six zones, classified as urban and rural areas, identifying 235 lichen individuals. Foliose lichens predominated, with 176 individuals, compared to fruticose lichens, which accounted for 59 individuals. The Atmospheric Purity Index (API) and Shannon Diversity Index (H') showed significant variations between zones. Pabellon and San Juan exhibited better environmental conditions, with API values of 69.7 and 56.8, respectively, whereas Plaza de Armas reflected higher pollution with an API of 6.02. Likewise, the highest diversity was recorded in San Juan, with $H' = 1.06$, demonstrating a correlation between air quality and lichen diversity. The study concluded that air pollution negatively impacts lichen diversity and distribution. Furthermore, foliose lichens proved to be more sensitive and effective as bioindicators. Therefore, this study reinforces their usefulness for environmental monitoring and for designing mitigation strategies in urban areas affected by air pollution.

Keywords— Lichens, Bioindicators, Air quality, Distribution.

Validación de la calidad atmosférica mediante líquenes como bioindicadores en la ciudad de San Miguel de Pallaques, Cajamarca – 2024

Kiara Alvítez-Linares¹ , Gladys S. Licapa-Redolfo² , Haydeé Díaz-Rimarachín¹ , Edilberto Gastolomendo-Malimba¹ 

¹Universidad Privada del Norte, Perú. N00016047@upn.pe, N00220092@upn.pe, N00219829@upn.pe

²Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Perú. gladys.licapa@upn.edu.pe

Resumen– El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de la contaminación atmosférica en la diversidad y abundancia de líquenes en el distrito de San Miguel de Pallaques - Cajamarca, utilizando líquenes epífitos como bioindicadores. Se realizaron muestreos en seis zonas, clasificadas en áreas urbanas y rurales, identificándose 235 individuos de líquenes, predominando los líquenes de tipo foliosos con 176 individuos sobre los líquenes de tipo fruticuloso con 59 individuos. Los índices de Pureza Atmosférica (IPA) y de Diversidad de Shannon (H) mostraron variaciones significativas entre las zonas, de tal manera que las zonas de Pabellón y San Juan presentaron mejores condiciones ambientales, con un IPA de 69.7 y 56.8 respectivamente, mientras que la Plaza de Armas reflejó mayor contaminación IPA de 6.02. Asimismo, la diversidad más alta se registró en San Juan con H=1.06, evidenciando una correlación entre la calidad del aire y la diversidad líquénica. Se concluyó que la contaminación atmosférica impacta negativamente en la diversidad y distribución de líquenes. Asimismo, los líquenes foliosos demostraron ser más sensibles y efectivos como bioindicadores. Por lo tanto, este estudio refuerza su utilidad para el monitoreo ambiental y para diseñar estrategias de mitigación en áreas urbanas afectadas por la contaminación del aire

Palabras clave— Líquenes, Bioindicadores, Calidad atmosférica, Distribución.

I. INTRODUCCIÓN

Desde mediados del siglo XIX, los líquenes han sido conocidos como bioindicadores eficaces de la contaminación ambiental, aunque su uso se popularizó a partir de la década de 1960. En ese periodo, se evidenció que el dióxido de azufre afecta directamente su crecimiento, distribución y salud [1]. Estos organismos que son autótrofos y de crecimiento lento, presentan una gran distribución geográfica desde los polos hasta el Ecuador y pueden colonizar una variedad de sustratos, tanto inertes como orgánicos [2]. Al ser organismos simbióticos, formados por la interacción entre algas (clorofitas o cianofitas) y hongos (ascomicetes, basidiomicetes o ficomicetes), carecen de estructuras protectoras como raíces, cutículas o epidermis. Esto los hace especialmente sensibles a los contaminantes atmosféricos, ya que absorben sustancias directamente de la atmósfera a través de toda la superficie de sus talos, acumulándolas sin mecanismos para eliminarlas. Estas características los convierten en excelentes herramientas tanto para monitorear y para evaluar la calidad del aire [3].

En Perú, los líquenes no solo destacan por su biodiversidad, sino también por su utilidad en estudios sobre el retroceso de glaciares, los efectos del cambio climático y la antigüedad de las morrenas glaciares en la cordillera Blanca [4]. La fragilidad a los cambios ambientales, como los niveles de contaminación, los posiciona como herramientas clave para evaluar el impacto de las actividades humanas, particularmente en áreas urbanas [5].

La contaminación del aire, especialmente en zonas urbanas, es un problema ambiental significativo en el Perú, es causado principalmente por el aumento del tránsito vehicular. A menudo, su evaluación resulta compleja debido a los altos costos asociados con los sistemas de monitoreo convencionales [5]. En ese sentido, los líquenes, especialmente los epífitos que crecen sobre la corteza de los árboles, ofrecen una alternativa económica y eficaz para medir la contaminación atmosférica [6].

En Cajamarca, como en otras ciudades del país, el crecimiento económico ha incrementado el parque automotor lo que a su vez ha elevado las emisiones de gases tóxicos agravando el problema de la calidad del aire y subrayando la necesidad de herramientas accesibles y confiables como los líquenes para su monitoreo [7].

En ese contexto, se presume que los diferentes niveles de contaminación atmosférica en las ciudades influyen directamente en la presencia, abundancia y distribución de los líquenes [5]. Se plantea que los líquenes están directamente relacionados con los niveles de contaminación atmosférica. En particular, se espera que, a mayores niveles de contaminación atmosférica, se observe una disminución en el número y diversidad de líquenes en el área de estudio. A través de este análisis, se busca establecer un patrón claro entre los niveles de contaminación atmosférica y la variabilidad en la presencia, abundancia y distribución de líquenes, lo que proporcionará datos relevantes para la gestión ambiental local. Además, los resultados contribuirán al diseño de estrategias de monitoreo más eficiente y sostenibles, por lo que el objetivo de este estudio es evaluar cómo la contaminación atmosférica influye en los líquenes de la ciudad de San Miguel de Pallaques durante el año 2024. Mediante el análisis de líquenes como bioindicadores, se pretende identificar las áreas más afectadas

por la contaminación del aire y generar información clave para mejorar la calidad del aire en la región.

II. METODOLOGÍA

A. *Ámbito de estudio*

Este estudio se centra en el Distrito de San Miguel de Pallaques, ubicado en la región de Cajamarca, Perú, situada a 2665 m.s.n.m., en la zona más baja de la región quechua, a

orillas del Río San Miguel como se muestra en la figura 1. Teniendo una temperatura media anual de 14.8 °C, el clima es templado a seco, con inviernos fríos y veranos intensamente lluviosos, específicamente durante los meses de enero, febrero y marzo. Además, debido a su ubicación en una ladera, la ciudad experimenta densas neblinas entre los meses de octubre y mayo [8].

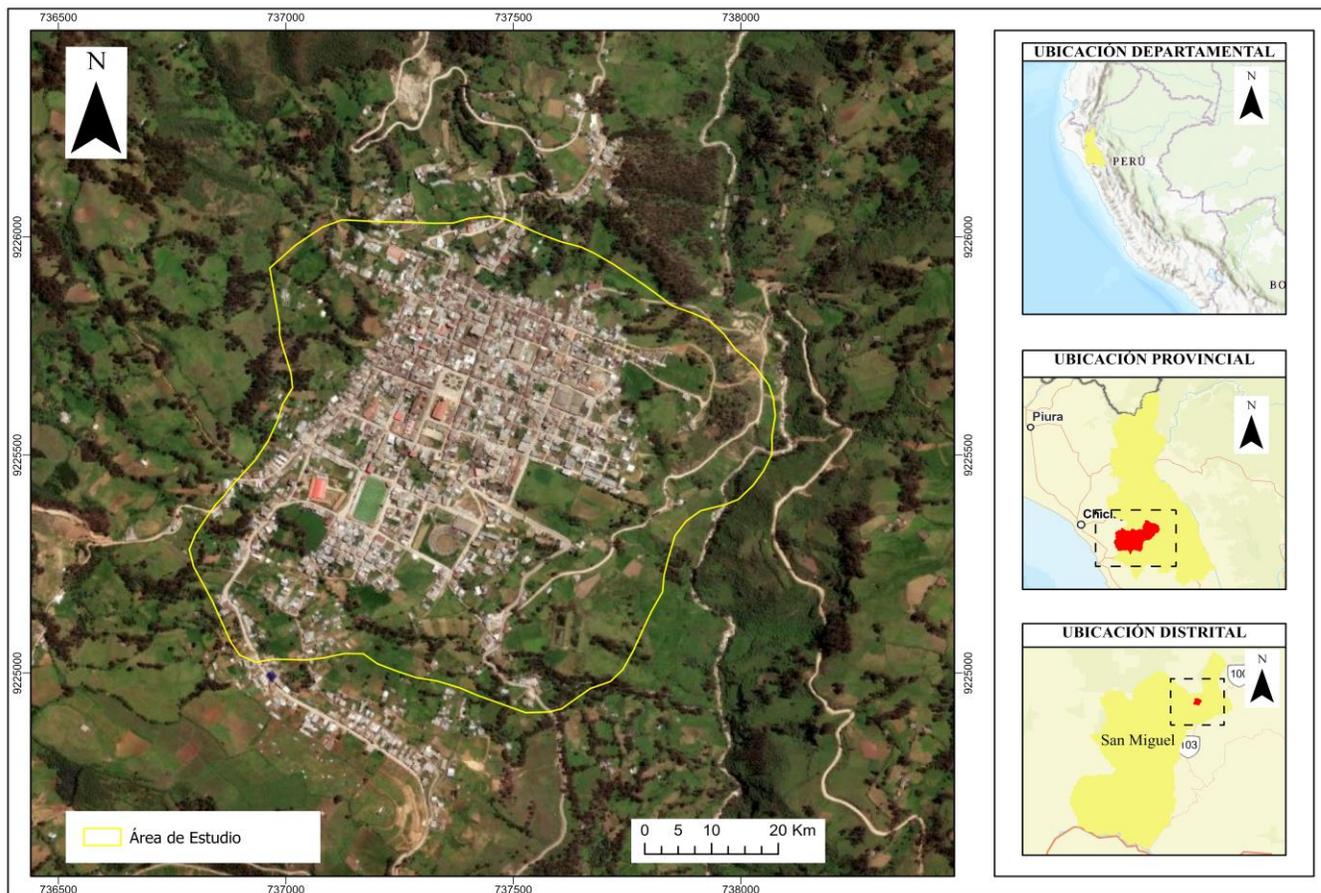


Fig. 1 Ubicación del área de estudio

B. *Muestreo de Líquenes*

Para determinar la cantidad de líquenes se utilizó el método bioindicador que consiste en mapear las especies de líquenes en un área específica, evaluando su presencia, número, frecuencia, cobertura y daños visibles como respuesta indirecta a los contaminantes ambientales, sin identificar el tipo u origen de estos [9], se diseñó una rejilla de 50 cm x 20 cm, divididas en 10 subcuadros de 10 cm x 10 cm. Una vez construida la rejilla, se coloca sobre el fuste del árbol a ser muestreado, específicamente en el lado con mayor cobertura de líquenes. El centro de la rejilla se posiciona en el área con mayor densidad de líquenes, y la altura a la que se instala, medida desde el suelo, varía entre 1.50 y 1.80, dependiendo de

la distribución de la cobertura líquénica [10], [11], como se indica en la Figura 2 y seguidamente tomar los datos de la frecuencia se desarrolló los pasos del Manual de Red CE de Nivel II [11].



Fig. 2 Rejilla de muestreo

C. Procesamiento de datos

En la presente investigación se utilizó una metodología de tipo aplicada, puesto que la aplicación de líquenes como bioindicadores permite evaluar la calidad atmosférica en la ciudad de San Miguel de Pallaques [12]. Asimismo, el diseño de la investigación es descriptivo-correlacional, ya que, por un lado, busca describir la diversidad de líquenes presentes en la zona de estudio, y, por otro, establece la relación entre dicha diversidad y los niveles de contaminación atmosférico [13].

Por lo tanto, el enfoque utilizado es cuantitativo, dado que se recolectan datos numéricos mediante la identificación y análisis de especies de líquenes y su relación con parámetros de contaminación [12].

D. Identificación los tipos de líquenes

Para identificar los líquenes recolectados en cada árbol de las seis zonas muestreadas en San Miguel de Pallaques, se utilizaron guías fotográficas y bibliografía científica. Los líquenes se clasificaron según sus características macroscópicas y forma de crecimiento: los Crustáceos se adhieren firmemente al sustrato, carecen de corteza inferior, crecen muy lentamente y son difíciles de distinguir a simple vista [14]; los Foliáceos tienen un talo aplanado fragmentado en lóbulos, están parcialmente adheridos y se desprenden con facilidad; y los fruticulosos presentan una forma de pequeños arbustos ramificados con simetría radial, sin diferenciarse entre su superficie superior inferior [15], el cual se presenta en la figura 3.

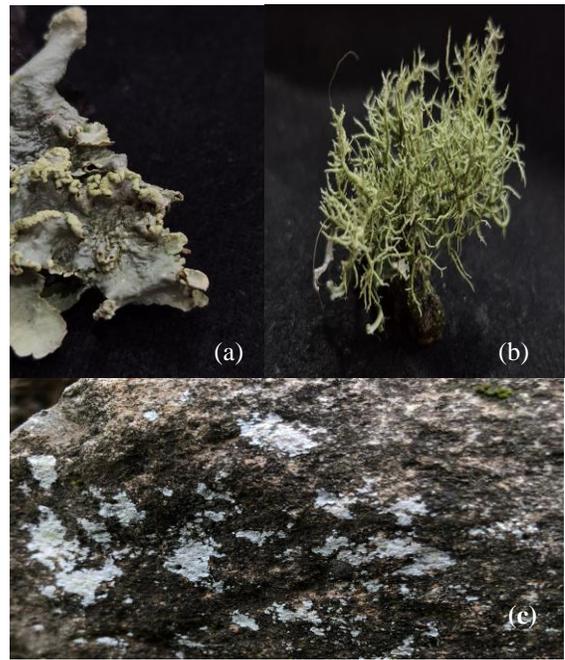


Fig. 3 (a) Liquen de tipo Folioso, (b) Liquen de tipo Fruticuloso, (c) Liquen de tipo Crustáceo.

E. Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

Es un método utilizado para evaluar la Calidad del Aire mediante el uso de Líquenes como bioindicadores, para ello se calcula a partir de la diversidad y abundancia de Líquenes en la zona de estudio, donde una mayor diversidad indica mejor calidad de aire, mientras que su ausencia o baja variedad refleja niveles elevados de contaminación [16]. Asimismo, este indicador refleja, de manera indirecta, la diversidad de especies presentes [2], por lo que se usa la ecuación [1].

$$IPA = \frac{\sum(N \times F)}{n} \dots (1)$$

Donde:

N: Abundancia de líquenes por especie.

F: Número de árboles muestreados por especie.

n: Total de árboles muestreados en la zona.

Los líquenes se clasifican en zonas de tolerancia que reflejan distintos niveles de contaminación atmosférica, según la puntuación obtenida en el IPA. Una zona de Pureza alta presenta una gran diversidad y cantidad de líquenes, lo que indica una baja contaminación del aire. En una zona de pureza intermedia, predominan líquenes con tolerancia moderada, asociados a niveles medios de contaminación. Las zonas de pureza baja están dominadas por líquenes altamente resistentes, lo que evidencia la alta contaminación atmosférica. Finalmente, en áreas con niveles extremos de contaminación, es posible que no se encuentren líquenes, lo que confirma

condiciones ambientales severamente deteriorados [17], para ello en la Tabla I se presenta las categorías según LeBlanc y De Sloover.

TABLA I.
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA (IPA)

CATEGORÍA	IPA	DESCRIPCIÓN
I	1 al 5.5	Sin presencia de líquenes - áreas de mayor contaminación
II	>5.5 al 15.5	Escasa presencia de líquenes, indica la existencia de áreas contaminadas
III	>15.5 al 35.5	Área de transición donde la vegetación epífita no es abundante, pero está adecuadamente representada
IV	>35.5 al 75.5	Región con aire limpio, propicio para el desarrollo de líquenes
V	>75.5	Área con abundante vegetación, favoreciendo un mejor desarrollo de líquenes.

Fuente: LeBlanc y Sloover [17].

F. Índice de Diversidad de Shannon (H')

Este índice evalúa la diversidad de líquenes en una zona. La pérdida de diversidad generalmente indica contaminación [18], el cual se calcula con la ecuación (2).

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \times \ln(p_i) \dots (2)$$

Donde:

H' : Valor del Índice de Shannon, representa la diversidad de especies en la comunidad.

p_i : Proporción de líquenes de la especie i respecto al total de líquenes en la zona. Se calcula con la ecuación (3)

$$p_i = \frac{N_i}{\text{Total Abundancia}} \dots (3)$$

\ln : Logaritmo natural.

II. RESULTADOS

A. Zonas de muestreo

El estudio abarcó áreas urbanas y rurales de la ciudad de San Miguel de Pallaques, distribuidos en 6 zonas de muestreo en relación con la abundancia de líquenes según la figura 4. Se identificaron un total de 235 individuos de líquenes distribuidos en 6 zonas, tal como se detalla en la Tabla II.

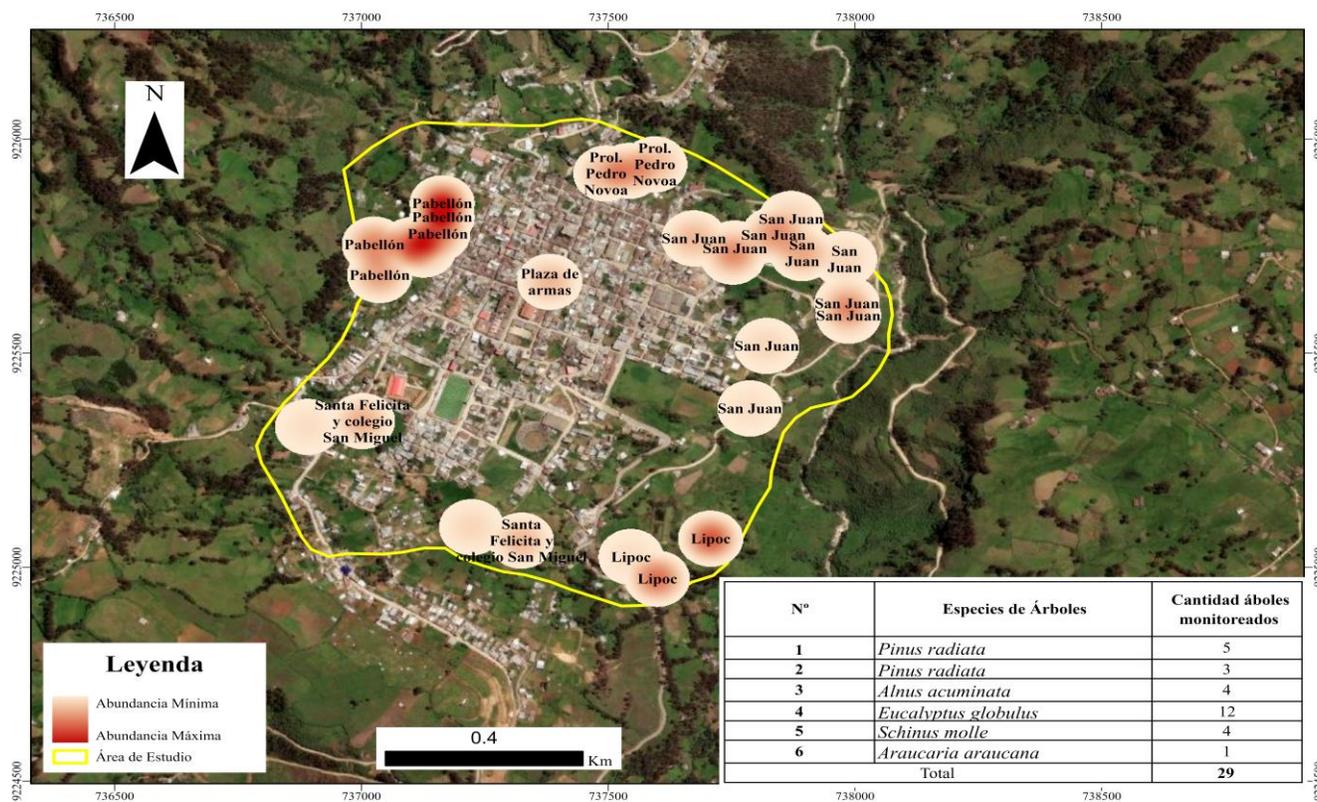


Fig. 4 Distribución de Líquenes según las zonas de muestreo.

TABLA II.
MUESTREO DE LÍQUENES

NÚMERO DE GÉNEROS DE LÍQUENES POR ZONA	ESPECIE DE LÍQUENES	ABUNDANCIA DE LÍQUENES	ABUNDANCIA TOTAL
Lipoc	<i>Usnea sp</i>	18	35
	<i>Parmotrema sp</i>	17	
Santa Felicitia y colegio San Miguel	<i>Parmotrema sp</i>	20	20
Pabellón	<i>Parmotrema sp</i>	36	81
	<i>Ramalina sp</i>	45	
Plaza de armas	<i>Parmotrema sp</i>	7	7
Prol. Pedro Novoa	<i>Usnea sp</i>	11	26
	<i>Parmotrema sp</i>	15	
San Juan	<i>Usnea sp</i>	30	66
	<i>Parmotrema sp</i>	16	
	<i>Ramalina sp</i>	20	
Total			235

B. Tipo de Líquenes identificados

Los líquenes foliosos fueron los más comunes. Estos se caracterizan por tener un talo aplanado, similar a una hoja, que generalmente está parcialmente adherido al sustrato [15], en este caso, se encontraban adheridos a la corteza de los árboles monitoreados, alcanzando un total de 176 individuos. Asimismo, se registraron 59 individuos de líquenes de tipo Fruticuloso, como se presenta en la Tabla III.

TABLA III.
NÚMERO DE TIPOS DE LÍQUENES OBSERVADOS

Nº	TIPO DE LIQUEN	CANTIDAD	PORCENTUAL
1	Folioso	176	75%
2	Fruticuloso	59	25%
Total		235	100%

La Tabla IV presenta el monitoreo de líquenes en 6 zonas clasificadas en dos tipos de líquenes: Foliosos y Fruticulosos en general, los líquenes foliosos son más frecuentes con una frecuencia promedios total de 11.06 individuos, frente a 8.94 de los líquenes de tipo fruticuloso. Los líquenes de tipo foliosos tienen una distribución más uniforme, siendo más abundante en Santa Felicitia y Colegio San Miguel con una frecuencia promedio de 20 individuos y Pabellón con una frecuencia promedio de 18 individuos, mientras que las

frecuencias promedio más bajas se encuentran en San Juan con 5 individuos y Plaza de armas con una frecuencia promedio de 7 individuos. Por otro lado, los fruticulosos presentan una distribución más irregular, con mayores registros en Pabellón con una frecuencia promedio de 23 individuos, San Juan con una frecuencia promedio de 17 individuos, y ausencia total en Santa Felicitia y Plaza de Armas. La zona de Pabellón destaca por ser la más diversa, con altas frecuencias de ambos tipos de líquenes, mientras que Santa Felicitia y Plaza de Armas muestran menos diversidad.

TABLA IV.
NÚMERO DE TIPOS DE LÍQUENES OBSERVADOS

TIPO DE LÍQUENES	ZONAS MONITOREADAS						FRECUENCIA PROMEDIO TOTAL
	LIPOC	SANTA FELICITA Y COLEGIO SAN MIGUEL	PABELLÓN	PLAZA DE ARMAS	PROL. PEDRO NOVOA	SAN JUAN	
Folioso	9	20	18	7	8	5	11.06
Fruticuloso	9	0	23	0	6	17	8.94

En la Figura 5, analiza la frecuencia de dos tipos de líquenes (foliosos y fruticulosos). Los líquenes foliosos están ampliamente distribuidos en las zonas, destacando en Santa Felicitia, el Colegio San Miguel y Pabellón, mientras que las zonas que tienen menor presencia es San Juan y Plaza de Armas, por lo tanto, los líquenes fruticulosos, tienen una distribución mucho más limitada. Por otro lado, los líquenes crustáceos están completamente ausentes en todas las zonas monitoreadas con una frecuencia de cero, lo que podría indicar condiciones ambientales desfavorables para este tipo. En general, los líquenes foliosos dominan la distribución, seguidos por los fruticulosos en áreas específicas.

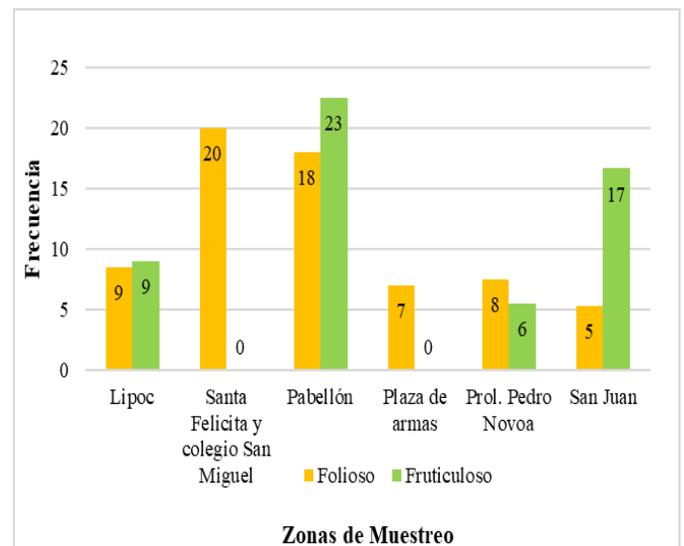


Fig. 5 Frecuencia promedio de líquenes por zona.

C. Índice de Pureza Atmosférica (IPA) y Diversidad de Shannon (H')

En la Tabla V muestra los valores del índice de Pureza Atmosférica (IPA) y la frecuencia promedio total de los dos tipos de líquenes. Los líquenes foliosos presentan un IPA de 122.23, el valor más alto, lo que indica que son más sensibles a las condiciones atmosféricas y prosperan en áreas con mejor calidad de aire. Además, tienen una frecuencia promedio total de 20.37, siendo el tipo de líquen más abundante. Por otro lado, los líquenes fruticulosos tienen un IPA de 80.00, lo que sugiere una menor sensibilidad ambiental o una mayor tolerancia a condiciones menos favorables. Su frecuencia promedio total es de 13.33, evidenciando una menor presencia en comparación con los foliosos, estos resultados indican que los líquenes foliosos son mejores bioindicadores de la calidad ambiental en las zonas estudiadas.

Tabla V.
ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA SEGÚN EL TIPO DE LIQUEN

TIPO	IPA	FRECUENCIA PROMEDIO TOTAL
Folioso	122.23	20.37
Fruticulado	80.00	13.33

Por lo tanto, en la Tabla VI muestra la calidad ambiental significativamente entre zonas, destacando las Zonas de Pabellón y San Juan como los lugares más saludables para el desarrollo de líquenes, mientras que en la plaza de armas refleja mayores desafíos ambientales. Estos resultados resaltan la utilidad del IPA como un indicador del impacto ambiental en cada Zona monitoreada.

Tabla VI.
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA (IPA) SEGÚN LAS ZONAS MONITOREADAS

ZONA	IPA CALCULADO	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
Lipoc	30.12	III	Área de transición con una notable presencia de vegetación epífita.
Santa Felicitia y Colegio San Miguel	17.21	III	Área de transición con una destacada presencia de vegetación epífita.
Pabellón	69.7	IV	Región con aire puro, propicio para el desarrollo de líquenes.
Plaza de Armas	6.02	II	Escasa presencia de líquenes, indicando que aún existen zonas contaminadas
Prol. Pedro Novoa	22.37	III	Área de transición con una destacada presencia de vegetación epífita
San Juan	56.8	IV	Región con aire puro, propicio para el desarrollo de líquenes.

En la Tabla VII muestra el índice de diversidad de Shannon (H) y la abundancia total de líquenes es 6 zonas monitoreadas. La zona con mayor diversidad es San Juan, con un índice de 1.06 y una abundancia de 66, lo que refleja una distribución equilibrada de las especies. En las zonas Lipoc y Pabellón presentan una diversidad moderada, con índices de 0.69, sin embargo, la abundancia es notablemente mayor en la zona de Pabellón con 81 en comparación con la zona de Lipoc con 35. Por su parte, la zona de Prolongación Pedro Novoa muestra una diversidad intermedia, con un índice de 0.68 y una abundancia de 26.

Tabla VII.
ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON SEGÚN LA ZONA

ZONA	H' POR ZONA	TOTAL, ABUNDANCIA
Lipoc	0.69	35
Santa Felicitia y colegio San Miguel	0.00	20
Pabellón	0.69	81
Plaza de armas	0.00	7
Prol. Pedro Novoa	0.68	26
San Juan	1.06	66

En contraste, las zonas de Santa Felicitia, Colegio San Miguel y Plaza de Armas tienen un índice de diversidad de 0.00, lo que, indica la dominancia de una única especie o la ausencia de diversidad, con abundancias totales de 20 y 7, respectivamente. Esto podría estar relacionado con factores limitantes como la contaminación o una menor heterogeneidad ambiental.

En general, la zona de San Juan destaca por su mayor diversidad, mientras que las diferencias entre abundancia y diversidad en las otras zonas sugieren variaciones en las condiciones ambientales y su impacto en la distribución de líquenes como se muestran en la figura 6.

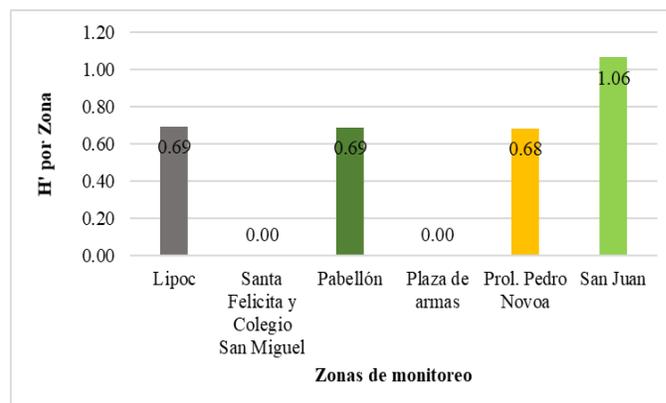


Fig. 6 Índice de Diversidad de Shannon.

III. DISCUSIONES

Los resultados obtenidos evidencian una correlación directa entre los niveles de contaminación atmosférica y la diversidad y abundancia de líquenes en el distrito de San Miguel de Pallaques. Los líquenes foliosos se destacaron como el tipo predominante en las zonas estudiadas como se muestra en la figura 7, lo que concuerda con estudios previos que señalan su mayor sensibilidad a las condiciones ambientales favorables [1], [3].



Fig. 7 Líquen de tipo Folioso del género *Parmotrema* sp.

Por otro lado, los líquenes fruticulosos, aunque menos abundantes, también mostraron un patrón de distribución específico en zonas con menor impacto ambiental. En cambio, la ausencia total de líquenes crustáceos sugiere condiciones ambientales desfavorables, ya que estos suelen ser más sensibles a la contaminación [17], puesto que no se observó ningún género de ese tipo de líquen, como se presenta en la figura 8.



Fig. 8 árbol de molle (*Schinus molle*) sin presencia de líquenes de tipo crustáceo.

El índice de Pureza Atmosférica (PA) permitió clasificar las zonas estudiadas según su calidad ambiental. Áreas como Pabellón y San Juan, con valores de IPA altos, reflejan mejores condiciones para el desarrollo de líquenes, mientras que zonas urbanas como Plaza de Armas y Santa Felicitá mostraron valores bajos, indicando mayor contaminación. Estos hallazgos respaldan la hipótesis planteada, confirmando que las áreas urbanas más expuestas al tránsito vehicular presentan índices de pureza y diversidad líquénica [5], [6].

El índice de Diversidad de Shannon (H') evidenció que la diversidad es mayor en zonas rurales, como San Juan y Lipoc, donde los niveles de contaminación son menores. Sin embargo, en áreas urbanas, como Santa Felicitá y Plaza de Armas, la diversidad es nula o muy baja, lo que indica un dominio de especies más tolerantes a la contaminación o una ausencia de líquenes debido a condiciones no favorables. Este comportamiento puede estar relacionado con factores como la densidad vehicular, la concentración de contaminantes y el tipo de sustrato disponible en cada zona [13], [18].

Los resultados destacan la utilidad de los líquenes como bioindicadores eficaces y económicos para el monitoreo ambiental. La capacidad de estos organismos para acumular contaminantes atmosféricos y su respuesta a las condiciones ambientales reafirma su importancia en el diseño de estrategias sostenibles de gestión ambiental [2]. Además, el uso del IPA y del Índice de Shannon proporciona herramientas complementarias para evaluar el impacto de las actividades humanas en la calidad del aire.

IV. CONCLUSIONES

En conclusión, el estudio muestra que la contaminación atmosférica influye directamente en la diversidad, distribución y abundancia de líquenes epífitos en el distrito de San Miguel de Pallaques, Cajamarca. Se determinó que las zonas urbanas debido a la presencia de mayores fuentes de emisiones de contaminantes como gases vehiculares y actividades humanas presentan índices de pureza atmosférica significativamente menores, lo que traduce en una menor diversidad de líquenes en comparación con las zonas rurales. En las áreas rurales, con menor exposición a fuentes contaminantes, se identificó la mayor riqueza de especies líquénicas, evidenciando un entorno más favorable para su desarrollo.

Además, se verificó que los líquenes foliosos son los más sensibles a la contaminación del aire, esta sensibilidad diferencial confirma la utilidad de los líquenes epífitos como bioindicadores fiables de calidad ambiental. En línea con el objetivo del estudio, se concluye que la evaluación de los líquenes epífitos proporciona información clave sobre el estado de la contaminación atmosférica en diferentes zonas del distrito, lo que puede ser fundamental para la planificación de estrategias de gestión ambiental, conservación de la biodiversidad y mitigación de los efectos negativos de la contaminación en ecosistemas locales.

REFERENCIAS

- [1] A. Pardo González, “Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire”, feb. 2017, Consultado: el 27 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14352/20706>
- [2] R. Lijteroff, L. Lima, y B. Prieri, “Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina”, *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 25, núm. 2, pp. 111–120, may 2009.
- [3] C. S. Santoni y R. Lijteroff, “Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la provincia de San Luis, Argentina”, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 22, núm. 1, pp. 49–58, 2006.
- [4] Á. Ramírez, N. Valencia, Á. Ramírez, y N. Valencia, “Liquenobiota saxícola del nevado Pastoruri (Áncash, Perú)”, *Revista Peruana de Biología*, vol. 27, núm. 4, pp. 543–552, oct. 2020, doi: 10.15381/rpb.v27i4.19205.
- [5] K. Quispe, M. Nique, y E. Chuquilin, “LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE TINGO MARÍA, PERU”.
- [6] K. P. M. Vargas, R. F. M. Ayala, y L. A. C. Tovar, “Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la Comunidad Nativa Shawan Rama, San Ramón (Perú)”, *Yotantsipanko*, vol. 2, núm. 2, Art. núm. 2, dic. 2022, doi: 10.54288/yotantsipanko.v2i2.20.
- [7] F. G. Arce, “Líquenes: bioindicadores de contaminación atmosférica de origen vehicular en tres zonas del distrito de Cajamarca”, *UCV-Scientia*, vol. 12, núm. 1, Art. núm. 1, jun. 2020, doi: 10.18050/revucv-scientia.v12i1.923.
- [8] “MPSM | Provincia | Ubicación Geográfica”. Consultado: el 20 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.muni-sanmiguel.gob.pe/provincia/ubicacion-geografica>
- [9] V. H. M. Estrada y J. M. Najera, “El uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel mundial”, *Biocenosis*, vol. 25, núm. 1–2, Art. núm. 1–2, 2011, Consultado: el 22 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1188>
- [10] AIEF, “MANUAL RED CE DE NIVEL II”. ÁREA DE INVENTARIO Y ESTADÍSTICA FORESTAL. Consultado: el 2 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://cdn-portal-miteco-stage.adobecqms.net/va/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/redes-europeas-seguimiento-bosques/manuales.html>
- [11] “Efectos negativos sobre el PNB. Letra D”, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Consultado: el 22 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/publicaciones/publicaciones_efectos_negativos_pnb_d.html
- [12] *Metodología De La Investigación- Hernández-Sampieri. 6ta Edición. (2014)*. Consultado: el 22 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://archive.org/details/herandez-sampieri>
- [13] “CLASIFICACIÓN DE DANKHE 1986”. Consultado: el 22 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.eumed.net/libros-gratis/2010e/816/CLASIFICACION%20DE%20DANKHE%201986.htm>
- [14] Á. L. Pérez Quintero y B. Watteijne Cerón, “ESTRUCTURA DE UNA COMUNIDAD DE LÍQUENES Y MORFOLOGIA DEL GÉNERO Sticta(STICTACEAE) EN UN GRADIENTE ALTITUDINAL”, *Acta Biológica Colombiana*, vol. 14, núm. 3, pp. 159–172, dic. 2009.
- [15] P. Cubas y J. Núñez, “Líquenes: que son y su uso como bioindicadores”, núm. 123, 2010.
- [16] D. Valdivia y J. Iannacone, “LÍQUENES COMO MEDIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL – APLICACIONES DEL INDICE DE PUREZA ATMOSFERICA (IPA)”, *Biotempo*, vol. 19, núm. 1, Art. núm. 1, mar. 2022, doi: 10.31381/biotempo.v19i1.4797.
- [17] S. F. LeBlanc y J. D. Sloover, “Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal”, *Can. J. Bot.*, vol. 48, núm. 8, pp. 1485–1496, ago. 1970, doi: 10.1139/b70-224.
- [18] R. Yaulilhua-Huacho, L. A. Sumarriva-Bustinza, J. L. Gave-Chagua, J. L. Huere-Peña, y R. Garcia-Ticllacuri, “Líquenes epifitos como bioindicadores de contaminación del aire en la ciudad de Lircay, Perú”,