

LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD ATMOSFÉRICA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE MOCOA-PUTUMAYO

Lichens as bioindicators of atmospheric quality in the urban area of the municipality of Mocoa-Putumayo

Juan Fernando Revelo Enríquez^{1*}, Erik Camilo Portilla Obando¹

¹Facultad de ingeniería y ciencias básicas, Instituto Tecnológico del Putumayo. Mocoa, Colombia.

juan.revelo@itp.edu.co

Recibido: 17 de enero 2024. Aceptado: 30 de mayo de 2024

Resumen

Los líquenes son asociaciones simbióticas que por su sensibilidad a contaminantes ambientales están siendo usados para el monitoreo de la calidad del aire, esto gracias a su composición morfológica y características biológicas, principalmente su sensibilidad ante las diferentes presiones ambientales que puede sufrir un determinado lugar.

En la zona urbana de Mocoa - Putumayo, se utilizaron líquenes presentes en forofitos de las principales zonas del municipio para determinar el posible grado de afectación por contaminación del aire en las áreas urbanas. De igual manera se identificó la composición de especies, y se analizaron los valores obtenidos con el índice de Shannon wiener para evaluar la diversidad y el índice de pureza atmosférica (IPA) para determinar el grado de contaminación. El proyecto fue realizado en dos escenarios pertenecientes a la zona urbana del municipio de Mocoa y el jardín tropical amazónico del Instituto tecnológico del Putumayo con la finalidad de establecer valores comparativos.

Con el presente trabajo se busca dejar un precedente investigativo en cuanto a evaluación de calidad atmosférica mediante la implementación de líquenes como bioindicadores, ya que de esta forma se espera un plan de monitoreo ambiental enfocado en contaminación atmosférica.

Palabras clave: Bioindicadores, Calidad atmosférica, Líquenes.

Abstract

Lichens are symbiotic associations that, due to their sensitivity to environmental contaminants, are being used to monitor air quality, thanks to their morphological composition and biological characteristics, mainly their sensitivity to the different environmental pressures that a given place may suffer.

In the urban area of Mocoa - Putumayo, lichens present in phorophytes from the main areas of the municipality were used to determine the possible degree of affectation by air pollution in urban areas. In the same way, the species composition was identified, and the values obtained with the Shannon wiener index were analyzed to evaluate the diversity and the atmospheric purity index (IPA) to determine the degree of contamination. The project was carried out in two scenarios belonging to the urban area of the municipality of Mocoa and the Amazonian tropical garden of the Putumayo Technological Institute in order to establish comparative values.

With the present work, we seek to leave an investigative precedent regarding the evaluation of atmospheric quality through the implementation of lichens as bioindicators, since in this way an environmental monitoring plan focused on atmospheric pollution is expected.

Keywords: Bioindicators, Atmospheric quality, Lichens.

Introducción

La contaminación del aire es uno de los principales retos a los que nos enfrentamos. Los efectos de la contaminación atmosférica pueden ser irreversibles para la vida en el planeta, por lo que hay que trabajar para evitar, reducir, compensar o mitigar la contaminación del aire. Cada año se bate el récord de contaminación del aire. En el año 2019 se alcanzaron casi 40 mil millones de toneladas de CO₂ en la atmósfera, superando el registro del año anterior.

Sin medidas eficaces, los efectos de la contaminación atmosférica serán nefastos para la vida en la Tierra. La contaminación atmosférica consiste en la presencia de materias o formas de energía en el aire que pueden suponer un riesgo, daño o molestia de diferente gravedad para los seres vivos. Entre las consecuencias directas de la contaminación atmosférica, se podría destacar el desarrollo de enfermedades y afecciones en los seres humanos y la biodiversidad. La concentración de estas sustancias químicas es altamente nociva para la salud del ser humano y de los animales.

Las razones por las cuales los líquenes están siendo utilizados con tanto éxito como bioindicadores, son ubicuos y actualmente se encuentran en aumento en muchos centros urbanos, sobre todo en países desarrollados, gracias a la disminución en la

concentración de dióxido de azufre en la atmósfera de las ciudades. No poseen una cutícula protectora y absorben nutrientes y contaminantes a través de gran parte de su superficie. Los líquenes absorben el dióxido de azufre, del que retienen aproximadamente 30 %. Al haber repetidas exposiciones al dióxido de azufre, el líquen acumula altos niveles de sulfatos y bisulfatos, los cuales lo incapacitan para realizar funciones tales como fotosíntesis, respiración y en algunos casos fijación de nitrógeno.

Los contaminantes atmosféricos pueden ser retenidos por los líquenes, en partículas atrapadas en los espacios intercelulares. La retención eficiente de elementos contaminantes por parte del líquen dependerá del número y naturaleza del sitio de unión extracelular, edad del tejido y las condiciones de crecimiento del líquen. A pesar del daño que sufren la integridad de sus células y tejidos por la acumulación de sustancias particulares, los líquenes pueden indicar la presencia de compuestos químicos en la atmósfera urbana.

Uno de los métodos más utilizados en trabajos de biomonitorización se basa en las variaciones que la contaminación atmosférica induce en las comunidades líquénica.

El municipio de Mocoa se encuentra en constante crecimiento económico y poblacional, lo que ha traído consigo el aumento de vehículos automotores, situación que pone en riesgo la salud de la población y el medio ambiente, dado que estas actividades son las principales fuentes emisoras de sustancias tóxicas al aire como óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, material particulado, entre otros. Por lo tanto, supervisar los niveles de contaminantes en el aire se ha convertido en una necesidad y para ello se utilizan redes de monitoreo de calidad del aire que permiten recolectar información sobre la concentración de compuestos gaseosos de origen antropogénica y natural, además del comportamiento de las variables meteorológicas que regulan la distribución de los mismos en la atmósfera de manera que se hace posible actuar de forma preventiva o correctiva ante las diferentes situaciones.

Por ello, se plantea como objetivo la evaluación de calidad del aire mediante la implementación de líquenes como bioindicadores, dada su eficacia ante el análisis de evaluar calidad de aire y su fácil colecta por muestreo.

Metodología

Se emplearon los índices de diversidad biológica, los cuales expresan la riqueza específica y abundancia, para el cálculo de los datos analizados se utilizó Microsoft office Excel 2016.

Determinación taxonómica de los líquenes y preservación

La determinación taxonómica se realizó con el apoyo del Herbario etnobotánico del Instituto tecnológico del Putumayo, siendo posible identificar género y especie de cada líquen. De igual manera, se utilizaron guías de campo para identificación taxonómica de Campos, Uribe, & Aguirre, (2008), Rodrigo Bernal *et al.*, (2016) y libros florísticos, tesis o memorias de título, artículos científicos, páginas web y consulta con especialistas botánicos.

Se utilizaron los índices de diversidad biológica, los cuales expresan el número de especies y abundancia relativa de las mismas en una comunidad.

El Índice de Shannon-Wiener: Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra.

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \times \log_2 p_i$$

i = cada especie

s = nº total de especies

p_i = abundancia relativa de cada especie en la comunidad. Nº individuos de la especie i / Nº total de individuos.

Índice de Pureza atmosférica

$$IAP = \frac{Q_i * F_i}{n} * C_i$$

Marcadores histológicos

- Clorosis: pérdida de color
- Cambios de coloración: manchas de color rosado o púrpura
- Reducción de tamaño: crecen muy poco
- Erosión de la corteza superior: la capa superior se comienza a caer
- Necrosis: muerte o degradación del organismo

Mediante la observación cualitativa microscópica y estereoscópica de las muestras líquénicas se determinarán Cambios en los parámetros morfológicos, grado de daño producido en los líquenes como evidencia de clorosis o necrosis del talo o estructuras reproductivas.

Resultados y discusión

Taxonomía de los líquenes encontrados

La colecta de líquenes se realizó en dos sitios de estudio, el jardín amazónico tropical del instituto tecnológico del putumayo, donde se hallaron diez géneros y fue posible identificar siete especies, como se muestra en la siguiente tabla.

Genero	Especie
<i>Dirinaria</i>	<i>Picta</i>
<i>Graphis</i>	<i>Scripta</i>
<i>Rimelia</i>	<i>Sp</i>
<i>Chrysotrix</i>	<i>Candelaris</i>
<i>Parmotrena</i>	<i>Perlatum</i>
<i>Lobaria</i>	<i>Amplissima</i>
<i>Bacidia</i>	<i>Sp</i>
<i>Cryptothecia</i>	<i>Rubrocincta</i>
<i>Physcia</i>	<i>Adscendens</i>
<i>Colaplaca</i>	<i>Sp</i>

Tabla 1. Taxonomía de líquenes encontrados Jardín Botánico

Para el segundo sitio de colecta, el cual se realizó en tres de las principales vías con más tráfico vehicular del municipio, la presencia liquenica fue de cuatro géneros y cada uno con su respectiva especie.

Genero	Especie
<i>Dirinaria</i>	<i>Picta</i>
<i>Rimelia</i>	<i>Reticulata</i>
<i>Parmotrena</i>	<i>Perlatum</i>
<i>Lobaria</i>	<i>Amplissima</i>

Tabla 2. Taxonomía de líquenes encontrados – zona urbana.

Índice de Shannon Wiener

La interpretación de este índice se la hizo en base a lo sugerido por Magurran (1988), quien indica que los valores menores a 1,5 se consideran como de diversidad baja, los valores entre 1,6 a 3 como de diversidad media y los valores iguales o mayores a 3,1 como de diversidad alta

En la siguiente se muestra la interpretación para los valores del índice de Shannon.

Valores	Interpretación
0,1 – 1,5	Diversidad baja
1,6 – 3,0	Diversidad Media
3,0 – 4,5	Diversidad alta

Tabla 3. Valores e interpretación índice de Shannon Wiener

Teniendo en cuenta la tabla de valores del índice de shanon wiener y contrastando con los valores obtenidos en el jardín amazónico tropical del instituto tecnológico del putumayo, este nos indica que para dicho lugar, la abundancia es media, cabe resaltar que los datos fueron obtenidos de manera aleatoria, pero principalmente colectados en bosque plantado.

H'	2,55
----	------

Tabla 4. Valores muestreo para evaluar abundancia-Jardín botánico

Para la zona urbana del municipio de Mocoa se tiene un nivel de abundancia bajo, esto se debe principalmente a los diferentes tipos de contaminantes que son expuestos diariamente los líquenes y que influyen de manera directa en su desarrollo y riqueza, ocasionando que únicamente puedan sobrevivir aquellas especies con más capacidad adaptativa a las diversas alteraciones ambientales.

H'	1,37
----	------

Tabla 5. Valores muestreo para evaluar abundancia-zona urbana

Índice de pureza atmosférica

Nivel de contaminacion	Rangos del IPA
Muy alta	0-30,33
Alta	30,33-60,666
Media	60,666-90,999
Baja	90,999-121,333
Muy Baja	121,333-151,666
Sin contaminacion	151,666-182

Tabla 6. Rangos e interpretación de valores para el índice de pureza atmosférica.

Los datos obtenidos para el jardín botánico y después de hacer uso del índice de pureza atmosférica para determinar el nivel de contaminación de la zona muestreada, este nos indica que no se registra contaminación para el jardín amazónico, este resultado se ve reflejado dada la ausencia de tráfico vehicular y cualquier otro tipo de contaminante, cabe resaltar adema que los grupos visitantes, tenida en cuenta su cantidad y constancia ,no representan una alteración o modificación para la dicho lugar.

IPA	174
-----	-----

Tabla 7. IPA Jardín botánico

Caso contrario ocurre en el casco urbano de la ciudad de Mocoa, puesto que, en los puntos de muestreo, según los datos colectados y al haber utilizado el índice de pureza atmosférica, este nos indica que existe un nivel de contaminación media, muy cerca de contaminación alta, esto a causa de cómo se mencionó anteriormente, a las emisiones del tráfico de vehículos de combustión, para evaluar el porcentaje exacto y tipo de contaminante, es necesario un estudio con equipo especializado en esta área.

Tabla 8. IPA Zona urbana.

Marcadores histológicos

La calidad del aire se puede medir mediante los síntomas y daños que se evidencian en los líquenes, manifestadas por medio de las reacciones morfofisiológicas en los individuos y poblaciones, como son la disminución de la cobertura o de la producción de propágulos o en forma de reacciones ecológicas en las comunidades liquénicas, entre ellas, cambios de distribución espacial y de patrones de diversidad. Concentraciones distintas de SO₂ (dióxido de azufre) en la atmósfera provocan en las especies de líquenes diversos daños al reducir:

- La actividad fotosintética al dañar la clorofila.
- La viabilidad y cambios en la forma y el color de los talos.
- La fecundidad.
- Las especies resistentes a la contaminación, dado que repelen más las gotas de agua, lo que limita la absorción de sustancias disueltas en ellos.
- El número total de especies por área según el tiempo de exposición a los contaminantes.

En la mayoría de los estudios se ha demostrado que la desaparición de líquenes se debe a la contaminación producida por el dióxido de azufre y por el dióxido de nitrógeno. (Hugo et al., 2011)

Se hacen evidentes a simple vista las afectaciones de las diferentes alteraciones ambientales en los líquenes de la zona urbana, pues estos han sufrido una serie de cambios en su morfología, tales como la Clorosis: pérdida de color, Cambios de coloración: manchas de color rosado o púrpura, Reducción de tamaño: crecen muy poco, Erosión de la corteza superior: la capa superior se comienza a caer, Necrosis: muerte o degradación del organismo.

Por sus características biológicas y fácil muestreo los líquenes (son organismos perennes que pueden ser muestreados durante todo el año y, en muchos casos, pueden ser identificados por no especialistas) existe un número muy elevado de trabajos científicos realizados acerca del uso de los líquenes como bioindicadores no solo de contaminación del aire, sino también de otros tipos de contaminación medioambiental (lluvia ácida, bioacumuladores de radionucleidos, eutrofización, contaminación acuática)(Rueda Mares, 2017).

Son muchos los metales pesados que se han estudiado en las células de los líquenes, por ejemplo: el aluminio que es el resultado de la fabricación industrial de utensilios, envases, materiales de construcción y pinturas; el mercurio, que proviene de la actividad minera; el plomo, que resulta de la combustión vehicular y el zinc,

que puede ser liberado al ambiente por el desgaste de las llantas y la quema de llantas viejas. (Umaña, 2021)

Las diferentes publicaciones acerca del uso de líquenes como bioindicadores a lo largo de la historia demuestran han demostrado la eficacia de estos organismos para analizar zonas con presencia de cualquier tipo de contaminante atmosférico, con el equipamiento óptimo, es posible evaluar el porcentaje preciso y tipo de contaminante con más afectación en un determinado lugar.

Las sensibilidades presentes en las diferentes especies de líquenes hacen que estos organismos sean eficaces al momento de evaluar la calidad de aire de una zona determinada, Irene Mares de la universidad complutense de Mexico, afirma qué, la utilidad de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire por su respuesta proporcional a la contaminación del mismo por SO₂, NO_x, O₃ y metales pesados, pero también por otros contaminantes atmosféricos. A través de métodos cuantitativos, cada vez más desarrollados, se pueden estudiar variaciones en procesos fisiológicos como la tasa de fotosíntesis neta, actividad nitrogenasa, integridad de la membrana, cuantificación de pigmentos y fluorescencia. Asimismo, la presencia o ausencia de especies, cuya sensibilidad a contaminantes concretos ya se conoce, y la biodiversidad (cuantificada mediante el IPA) presente en un área determinado, puede informar fielmente de la calidad del aire de dicha área. Por tanto, es la diferente sensibilidad de cada especie de liquen a los contaminantes la verdaderamente útil para evaluar la contaminación del aire. Tanto el dióxido de azufre, contaminante atmosférico considerado el más dañino para los líquenes, como los óxidos de nitrógeno, el ozono y los metales pesados Pb, Cd y Ni, tienen valores legislados para protección de la salud en las ciudades. Los líquenes manifiestan en ellos mismos los efectos nocivos de la presencia de estos contaminantes en la atmósfera. Nos informan de la insostenibilidad biológica de nuestras acciones sobre el medio ambiente.

El municipio de Mocoa no es ajeno al crecimiento y desarrollo, pero esto lleva consigo también en un aumento significativo y ascendente de los medios de transporte, el museo natural de Costa Rica afirma qué; Los procesos de combustión del tráfico vehicular, son los principales responsables de la generación de óxidos de azufre, mono y dióxido de carbono. Las fábricas de cemento y plantas químicas de fertilizantes son los mayores productores de óxidos de nitrógeno.

El aumento en la atmósfera de estos compuestos contribuye a la formación de la lluvia ácida. Esto provoca la incapacidad en los líquenes para realizar la fotosíntesis, decoloración de su superficie, separación del sustrato, cambios en la respiración celular, fijación del nitrógeno y la transferencia de nutrientes del alga al hongo, lo que ocasiona daños en el cuerpo del liquen y puede causar la muerte de los individuos.(Umaña, 2021)

El tráfico vehicular, acompañado de la falta de zonas verdes y otros factores serían los causantes de los niveles de contaminación encontrados. Al inicio del estudio surgieron una serie de hipótesis, las cuales se confirman por medio de los resultados obtenidos. La baja riqueza de líquenes evidenciada en los puntos

muestreados del municipio de Mocoa, puede estar estrechamente relacionado con la calidad del aire en el espacio urbano

Las presiones ambientales (contaminación, desecación, etc.) presentes en el espacio urbano, influyen sobre las variables ecológicas estudiadas de la comunidad líquénica, permitiendo que permanezcan sólo aquellas especies que logran adaptarse.(Lijteroff et al., 2022) .

Conclusiones

La contaminación atmosférica y alteraciones ambientales que se encontraron en el espacio estudiado, influyen directamente sobre las variables ecológicas tenidas en cuenta para el presente estudio, siendo así, que únicamente las especies que logren apartarse a dichas condiciones puedan sobrevivir.

Se logra evidenciar con el presente trabajo que las diferentes alteraciones a consecuencia de las emisiones por vehículos de transporte tienen repercusión directa con la riqueza liquenica de la zona urbana.

Los líquenes cuentan con características de excelentes bioindicadores. Su eficiencia y fiabilidad como indicadores de calidad atmosférica se confirma con las investigaciones realizadas a lo largo de la historia.

El estudio realizado serviría como base para futuras investigaciones, de esta forma establecer comparaciones a a mediano, corto y largo plazo, para que de esta forma se puedan evaluar diferentes alteraciones ambientales al pasar de los años .

Referencias

1. Hugo, V., Estrada, M., & Nájera, J. M. (2011). El Uso De Líquenes Como Biomonitores Para Evaluar El Estado De La Contaminación Atmosférica a Nivel Mundial. *Biocenosis @BULLET*, 25, 1-2.
2. Lijteroff, R., Lima, L., & Prieri, B. (2022). USO DE LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA CIUDAD DE SAN LUIS, ARGENTINA | LIJTEROFF | Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 1-11. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/21588/21602>
3. Rueda Mares, I. (2017). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire. *Universidad Complutense*, 21. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/IRENE MARES RUEDA.pdf>
4. Umaña, L. (2021). LÍQUENES Y. 10 de Junio de 2021, 1-11.
5. Kett, A., Dong, S., Andrachuk, H., & Craig, B. (n.d.). Uso de Líquenes Epifitos como Indicadores Biológicos de Contaminación del Aire. Aprendiendo con Líquenes. <https://greenteacher.com/article%20files/Lichens.pdf>

6. Campos-S., L.V., J. Uribe-M. & J. Aguirre-C. Santa María, Líquenes, Hepáticas y Musgos. Serie de guías de campo del Instituto de Ciencias Naturales No. 3. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D. C., Colombia. 144 p.
7. ARDILES, V. CUVERTINO, J. & F. OSORIO. 2008. Briófitas de los Bosques Templados de Chile. Una introducción al mundo de los musgos, hepáticas y antocerotes. Guía de Campo. Ed. Corporación Chilena de la Madera. 168 pp. <<http://www.cormabiobio.cl/6accionar/bibliotecas/documentos/Briofitas%20de%20Chile.pdf>> [Consulta: 05 de agosto de 2011].
8. CHILEBOSQUE. Floras Regionales [en línea]. <<http://www.chilebosque.cl/regionales.html>> [Consulta: 03 de agosto de 2011].
9. Canseco, A., Anze, G., & Franken, M. (2006). Comunidades de líquenes: Indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. *Acta Nova*, 3.
10. eFLORAS.ORG. Flora of Chile [en línea]. <http://www.efloras.org/flora_page.aspx?flora_id=60> [Consulta: 03 de agosto de 2011]
11. GAJARDO, R. 1994. La Vegetación Natural de Chile. Clasificación y Distribución Geográfica. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 165p.
12. PANDO, F. LUSA, S. GUERRA, C. NOTARIO DEL VAL, M.V. FERNÁNDEZ, J. ORTEGA, M. I. LUJANO, M. C. CEZÓN, K. & Á. CRESPO. 1994-2010. HERBAR: Una aplicación de bases de datos para gestión de herbarios, Unidad de Coordinación de GBIF.ES, CSIC. Ministerio de Ciencia e Innovación, España. <<http://www.gbif.es/herbar/herbar.php>> [Consulta: 08 de agosto de 2011]
13. SINIA. SINIA territorial [en línea]. <<http://territorial.sinia.cl/portal/inicio.php>> [Consulta: 03 de agosto de 2011].
14. DAJOZ, R. 1979.- Tratado de ecología. Ed. Mundi Prensa, Madrid. INDICES_BIOLOGICOS. (10-04-15). www.ucipfg.com. https://www.ucipfg.com/Repositorio/BAAP/BAAP05/Semana2/INDICES_BIOLOGICOS.pdf
15. Definiciones, L. (2021). *El vocablo griego*. 3-5.
16. Provincia, L. A., & Luis, D. E. S. A. N. (2006). (*Recibido octubre 2004, aceptado mayo 2006*). 22(1), 49-58. <http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/download/2252/2/21666>
17. Sostenibles, T. S., So, M. De, Isc, M. De, & Predictivos, M. (2021). *Estudios Ambientales Contaminación Atmosférica Aguas (+ info) Residuos (+ info)*. 4-9.
18. David L. Hawksworth, Teresa Iturriaga y Ana Crespo. 2005. *Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los Trópicos*. Madrid, España : -, 2005.
19. Angela Canseco, Rafael Anze, Margot Franken. 2006. *Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia*. La

- paz Bolivia : Unidad de Calidad Ambiental, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, 2006.
20. Cabrera, Gabriel Gustavo Giacobone y Sonia Elizabeth. 2009. *Líquenes como bioindicadores de calidad del aire* . Buenos Aires- Argentina : s.n., 2009.
 21. Ñique, Katherine Quispe y Manuel. 2014. *Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de tingo maría, Perú* . Perú : s.n., 2014.
 22. Nimis, L. (1999). Linee-guida per la bioindicazione degli effetti dell'inquinamento tramite la biodiversità dei licheni epifiti. *Biomonitoraggio della qualità dell'aria*, 267-277'.
 23. Ambrosio, M., & Bringas, B. (2017). *Evaluación de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica de origen vehicular en tres zonas del distrito de Cajamarca en el año 2017*. 135. Recuperado de [http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/532/Evaluación de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/532/Evaluación%20de%20líquenes%20como%20bioindicadores%20de%20contaminación%20atmosférica.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
 24. Quispe, R. K. P. (2020). Evaluación de la calidad del aire mediante líquenes como bioindicadores ambientales en la ciudad de Ilo (Universidad privada de Tacna). Recuperado de <http://www.upt.edu.pe/upt/web/home/contenido/100000000/65519409>
 25. Valdivia, O. G. V. (2018). 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. Universidad nacional del Altiplano.
 26. Lavornin, J. M., Kristensen, M. J., & Rosato, V. G. (2016). Clave de identificación de líquenes saxícolas del Paisaje Protegido "La Poligonal" (Sistema De Tandilia, Buenos Aires). *revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva Serie, XVIII*(2), 107-115.