

Líquenes como bioindicadores de calidad atmosférica en la zona urbana del municipio de Mocoa-Putumayo

Erik Camilo Portilla Obando

Instituto tecnológico del putumayo
Facultad de ingeniería y ciencias básicas
Mocoa, Colombia
2022

Líquenes como bioindicadores de calidad atmosférica en la zona urbana del municipio de Mocoa-Putumayo

Erik Camilo Portilla Obando

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:
Tecnólogo en saneamiento ambiental

Asesor (a):

Biólogo. Juan Fernando Revelo Enríquez

Línea de Investigación:

Semillero de investigación

Grupo de Investigación:

GRAM

Instituto tecnológico del putumayo

Facultad de ingeniería y ciencias básicas

Mocoa, Colombia

2022

Nota de aceptación:

Jurado

Jurado

Mocoa, 18 de 01 del 2022

(Dedicatoria o lema)

A mis abuelos por su apoyo incondicional en esta travesía, mi madre por su esmero y dedicación para que yo diera los mejores resultados, a mis amigos quienes hacen más llevaderas las dificultades y siempre tienen sus puertas abiertas para mí.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por su motivación en este proceso, han sido el pilar fundamental de mi desarrollo académico y son mi motivo de orgullo y agradecimiento.

Agradezco al profesor Juan Fernando Revelo por su entrega y dedicación en este proceso investigativo, por compartir sus conocimientos para el desarrollo del presente estudio.

Y finalmente agradezco a la vida por permitirme estar aquí y pronto culminar con este ciclo académico.

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.

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Contenido	IX
Lista de figuras	X
Lista de tablas	XI
Introducción	1
1. Justificación	3
2. Marco de referencia	4
2.1 Marco teórico	4
2.2 Marco conceptual	4
2.3 Marco contextual	4
2.4 Marco legal	4
3. Objetivos	17
3.1 Objetivo general	17
3.2 Objetivos específicos	17
4. Metodología	18
5. Resultados	27
6. Discusión	35
7. Conclusiones	37

8. ¡Error! Marcador no definido.

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Documentos publicados por año en relación al tema de investigación.....	18
Figura 2. Documentos publicados por año y por fuente bibliográfica.....	20
Figura 3. Documentos publicados por autor en los últimos 10 años.....	21
Figura 4. Ordenamiento jurídico Normativo del municipio de Mocoa.....	25
Figura 5. Esquema cuadrante de la rejilla para el relevamiento de líquenes según la Norma VDI-3799 (1991) y adaptada por Nimis (1999).....	33
Figura 6. Sobres para líquenes (las líneas punteadas indican dobléz)	34
Figura 7: Etiquetado.....	34
Figura 8. Formula índice de Shannon Wiener.....	35
Figura 9. Formula índice de pureza atmosférica (IPA).....	36

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Marco legal vigente colombiano.....	27
Tabla 2. Identificación malla por cuadrantes.....	32
Tabla 3. Taxonomía de líquenes encontrados Jardín Botánico.....	37
Tabla 4. Taxonomía de líquenes encontrados Zona urbana.....	37
Tabla 5. Registro fotográfico de especies de líquenes encontrados - Jardín botánico.....	39
Tabla 6. Registro fotográfico de especies de líquenes encontrados - Zona urbana.	40
Tabla 7. Valores e interpretación índice de Shannon Wiener.....	41
Tabla 8. Valores muestreo para evaluar abundancia-Jardin botanico.....	41
Tabla 9. Valores muestreo para evaluar abundancia-Zona urbana.....	42
Tabla 10. Rangos e interpretación de valores para el índice de pureza atmosférica.....	43
Tabla 11. IPA Jardín botánico.....	43
Tabla 12. IPA zona urbana de Mocoa.....	44

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 liquen dependerá del número y naturaleza del sitio de unión extracelular, edad del tejido y las condiciones de crecimiento del liquen. 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.

Se trata del Índice de Pureza Atmosférica, calculado a partir del número de especies presentes y la frecuencia de cada una de ellas en las diferentes localidades de estudio. Con el fin de que el único factor ecológico variable entre las diversas estaciones de muestreo sea la contaminación atmosférica hemos seguido una serie de pautas. Una vez elegido el forófito o árbol sobre el que se asientan los líquenes epífitos, se sitúa la red de muestreo sobre el tronco, de modo que la porción central coincida con la parte del tronco con máxima densidad de líquenes, a una altura entre 120 y 180 cm del suelo.

1. Justificación

Los contaminantes ambientales son compuestos tóxicos que pueden reflejar las propiedades y alteraciones de su entorno, que pueden ser el resultado de la reacción de los organismos y pueden usarse como criterio de indicación. Por lo tanto, un bioindicador es un organismo o una comunidad de organismos que reaccionan a la contaminación por sustancias nocivas, ya sea modificando sus funciones vitales o acumulándolas y, por lo tanto, proporcionando información sobre el entorno en el que se encuentran (Quispe, 2020).

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.

Los líquenes cumplen un papel bastante fundamental en el proceso de la fotosíntesis y los que tienen dentro cianofíceas (algas azul verdosas) son fijadores de nitrógeno. Además del dióxido de azufre, una extensa gama de otros compuestos (amoníaco, fluoruros, el polvo alcalino, metales y metales radioactivos, hidrocarburos clorados), así como la lluvia ácida, tienen la posibilidad de ser detectados y monitoreados usando los líquenes debido a que dichos son utilizados como bioindicadores de calidad del aire. En Colombia se hacen pocos monitoreos de calidad de aire gracias a los elevados precios que se generan al obtener los sistemas de

monitoreo y la contratación de especialistas en este campo, por tal razón es fundamental averiguar otras alternativas de menor precio, que permitan tener entendimiento sobre el estado de hoy de la calidad del aire y permitan detectar el tipo de compuestos tóxicos presentes en la zona, con objeto de llevar a cabo ocupaciones correctivas y preventivas oportunas, reduciendo el viable efecto en la salud de las sociedades presentes (Azuero & Charry, 2018).

2. Marco de referencia

○ 2.1 Marco teórico

Tratados internacionales y contaminación atmosférica: En 1972 se celebró la Primera Conferencia sobre el Ambiente Humano de la Organización de Naciones Unidas, en Estocolmo, donde –en conjunto con los movimientos públicos– se persuadió a muchos gobiernos a desarrollar la legislación necesaria para limitar las emisiones de contaminantes químicos tóxicos al ambiente, así como la introducción de nuevas tecnologías y políticas con este fin. Como resultado de dichas acciones, en algunos países desarrollados se redujeron los problemas de la contaminación industrial. En 1982 se creó la Comisión Mundial de Ambiente y Desarrollo, y en 1983, bajo la presidencia en esta comisión de la Dra. Gro Harlem Brundtland, Primera Ministra de Noruega y antes Ministra de Medio Ambiente, se intensificó el trabajo relacionado con temas del ambiente y la salud. Así el informe Nuestro futuro común, en 1987, estableció pautas fundamentales en los problemas ambientales e hizo un llamado al desarrollo sostenible, para satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras. El creciente desarrollo económico y tecnológico comenzó a borrar la línea divisoria entre los problemas ambientales locales y los globales, entre

los que se destacan la acidificación del ambiente, la destrucción de la capa de ozono y el incremento del calentamiento global de la tierra.

La Conferencia Multilateral sobre la Acidificación del Ambiente fue celebrada en 1982. Las precipitaciones ácidas tienen un pH inferior a 5,0 y sus precursores son el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno procedentes fundamentalmente de la quema de combustibles fósiles. Estos gases son oxidados en la atmósfera, reaccionan con el agua de lluvia y forman ácidos sulfúrico y nítrico. Este fenómeno ha implicado daños considerables en la flora y la fauna en muchos países, así como la pérdida del patrimonio cultural, por la destrucción de monumentos históricos y zonas arqueológicas.

En marzo de 1985 se aprobó el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, auspiciado por las Naciones Unidas, que adoptó medidas para proteger la salud y el ambiente de los efectos que provoca el agotamiento del ozono estratosférico, donde 49 países acordaron proteger la capa de ozono. En Cuba, se creó la Oficina Nacional encargada de controlar el uso de los CFC en empresas y organismos.

En 1987 se firmó el Protocolo de Montreal para fijar límites a la producción de CFC y halones, el cual entró en vigor en 1989 y ha sufrido sucesivas enmiendas. Se estima que los países subdesarrollados utilizan solo el 16 % del consumo mundial y resulta necesaria la transferencia de tecnologías para dejar de utilizar dichos gases.²

El desarrollo de las cumbres mundiales sobre medio ambiente y desarrollo, de Río de Janeiro (1992), y la de Johannesburgo (2002) han evidenciado la necesidad de mejorar la calidad del aire y alcanzar un desarrollo social donde prevalezca la equidad.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) invitaron en 1985 a científicos de 29 países a Austria para

analizar el calentamiento de la atmósfera y se creó un comité técnico para estudiar este fenómeno. En 1990, la Asamblea General de las Naciones Unidas creó el Comité Intergubernamental de Negociación para la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CIN/CMCC). El CIN, con representantes de más de 150 países, celebró cinco períodos de sesiones entre 1990 y 1992, y el 9 de mayo de 1992 se adoptó un texto de la Convención.

Fundamentos teóricos de la investigación: Según Hawksworth, D; Iturriaga, T y Crespo, A. (2005). Las razones por las cuales los líquenes están siendo utilizados con tanto éxito en este campo se basan en:

a) 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 (SO₂) en la atmósfera de las ciudades.

b) No poseen una cutícula protectora y absorben nutrientes y contaminantes a través de gran parte de su superficie.

c) Su naturaleza simbiótica, ya que, si cualquiera de los simbioses se ve afectado por algo, ambos organismos mueren.

d) Son relativamente longevos, permaneciendo expuestos al efecto nocivo por largos períodos, por lo que proporcionan una imagen de estados crónicos y no de variaciones puntuales del medio ambiente.

e) Son organismos perennes que pueden ser muestreados durante todo el año.

A lo anteriormente mencionado indican que las asociaciones liquénicas resultan muy importantes como bioindicadores por la longevidad de estas especies, debido a que obtienen la

mayor parte de sus nutrientes de la atmósfera, mostrando mayor sensibilidad a ciertos contaminantes ya que muestran cambios del hábitat y del medio ambiente, lo que hace que sean ampliamente utilizados como biomonitores en diferentes ecosistemas. Por tal razón el autor anteriormente mencionado sustenta la investigación que nosotros estamos realizando como propuesta de uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica.

Según Canseco, A., Anze, R. y Franken, M. (2006). Estudio realizado en la ciudad de la Paz, a partir del uso de Índice de Pureza Atmosférica (IPA). Este método está basado en las alteraciones que produce la contaminación atmosférica sobre las comunidades de los líquenes. De acuerdo con este método, la presencia de especies tolerantes o sensibles y la modificación en las estructuras y abundancia de la comunidad liquénica, por si misma, son capaces de expresar la calidad del aire de un área específica. Este método permite, de manera integral, clasificar las diferentes áreas estudiadas con relación al nivel de contaminación, y fue aplicado en un transecto determinado por la principal fuente de contaminación, el tráfico vehicular, en diferentes áreas de la ciudad. Los resultados muestran que, en áreas de alta intensidad vehicular, consecuentemente más contaminadas, existe menor diversidad de líquenes, además de valores bajos de presencia y cobertura. Por otro lado, las áreas con menor contaminación registran mayor diversidad liquénica y valores mayores de cobertura y presencia.

De lo anteriormente mencionado indican el uso del IPA como metodología para el monitoreo de calidad atmosférica, de acuerdo a la abundancia y riqueza de especies identificados en diferentes áreas de estudios.

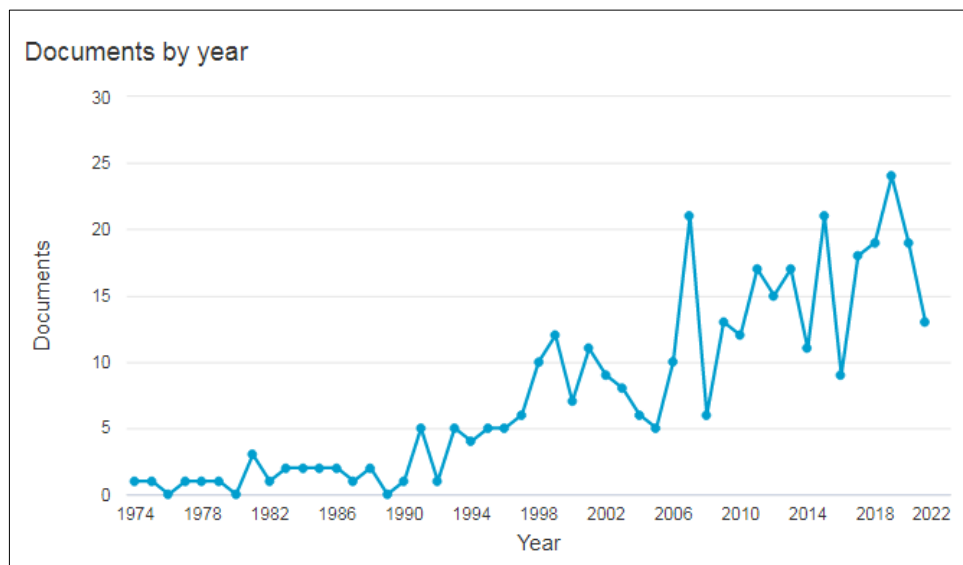


Figura 1. Documentos publicados por año en relación al tema de investigación

Fuente: Scopus®

Según Giacobone, G. y Cabrera, S. (2009). De acuerdo al estudio realizado Buenos Aires (Argentina) demuestran la importancia de los líquenes como bioindicadores, en la que se realizaron análisis en 7 zonas, las cuales pudieron concluir, que la baja presencia de especies liquénicas y su abundancia, está relacionada con la circulación vehicular en las zonas de estudios. Las zonas que presentan mayor cantidad de árboles, afectan de manera positiva a la cobertura liquénica y por adición, a la mejora en la calidad de aire en las ciudades, por funcionar estas, como zonas de amortiguamiento a la contaminación atmosférica de origen vehicular.

Según Zambrano, A y Rodríguez, C. (2011). A partir de 1866 varias especies de líquenes han sido identificadas como indicadores de calidad ambiental. En 1960 se dio un crecimiento

exponencial de los estudios de estos organismos como bioindicadores, al ser identificado el SO₂, CO, CO₂ e hidrocarburos; como los factores principales que influye en su crecimiento, distribución y salud.

Por lo general se observa una correlación negativa entre la diversidad de los líquenes y la concentración de contaminantes. Cuando los niveles de contaminación atmosférica son bajos, los líquenes se desarrollan con abundancia media y alta sobre troncos de árboles, suelo y/o rocas, mientras que, si la misma es alta, sus densidades poblaciones tienden a disminuir o desaparecer por completo.

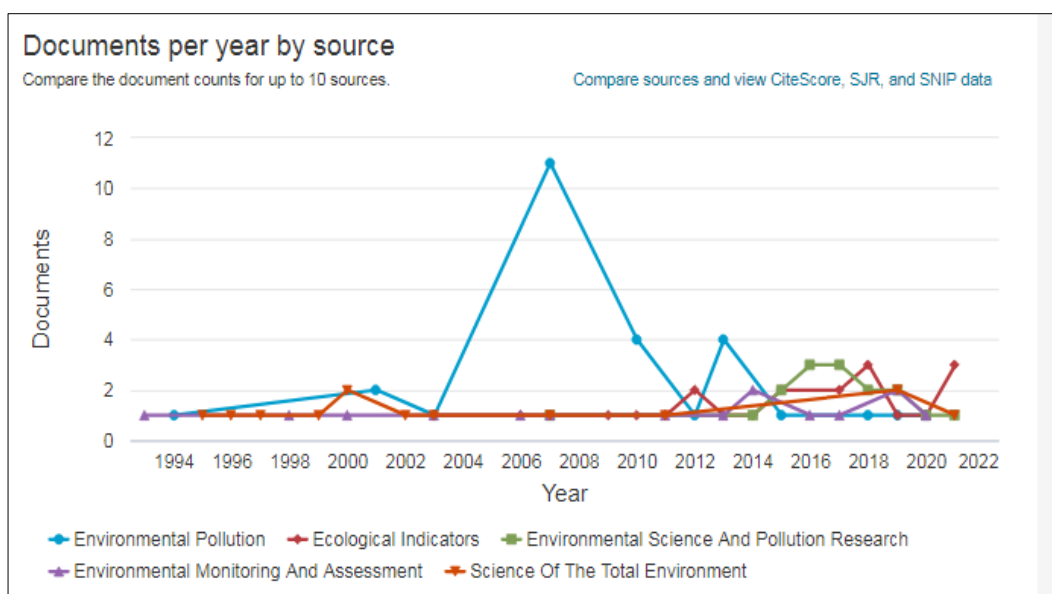


Figura 2. Documentos publicados por año y por fuente bibliográfica

Fuente: Scopus®

Según Quispe, k; Ñique, M y Chuquilín, E. (2013). Estudio realizado en Tingo María Perú, muestra la eficiencia de los Líquenes como boindicadores de contaminantes atmosféricos de origen vehicular, estos estudios se realizaron en 5 zonas de la ciudad de Tingo María a partir de

la aplicación de método IPA, en ellos determinaron 3 especies *Physcia lopezii*, *Pertusuarina* sp., *Hyperphyscia pyvithrocardia* y *Chrysothrix candelaris*. Siendo las especies más tolerantes a los contaminantes *Physcia lopezii* e *Hyperphyscia pyvithrocardia*, y *Chrysothrix candelaris* más sensibles.

En composición y riqueza, según Mateus (2011) registra en la ciudad de Bogotá un total de 113 especies de líquenes folícolas, pertenecientes a 31 géneros, 13 familias y 7 órdenes y se presentan entre las familias más ricas: Gomphillaceae, Pilocarpaceae, Arthoniaceae, Porinaceae y Strigulaceae; también Lavornin et al. 2016 registra 70 especies en la ciudad de Buenos Aires pertenecientes a 21 familias representadas por 35 géneros diferentes, aunque las Parmeliaceae y Physciaceae concentraron el 54,28% y 57,14% de las especies y géneros respectivamente; Ramírez & Cano (2005) reporta 38 especies, agrupadas en 29 géneros y 17 familias y además del grupo imperfecto; así mismo (Hernandez , 2010) aporta una colección de líquenes del Herbario Nacional de Venezuela (VEN) que cuenta con 14, 090 ejemplares de los cuales 10, 680 sp. son nacionales; 2769 extranjeros y 48 biotipos por citar trabajos referentes a la riqueza Liquélica (Valdivia, 2018).

En Colombia Jaramillo y Botero (2011) seleccionaron dos áreas de muestreo. El monitoreo se realizó sobre las cortezas de 4 especies arbóreas como forofitos: *Terminalia catappa* Linneaus, *Eritrina fusca* Loureiro, *Mangifera indica* Linneaus y *Fraxinus chinensis* Roxb. Para los análisis se consideraron las variables cobertura líquénica por especie, vitalidad y fructificación del talo. Finalmente los datos de cobertura fueron utilizados para determinar el índice de pureza atmosférica (IPA) y el factor Q. Los resultados evidenciaron que de las 8

especies de líquenes encontradas, *Canoparmelia* sp. y *Parmotrema austrosinensis* (Zahlbr) Hale. son las más sensibles y apropiadas para estudios de calidad del aire en el Valle de Aburrá. Los análisis estadísticos realizados a los valores de abundancia relativa por forofito mostraron que *Fraxinus chinensis* Roxb es la especie vegetal portante más apropiada para estudios de líquenes bioindicadores en el Valle de Aburrá.

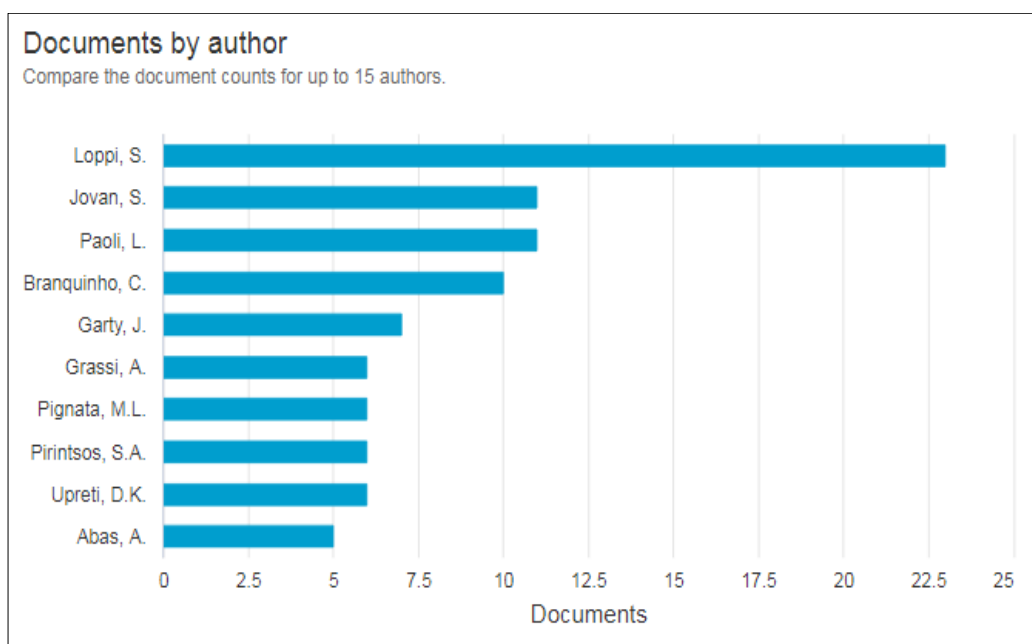


Figura 3. Documentos publicados por autor en los últimos 10 años

Fuente: Scopus®

Efectos de la contaminación del aire: Los cambios en las proporciones normales de los componentes del aire ocasionan efectos negativos en los seres vivos, en los materiales y en los ecosistemas que pueden valorarse a corto plazo (por ejemplo, los daños en la salud humana) o a largo (como el cambio climático). Si tenemos en cuenta el radio de acción, podemos hablar de efectos locales (los ocasionados por cada uno de los contaminantes), efectos regionales (la lluvia ácida) o efectos globales, que afectan a todo el sistema terrestre (el cambio climático) (Ambrosio & Bringas, 2017)

La Organización Mundial de la salud (2019) estima la mala calidad de aire por el uso de combustibles sólidos y la contaminación del aire en las zonas urbanas es responsable de 3,1 millones de muertes prematuras en todo el mundo y del 3,2% de la carga mundial de enfermedades cada año. Más de la mitad de la carga de enfermedad causada por la contaminación del aire es percibida por las personas en los países en desarrollo. La contaminación del aire es relacionada con diversos daños a la salud, lo que incluye enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Ante una reducción de contaminantes, a la vez disminuiría las enfermedades causadas por las condiciones de la mala calidad de aire. La organización mundial de la salud sugiere regulaciones para controlar la contaminación urbana, emisiones de industria y políticas para el tráfico vehicular siendo estos los mayores fuentes de contaminación (Quispe, 2020).

2.2 Marco conceptual

Líquenes: organismo que surge a partir de la simbiosis de algas unicelulares con hongos, Esta simbiosis se produce cuando el hongo absorbe nutrientes del alga. Para esto es habitual que el hongo penetre en las células del alga. Una vez concretada la simbiosis, el líquen se alimenta de las sustancias que el alga sintetiza mediante la fotosíntesis.

Los líquenes se desarrollan en ambientes húmedos, creciendo como costras o láminas en cortezas de árboles o sobre piedras.

(IPA) :El método del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) permite evaluar la calidad del aire con líquenes, combinando el número de especies presentes en un sitio con la sensibilidad de éstas a ciertos contaminantes ambientales.(Provincia & Luis, 2006) La fórmula del IPA que utiliza la frecuencia como parámetro de bioindicación ha demostrado ser la más eficaz (Kricke y Loppi 2002); además que aporta datos sobre la cobertura líquénica y la diversidad de especies (Calatayud Lorente y Sanz Sánchez 2000). Este índice puede ser también identificado en la bibliografía como “Lichen Biodiversity” (LB) (Ferretti et al. 2004).

Contaminación atmosférica: La contaminación atmosférica es la presencia que existe en el aire de pequeñas partículas o productos secundarios gaseosos que pueden implicar riesgo, daño o molestia para las personas, plantas y animales que se encuentran expuestas a dicho ambiente.(Provincia & Luis, 2006)

Bioindicadores (indicadores biológicos): Son atributos de los sistemas biológicos que se emplean para descifrar factores de su ambiente

Las especies indicadoras son aquellos organismos (o restos de los mismos) que ayudan a descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento actual (o pasado) relacionado con el estudio de un ambiente.(Ver Bibliografía, 2021)

Calidad de aire: Se define la inmisión o calidad del aire como la concentración de contaminante que llega a un receptor, más o menos lejano de la fuente de emisión, una vez transportado y difundido por la atmósfera.(Sostenibles et al., 2021)

Simbiosis: Es aquella interacción o relación estrecha, persistente e indispensable entre organismos de diferentes tipos de especies.

Es decir, interacciones o asociaciones biológicas entre especies de un ecosistema, para compartir obteniendo beneficios positivos o negativos para algunos y competir por recursos de la naturaleza.

Emisión: Descarga a la atmósfera continua o discontinua de materias, sustancias o formas de energía procedentes, directa o indirectamente, de cualquier fuente susceptible de producir contaminación atmosférica.

2.3 Marco contextual

El Municipio de Mocoa está ubicado en la parte norte del Departamento del Putumayo, fisiográficamente comprende una variada gama de geofomas que van desde Laderas altas de cordillera hasta planicies ligeramente onduladas. De su área total, 1.263 kilómetros, la mayor

extensión comprende zonas de montaña, correspondientes a Laderas Altas de Cordillera, cuyas características geomorfológicas son pendientes mayores al 75%, valles en V y suelos superficiales. Estarían ubicados en la parte alta de la cuenca del río Mocoa y el Río Cascabel, en estribaciones del Cerro Juanoy, su altura sobre el nivel de mar oscila entre 2.000 y 3.200 metros. Posteriormente se podrían identificar las zonas de Laderas Bajas de Cordillera, correspondientes a superficies de transición entre las zonas de alta montaña y la región de Piedemonte. Se caracterizan por pendientes entre 1.200 y 2.000 metros sobre el nivel del mar. Estas zonas estarían ubicadas en los nacimientos de los Ríos Pepino, Rumiyaco, Mulato, Campucana, la parte media de la subcuenca del río Mocoa y la parte alta de la serranía del Churumbelo. La Unidad de relieve siguiente se denomina Piedemonte Cordillerano y corresponde a zonas de colinas altas y bajas, con terrazas fuertemente disectadas y con pendientes que oscilan entre 10% y 50%. Esta unidad fisiográfica, estaría ubicada en la Tebaida, Pepino, San Antonio, Monclart, en la parte media de los Ríos Pepino, Rumiyaco, Eslabón, Mocoa y en las estribaciones de la serranía de Churumbelo. La Capital del Departamento se podría ubicar dentro de esta zona. La altura sobre el nivel del mar estaría entre 600 y 1.200 metros. Por último se clasificarían como Planicies Ligeras y Medianamente onduladas, a las geformas que caracterizan las zonas de Puerto Limón, el Picudo y las colinas bajas del Piedemonte cordillerano. La pendiente varía entre 0 y 10% de su altura sobre el nivel del Mar y va desde los 400 a 600 metros.

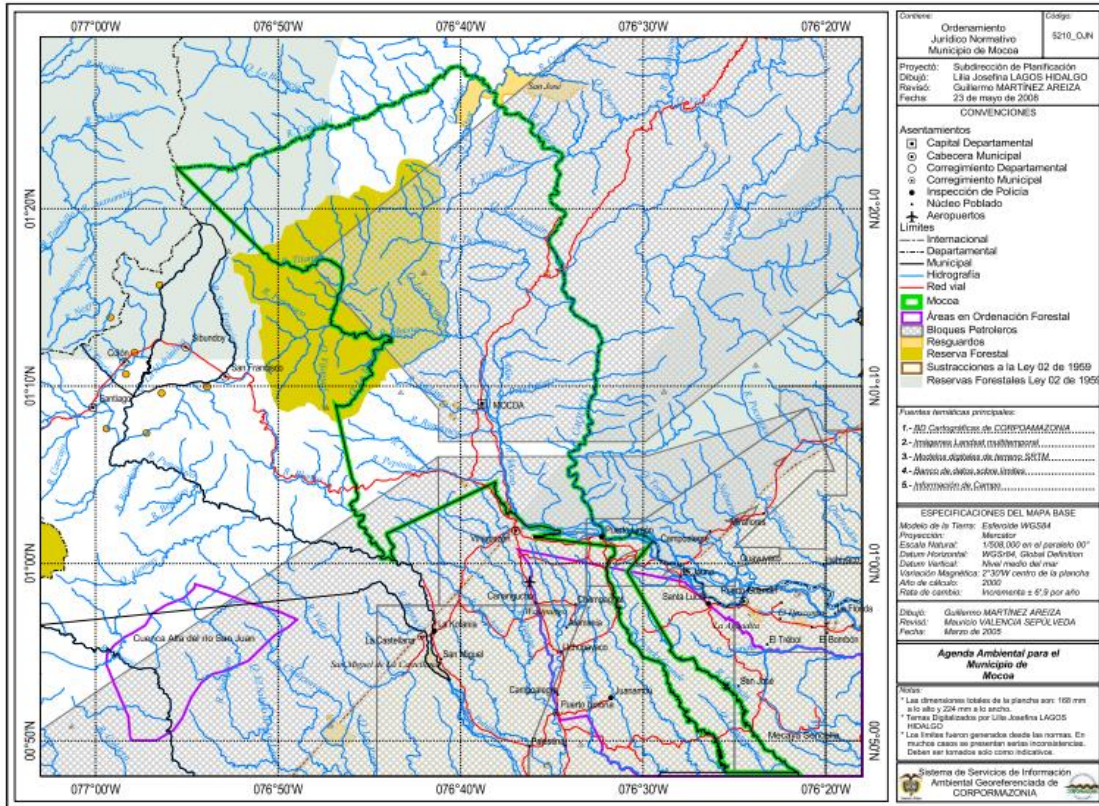


Figura 4. Ordenamiento jurídico Normativo del municipio de Mocoa

Fuente: CORPOAMAZONIA

Población: “La población del Municipio de Mocoa, según la proyección del DANE 2005 para el año 2013 es de 40.579 habitantes, con un total de 19.954 hombres representando el 49.17% de la población y 20.625 mujeres que equivalen a un 50.83% de la población. Cabe aclarar que las 23.502 personas víctimas del desplazamiento, reportadas por el Departamento de la Prosperidad Social (DPS) a diciembre de 2011, no se tuvieron en cuenta en las proyecciones del DANE. La tasa de crecimiento anual de la población del departamento es de 1.0%, la tasa general de fecundidad es de 70.49%, la tasa bruta de natalidad es del 17.50% y la tasa bruta de mortalidad es 3.24% según fuente DANE Conciliación Censal Proyecciones de población 2005-2020. En cuanto a la condición étnica, según datos del Boletín Censo General

2005 con proyección 2013, se encuentra integrada en un 77% (31.246) por mestizos y colonos, 17 % (6,898) por indígenas la población indígena corresponde a familias de comunidades de los pueblos Inga, Inga Caméntsa, Yaconas, Nassa, Caméntsa, Pastos; y un 6% (2.434) por afro descendientes. El grupo de edad, con mayor número de población se encuentra en el rango de edades de 0 a 24 años con un total de 20.697.”²⁰ En el municipio de Mocoa se puede observar una diversidad cultural importante. Esta región del país acoge a personas y familias emprendedoras provenientes de todas partes del país, en busca de oportunidades laborales e incursionando en el comercio.

2.4 Marco legal

NORMATIVIDAD	CONCEPTO
<p>Constitución Política de Colombia. Capítulo III. De los derechos colectivos y del ambiente. Artículo 79.</p>	<p>Establece que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano.</p>
<p>▪ Resolución 2811 del 18 de diciembre de 1974</p>	<p>Por el cual se dicta el código de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente.</p>
<p>Ley 99 de 1993. Ley General Ambiental de Colombia</p>	<p>A través de esta norma se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA).</p>

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Decreto 948 DE 1995 (junio 5) Diario Oficial No. 41.876 ministerio del medio ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resolución número (650) 29 de marzo de 2010 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “Por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire”.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resolución número (651) 29 de marzo de 2010 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “Por la cual se crea el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire - SISAIRE”.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resolución número (601) 04 de abril de 2006 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.
<p>Resolución 610 de 2010. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.</p>	<p>Norma de calidad del aire o nivel de inmisión. Comprende conceptos como aire, área-fuente, atmósfera, CO, entre otros, además de modificar los niveles máximos permisibles para contaminantes</p>
<p>Resolución 2254 de 2017. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.</p>	<p>Se establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión y adopta disposiciones para la gestión del recurso aire en todo el territorio nacional.</p>

Tabla 1. Marco legal vigente colombiano.

3. Objetivos

○ 3.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del aire con la implementación de líquenes bioindicadores en la zona urbana del municipio de Mocoa/putumayo

○ 3.2 Objetivos específicos

- Identificar las especies de líquenes presentes en las zonas verdes del municipio de Mocoa
- Analizar la calidad del aire mediante la implementación de índices de diversidad, pureza atmosférica (IPA) y evaluación histológica.

4. Metodología

Objetivo específico 1: *Identificar las especies de líquenes existentes en los mosaicos de vegetación.*

Para la realización del presente estudio de la calidad del aire por medio de líquenes bioindicadores, se tendrá en cuenta la siguiente metodología:

a.) Revisión bibliográfica del uso de líquenes como bioindicadores a nivel internacional, nacional, y local.

b.) Determinación de elementos y unidades experimentales

Delimitación puntos de muestreo: Para la selección de los puntos de muestreo (coberturas vegetales, zonas verdes etc.) se realizaron visitas de campo con el fin de diagnosticar, georeferenciar y establecer el área de estudio (Identificación de las actividades cercanas a la zona comercial, residencial e industrial). Así mismo, se tendrá en cuenta las condiciones del ambiente (zonas de contaminación y zonas sin contaminación)

Selección de los árboles: En esta fase se realizó reconocimiento en la zona de estudio para seleccionar los individuos ‘especies arbóreas’ sobre los que se realizaría el inventario de líquenes, para ello se tendrá en cuenta las siguientes características de acuerdo con lo propuesto por (Angela Canseco, Rafael Anze, & Margot Fraken, 2006):

- Diámetro del tronco comprendido entre 20 y 40 cm y aproximadamente entre 60 y 120 cm de perímetro. La medición correspondiente se realizó a cada árbol de manera individual usando un metro; de modo que así se puede estimar que los individuos seleccionados pertenezcan a árboles con edades parecidas.

- Ejemplares no incluidos en formaciones arbóreas excesivamente cerradas.
- Individuos de corteza rugosa.
- Árboles inclinados, deteriorados y de corteza lisa serán excluidos.

Como medida de aseguramiento se tomarán datos para cada árbol de: ubicación geográfica utilizando un GPS, diámetro a la altura del pecho utilizando un metro y pH ex-situ de cada uno de los árboles seleccionados, con el propósito de demostrar que los líquenes a monitorear están creciendo en condiciones similares en cuanto al sustrato en el que se encuentran; para este último, se recolectará una pequeña muestra de corteza de cada árbol, las cuales se almacenarán en bolsas de papel (con el fin de reducir la pérdida de sustancias volátiles presentes en la corteza) debidamente marcadas y cada muestra se procesará en el laboratorio del Instituto tecnológico del Putumayo, la medición del pH se realizará tomando 1gr de corteza por cada árbol, se realizará un triturado hasta que quede en trozos muy pequeños y se macerará durante 2 minutos en agua destilada, se deja reposar durante 10 minutos y luego se mide el pH con un multiparametro.

D.) Muestreo por la metodología de mallas por cuadrantes

El método propuesto por Canseco et al, (2006) será utilizado para el estudio del muestreo de líquenes en las zonas seleccionadas. Los forofitos a seleccionar para el estudio, serán escogidos de acuerdo a los criterios mencionados anteriormente:

Se seleccionarán 10 puntos por cada zona para el estudio de muestreo, teniendo en consideración las siguientes características:

- Presencia de forofitos con presencia de líquenes
- Determinación de los transeptos, los cuales corresponden a sectores adyacentes al tráfico vehicular

	
<p>Identificación malla por cuadrantes:Jardin botanico</p>	<p>Identificación malla por cuadrantes:Zona urbana</p>

Tabla 2. Identificación malla por cuadrantes

En cada zona de monitoreo se aplicò la metodología para el análisis de datos cuantitativo conocido como cartografía de líquenes a cada forófito seleccionado, siguiendo la Norma VDI-3799 (1991), y adaptada por Nimis (1999). Se utilizó una rejilla de relevamiento de líquenes, en donde la altura de muestreo oscila entre 1,50 hasta 2 m que es la altura donde las personas se ven afectadas por la contaminación atmosférica (inmisión). La rejilla cuenta con una superficie de 1 m² para cada lugar de muestreo, conformada por 10 cuadrados (2x5 cuadrados), donde cada cuadrado de la rejilla equivale a un área de 10x10 cm². Los parámetros medidos en cada forófito serán los siguientes: frecuencia (número de cuadrados en los que se encuentra una especie de estudio) y cobertura/abundancia (porcentaje de dicha especie en la superficie cubierta). La riqueza de especies de líquenes y su abundancia se determinó por árbol y por zona de estudio, donde la Riqueza (S) resulta ser el número de especies presentes.

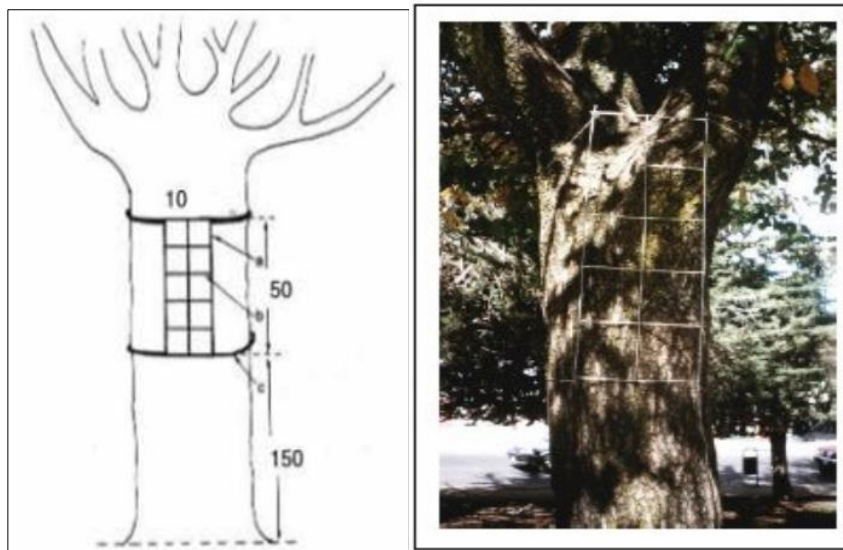


Figura 5. Esquema cuadrante de la rejilla para el relevamiento de líquenes según la Norma VDI-3799 (1991) y adaptada por Nimis (1999)

Se registró fotográficamente cada cuadrante de la rejilla para evidenciar la presencia y/o ausencia de líquenes. Posteriormente, el formato de ficha de campo se llenará con la información de datos recolectados en el muestreo, así como el conteo de especies de líquenes y número de individuos por especie hallados en cada cuadrícula. Seguidamente se colectò una muestra de cada especie, la cual se almacenò en bolsas de papel Kraft y se depositò en el herbario etnobotánico del Instituto tecnológico del Putumayo para evitar que el material se dañe es conveniente una vez que esté bien seco, envolverlo en bolsas de plástico y congelarlo a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante unas 48 horas.

E.) Determinación taxonómica de los líquenes y preservación

La determinación taxonómica se realizara con el apoyo del Herbario etnobotánico del Instituto tecnológico del Putumayo, siendo posible identificar género y especie de cada liquen. De igual manera, se utilizaran 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.

Para evitar que el deterioro de las muestras biológicas estas se envolverán en bolsas de plástico y se congelaran a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante unas 48 horas. Se almacenara el material evitando el ataque de insectos y hongos en cajas bien cerradas, lo más hermético posible y colocando bolsitas de silica gel en las cajas (Fig.6).

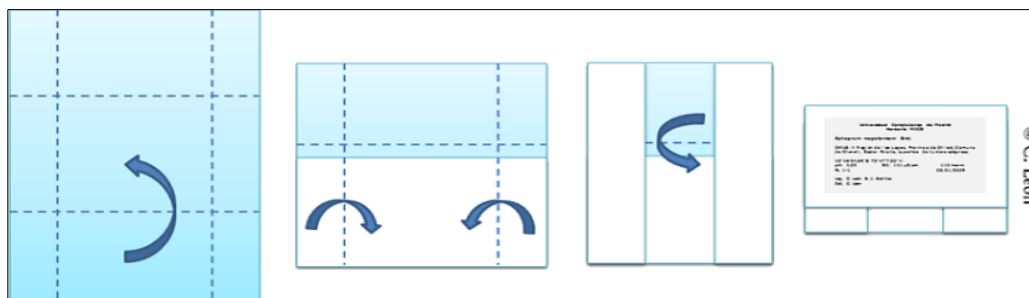


Figura 6. Sobres para líquenes (las líneas punteadas indican doblez)

La etiqueta final debe contendrá: *Nombre del líquen* (preferiblemente a nivel de especie); País. Departamento provincia: Localidad; Coordenadas geográficas; Altitud; Hábitat; Fecha de recolección; Legit (recolector) y Número de colección; Determinavit (identificador).

Universidad Complutense de Madrid Herbario MACB Turberas de Chiloé-Chile		
<hr/> <i>Sphagnum magellanicum</i> Brid.		
CHILE: X Región del los Lagos, Provincia de Chiloé, Comuna de Chonchi, Sector Púlpito. Superficie de turbera esfagnosa, sobre montículo.		
42°45'24,59"S	73°47'7,20"W	
pH: 4,02	EC: 141 µS/cm	110 msnm
PL 1-1		03/01/2009
Leg. C. León & A. Benítez Det. C. León		

Figura 7: Etiquetado

Objetivo específico 2: Analizar la calidad del aire mediante la implementación de índices de diversidad, pureza atmosférica (IPA) y evaluación histológica.

Para el desarrollo del presente objetivo, se utilizaron los índices de diversidad biológica, los cuales expresan el número de especies y abundancia relativa de las mismas en una comunidad.

En este orden de ideas el Índice de diversidad se calcula a través de expresiones matemáticas que relacionan el número de especies de una comunidad y los valores de importancia tales como número, biomasa, productividad, etc., de los individuos.

El Índice de Shannon-Weiner: Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir

a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Magurran, 1988; Peet, 1974; Baev y Penev, 1995). Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están presentadas en la muestra. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran, 1988).

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Figura 8. Formula índice de Shannon Wiener

Donde:

p_i = Abundancia proporcional de la i ésima especie

“El valor calculado a partir de esta fórmula se corresponde con el valor medio de IPA para una especie forestal concreta en la parcela en la que se han realizado los inventarios” Amman et al., (1987).

B.) Índice de Pureza atmosférica

fórmula modificada por Jaramillo y Botero

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

Figura 9. Formula índice de pureza atmosférica (IPA)

En la cual:

C_i : Cobertura relativa de la especie i en la estación j

F_i : Frecuencia de la especie i (número de forofitos de la estación j en que aparece la especie i)

Q : Grado de sensibilidad de las especies encontradas.

n: Número de forofitos censados en la estación j

C.) Marcadores histológicos

Los líquenes responden a la contaminación del aire de diferentes maneras, y una de ellas, es a través de síntomas, los cuales se presentan al acumular contaminantes en grandes cantidades. Entre los síntomas que podemos observar en los líquenes que habitan lugares muy contaminados están:

- 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.

5. Resultados

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>Cryptotheci a</i>	<i>Rubrocincta</i>
<i>Physcia</i>	<i>Adscenden s</i>
<i>Colaplacea</i>	<i>Sp</i>

Tabla 3. 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 líquenica 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 4. Taxonomía de líquenes encontrados Zona urbana

**Registro fotográfico de especies de líquenes encontrados
Jardin botanico**



Dirinaria Picta



Graphis Scripta



Rimelia Reticulata



Chrysotrix Candelaris



Parmotrema Perlatum



Lobaria Amplissima





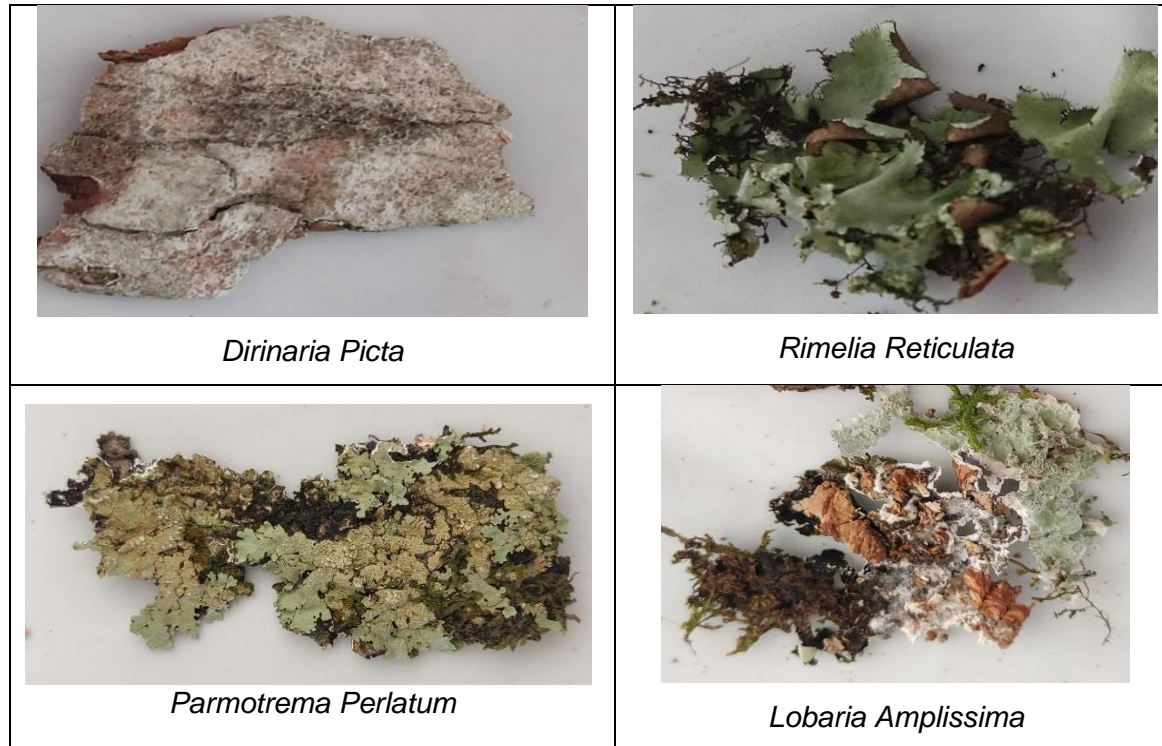
	
<p><i><u>Bacidia Sp</u></i></p>	<p><i>Cryptothecia Rubrocincta</i></p>
	
<p><i>Physcia Adscendens</i></p>	<p><i>Colaplaca Sp</i></p>

Tabla 5. Registro fotográfico de especies de líquenes encontrados -Jardín botánico.

Zona urbana**Tabla 6.** Registro fotográfico de especies 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 7. Valores e interpretación índice de Shannon Wiener.

Fuente:Magurran (1988)

Índice Shanon Wiener (Jardín botanico ITP)

Espece	Cantida d	Abundancia relativa "pi"	LN2 "PI"	PI * LN2(pi)
Dirinaria	50	0,40	-1,33	-0,53
Graphis scripta	16	0,13	-2,98	-0,38
Rimelia	20	0,16	-2,66	-0,42
Chrysotrix	12	0,10	-3,39	-0,32
Parmotrena	16	0,13	-2,98	-0,38
Lobaria	4	0,03	-4,98	-0,16
Bacidia	1	0,01	-6,98	-0,06
Cryptothecia	1	0,01	-6,98	-0,06
Physcia	4	0,03	-4,98	-0,16
Colaplaca	2	0,02	-5,98	-0,09
	126	1	-43,22	-2,55

H'

2,55

Tabla 8. Valores muestreo para evaluar abundancia-Jardin botanico

Teniendo en cuenta la tabla de valores del índice de shanon wiener y contrastando con los valores obtenidos en el jardín amazonico tropical del instituto tecnologico 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.

Índice Shanon Wiener (Zona urbana)

Especie	Cantidad	Abundancia relativa "pi"	LN2 "PI"	PI * LN2(pi)
Dirinaria	36,00	0,58	-0,78	-0,46
Rimelia	11,00	0,18	-2,49	-0,44
Parmotrema	13,00	0,21	-2,25	-0,47
Lobaria	2,00	0,03	-4,95	-0,16
	62,00	1,00	-5,53	-1,37
			H'	1,37

Tabla 9. Valores muestreo para evaluar abundancia-Zona urbana.

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.

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

Índice de pureza atmosférica

Tabla 10. 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. tropical.

Qi	Fi	IPA
1,5	50	75
1,5	16	24
1,5	20	30
1,5	2	3
1,5	16	24
1,5	4	6
1,5	4	6
1,5	2	3
1,5	1	1,5
1,5	1	1,5
IPA		174

Tabla 11. 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.

Qi	Fi	IPA
1	36	36
1	11	11
1	13	13
1	2	2
IPA		62

Tabla 12. IPA zona urbana de Mocoa

Marcadores histológicos

La calidad del aire se puede medir mediante los síntomas y daños que se evidencian en los líquenes, manifiestas 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.

6. Discusión

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 que, 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 que; 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 liquénica, permitiendo que permanezcan sólo aquellas especies que logran adaptarse.(Lijteroff et al., 2022)

7. 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 corto, mediano, corto y largo plazo, para que de esta forma se puedan evaluar diferentes alteraciones ambientales al pasar de los años

8. BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- 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>
- 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](http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/IRENE%20MARES%20RUEDA.pdf)
- Umaña, L. (2021). LÍQUENES Y. 10 de Junio de 2021, 1–11.
- 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>
- 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.
- 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].

CHILEBOSQUE. Floras Regionales [en línea]. <<http://www.chilebosque.cl/regionales.html>> [Consulta: 03 de agosto de 2011].

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.

eFLORAS.ORG. Flora of Chile [en línea]. <http://www.efloras.org/flora_page.aspx?flora_id=60> [Consulta: 03 de agosto de 2011]

GAJARDO, R. 1994. La Vegetación Natural de Chile. Clasificación y Distribución Geográfica. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 165p.

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]

SINIA. SINIA territorial [en línea]. <<http://territorial.sinia.cl/portal/inicio.php>> [Consulta: 03 de agosto de 2011].

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

Definiciones, L. (2021). El vocablo griego. 3-5.

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/22522/21666>

Sostenibles, T. S., So, M. De, Isc, M. De, & Predictivos, M. (2021). Estudios Ambientales Contaminación Atmosférica Aguas (+ info) Residuos (+ info). 4–9.

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.

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.

Cabrera, Gabriel Gustavo Giacobone y Sonia Elizabeth. 2009. Líquenes como bioindicadores de calidad del aire . Buenos Aires- Argentina : s.n., 2009.

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.

Nimis, L. (1999). Linee-guida per la bioindicazione degli effetti dell'inquinamento tramite la biodiversita dei licheni epifiti. Biomonitoraggio de lia qualita dell aria, 267-277'.

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)

-
- Quispe, R. K. P. (2020). Evaluacion 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>
- Valdivia, O. G. V. (2018). Evaluacion de la calidad del aire mediante el indice de pureza ambiental y el analisis de metales pesados en el líquen *Xanthoparmelia* sp. (Vain.) Hale en la ciudad de Puno. Universidad nacional del Altiplano.
- 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), 107-1

