



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER
EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**LÍQUENES: LOS BIOINDICADORES DE LA CALIDAD
DEL AIRE**

Autora: Estudiante Maria Estelita Torres Sanchez

Asesor: Bach. Jesús Rascón Barrios

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER
EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**LÍQUENES: LOS BIOINDICADORES DE LA CALIDAD
DEL AIRE**

Autora: Estudiante Maria Estelita Torres Sanchez

Asesor: Bach. Jesús Rascón Barrios

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2019

DEDICATORIA

*A Dios, el Forjador de mi camino,
por cuidar siempre de mí, iluminarme
y guiarme por el sendero del bien,
por estar acompañándome a cada momento de mi vida,
por brindarme el don de la perseverancia para alcanzar mi gran meta.*

*A mis padres, por haberme forjado como la
persona que soy en la actualidad, por su
amor, por su gran apoyo mutuo e
incondicional, por sus consejos y paciencia
que me brindan día tras día para alcanzar
mis metas propuestas.*

*A mis compañeros, por el fuerte e increíble lazo de amistad,
por su complicidad, por su aprecio, su compañía,
sobre todo, por el sin número de traspasadas
que pasamos éstos cinco largos años para terminar
la carrera universitaria.*

Estelita Torres

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo y sincero agradecimiento:

A la Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), por ser mi casa de estudios, por abrirme las puertas y acogerme y así poder desarrollarme plenamente como una profesional competente.

A mi asesor, Blgo. Jesús Rascón Barrios, por guiarme en éste complicado proceso, por su tiempo que se dio para apoyarme en la realización de ésta investigación.

A todas las personas que estuvieron conmigo, brindándome su apoyo, compartiendo sus conocimientos, y que de alguna u otra manera aportaron para el desarrollo de dicha investigación.

¡Mil Gracias, Que Dios Les Bendiga!

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI

Rector

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Vicerrector Académico

Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN

Vicerrectora de Investigación

M.Sc. EDWIN ADOLFO DÍAZ ORTIZ

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR

Yo, Blgo. **Jesús Rascón Barrios**, identificado con Carnet de Extranjería N° 001483863, docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, hago constar que he asesorado la ejecución del Trabajo de Investigación titulado “**Líquenes: Los bioindicadores de la calidad del aire**”, elaborado por la estudiante **Maria Estelita Torres Sanchez**, estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

Habiendo revisado el informe final del Trabajo de Investigación en mención doy la conformidad y el **Visto Bueno** para continuar con los trámites correspondientes.

Chachapoyas, 12 de diciembre del 2019



Blgo. Jesús Rascón Barrios
Asesor

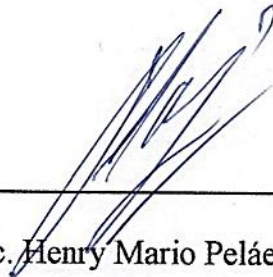
JURADO EVALUADOR



Dr. Ricardo Edmundo Campos Ramos
Presidente



M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje
Secretario (a)



M.Sc. Henry Mario Peláez Rodríguez
Vocal

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, **Maria Estelita Torres Sanchez** identificada con DNI N° 70069720, Estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Declaro bajo juramento que:

- 1°. Soy la autora del Trabajo de Investigación titulado **“Líquenes: Los bioindicadores de la calidad del aire”**, la misma que presento para optar el grado académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental.
- 2°. El Trabajo de Investigación **no ha sido plagiado, ni total ni parcialmente**, y para su realización se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
- 3°. El Trabajo de Investigación presentado **no atenta contra derechos de terceros**.
- 4°. El Trabajo de Investigación **no ha sido publicado ni presentado anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional**.
- 5°. La información presentada es real y **no ha sido falsificada, ni duplicada, ni copiada**.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda la responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de Investigación, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el Trabajo de Investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción.

Chachapoyas 12 de diciembre de 2019.



Maria Estelita Torres Sanchez

DNI N° 70069720

ANEXO 1-L

**ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DEL
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

En la ciudad de Chachapoyas, el día 02 de Diciembre del año 2019, siendo las 7:00 p.m. horas, el aspirante María Estelita Torres Sanchez defiende en sesión pública el Trabajo de Investigación titulado: Líquenes: Los Bioindicador de la calidad del aire

para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Dr. Ricardo Edmundo Campos Ramos
Secretario: M.S.C. Jefferson Fitzgerald Reyna Farje
Vocal: M.S.C. Henry María Peláez Rodríguez

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Cuerpo del Trabajo de Investigación y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa del Trabajo de Investigación presentado, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre el mismo, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideran oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto, a fin de que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida al Trabajo de Investigación, en términos de:

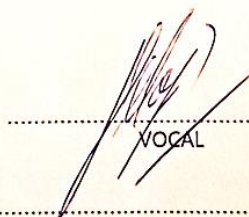
Aprobado () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 7:40 p.m. horas del mismo día, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación del Trabajo de Investigación.



SECRETARIO



VOCAL



PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR	vi
JURADO EVALUADOR	vii
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO	viii
ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	ix
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
I. INTRODUCCIÓN	16
II. CUERPO DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1. Antecedentes de la investigación	19
2.2. Principales contaminantes del aire	21
2.2.1. Monóxido de carbono (<i>CO</i>)	21
2.2.2. Óxidos de Nitrógeno (<i>NO_x</i>)	21
2.2.3. Dióxido de azufre (<i>SO₂</i>)	21
2.2.4. Ozono (<i>O₃</i>)	22
2.2.5. Metales pesados	22
2.2.6. Estándares de calidad del aire	22
2.3. Líquenes	23
2.4. Efectos de los contaminantes sobre los líquenes	25
2.5. Uso de índices con líquenes	26

2.5.1. Índice de Jaccard (Similitud/Disimilitud)	26
2.5.2. Índice de Shannon -Wiener (Diversidad)	26
2.5.3. Índice de Pureza Atmosférica (IPA)	27
2.6. Mapeo a través de los líquenes	29
2.7. Diferentes climas a evaluar	30
2.7.1. Mediterráneo	30
2.7.2. Continental	31
2.7.3. Tropical	32
III. CONCLUSIONES	34
IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estándares de Calidad Ambiental para Aire	23
Tabla 2. Rango de Clasificación de Datos	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Líquen crustáceo.	25
Figura 2. Líquen folioso.	25
Figura 3. Líquen fruticulososo.	25

RESUMEN

Los líquenes o también denominados hongos liquenizados, son biomonitores, bioacumuladores y bioindicadores, usados para evaluar y/o determinar la calidad de aire de una zona a estudiar. Esto es posible a su alta sensibilidad a cambios derivados de la contaminación del medio donde se encuentran contaminantes atmosféricos como el CO, etc, que provienen de fuentes fijas o móviles; naturales o artificiales, que afectan a su abundancia, distribución y cobertura, también inciden en cambios morfológicos y procesos fisiológicos de los líquenes. Poseen características muy ventajosas a otros organismos, entre ellos carecer de cutícula, de raíces, son cosmopolitas, poiquilohídricos, captaran sus nutrientes del aire, entre otros. Todas estas características los hace excelentes bioindicadores. Del mismo modo, actúan como sistemas de alerta, permitiendo tomar medidas para confrontar los impactos negativos.

Existen muchos estudios con respecto a líquenes como bioindicadores para monitorear la calidad del aire a lo largo del tiempo, y como biomonitores y bioacumuladores de metales pesados. En la mayoría de las investigaciones se usa el Índice de Pureza Atmosférica (IPA). Dicho índice incluye datos de frecuencia, cobertura, número de forofitos censados y el factor de resistencia (Q_i), permite generar mapas de isocontaminación.

Palabras Clave: Líquenes, calidad de aire, sensibilidad líquénica, forofitos

ABSTRACT

Lichens or also called lichenized fungi, are biomonitors, bioaccumulators and bioindicators, use to evaluate and or determine the air quality of an area to study. This is possible due to its high sensitivity to changes derived from the contamination of the environment where atmospheric pollutants such as CO, etc., that come from fixed or mobile sources; natural or artificial, which affect its abundance, distribution and coverage, also affect morphological changes and physiological processes of lichens. They have very advantageous characteristics to other organisms, among them lack of cuticle, of roots, they are cosmopolitan, poikylhydric, they will capture their nutrients from the air, among others. All these characteristics make them excellent bioindicators. In the same way, they act as warning systems, allowing measures to be taken to confront the negative impacts.

They are many studies regarding lichen as bioindicators to monitor air quality over time, and as heavy metal biomonitors and bioaccumulators. In most investigations, the Atmospheric Purity Index (IPA) is used. This index includes data of frequency, coverage, number of censored forophytes and the resistance factors (Q_i), allowing the generation of isocontamination maps.

Key Words: Lichens, air quality, liquid sensibility, forophyt

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, uno de los grandes problemas ambientales que afecta a nivel mundial es la contaminación del aire. Éste fenómeno se agrava cada vez más debido al incremento de los avances tecnológicos y el desarrollo de las industrias y se va extendiendo en todos los países sin importar que éstos tengan un alto o bajo desarrollo socioeconómico. A mi parecer es un problema a nivel global, el cual está afectando al ambiente (Romero, Diego & Álvarez, 2006; Zhi, Chen, Hao, Wang, Song & Mok, 2017).

La contaminación del aire es la alteración nociva de los niveles de calidad y pureza del aire, debido a emisiones naturales o sustancias químicas y biológicas que se encuentran en la atmósfera en concentraciones superiores a sus niveles normales (ANMM, 2015), las cuales son producto por causas naturales (emisiones volcánicas, biogénicas, desérticas, ...) y mayormente antropogénicas (actividades realizadas por el hombre), como la minería, la industria de hidrocarburos, la tala y quema de árboles, siendo éstas últimas las que repercuten extremadamente negativa sobre la calidad del aire (Querol, 2008; Mateos & González, 2018).

El incremento masivo de los contaminantes tóxicos en la atmósfera son ocasionados por la combustión de hidrocarburos (gasolinas, gas y diésel) de los automotores; por el uso de madera para realizar actividades domésticas como cocinar (ANMM, 2015); por la excesiva quema de combustibles fósiles para la generación de electricidad (Huamán-Zelada, 2018); por el consumo de fertilizantes empleados para la producción agrícola, de igual forma los procesos industriales de cualquier índole, entre otros (Green & Sánchez, 2016). En las ciudades, la fuente principal de la contaminación del aire son los parques automotores (Quispe, Ñique & Chuquilin, 2013; Martín & Sánchez, 2018), los cuales están conformados en gran parte por antiguos vehículos que emanan contaminantes altamente peligrosos a la atmósfera, como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxidos de carbono (CO₂), entre otros. Según mi punto de vista la quema de combustibles fósiles también se enfoca para la generación de la termoeléctrica (Romero, Diego & Álvarez, 2006; Manninen, 2018).

Según el informe nacional sobre calidad del aire emitido por el MINAM (2014), señala que tanto las fuentes móviles como las fuentes fijas son las responsables mayormente de la contaminación del aire en zonas urbanas por el material particulado, cuyo diámetro aerodinámico es menor a 10 y 2,5 micras respectivamente (PM10 y PM2,5). Además de resaltar que el dióxido de azufre (SO₂) es generado principalmente por actividades antropogénicas. No obstante, indica que los incendios forestales (fuentes naturales) provocan en mayor magnitud contaminantes como el dióxido de nitrógeno (NO₂).

Los contaminantes primarios principalmente como el CO, CO₂, NO_x, SO₂, Ozono (O₃), generan impactos negativos en la atmósfera, tales como el aumento acelerado del calentamiento global, pérdida de la biodiversidad y modificación del clima (Gonzalez, et al., 2016; Ubilla & Yohannesses, 2017). Asimismo, provocan efectos irreversibles en la salud de las personas presentando con mayor severidad problemas respiratorios, enfermedades cardíacas y pulmonares, asma (Romero, Diego & Álvarez, 2006; Conde, & Caridad, 2013).

La concentración de contaminantes tóxicos que se exceden en la atmósfera, también inciden negativamente en los cambios de las composiciones de las poblaciones líquénicas. Está demostrado que la disminución de la calidad del aire es totalmente correlativa con la reducción y desaparición de los grupos líquénicos sensibles, ya que los contaminantes van debilitando su cobertura hasta quedar totalmente empobrecidos, mientras que los grupos de líquenes tolerantes sólo sufren pequeños cambios (Santoni & Lijteroff, 2006; Ochoa et al., 2015). Es por ello, que los líquenes son organismos considerados muy buenos bioindicadores para determinar la calidad del aire, por su alta sensibilidad a cambios que dañan su abundancia, biomasa y vitalidad (Jaramillo & Botero, 2010; Sumijaca, Morales & Vargas, 2014; Cohn-Berger & Quezada, 2016; Mendoza-Merino, 2018).

El uso de bioindicadores cada vez es más común a nivel mundial. En los últimos años, se ha convertido en un pilar muy importante en la gestión de la calidad del aire, debido a que aportan información sobre el estado del medio en el cual se desarrollan y su acción sobre ellos (Cohn - Berger & Quezada, 2016), los resultados cualitativos que se obtienen complementan a los resultados cuantitativos que se extraen mediante los métodos físico-químicos (Huamán-Zelada, 2018). Por otro lado, es una

alternativa económica, sin mantenimiento ni coste energético, de fácil manejo reemplazando así a equipos costosos para el monitoreo de la calidad del aire en una zona. De igual modo, advierten tempranamente los posibles daños y dan una panorámica general del nivel de contaminación del lugar, permitiendo prever peligros potenciales y tomar medidas inmediatas para mitigarlas (Jaramillo & Botero, 2010). Es por ello que esta investigación tiene el propósito de dar a conocer el rol tan importante que cumplen los líquenes, como herramientas para la gestión ambiental como bioindicadores.

II. CUERPO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Antecedentes de la investigación

Los primeros estudios aportados que relacionan la desaparición de los organismos liquénicos con la industrialización datan a mediados del siglo XIX, es más Grindom en 1859 afirma en su publicación denominada *The Manchester Flora*, que los líquenes han ido disminuyendo debido a la deforestación y a las emisiones de contaminantes atmosféricos de las plantas industriales (Ahmadjian & Hale, 1973), surgiendo así la idea de evaluar la calidad del aire mediante la presencia o ausencia de epífitos en ciertos puntos (Nylander, 1866).

A partir de 1930 fueron incrementando los estudios con respecto al uso de líquenes, dichos estudios eran más sofisticados en Europa, porque agregaron técnicas como la generación de mapas, como es el caso de LeBlanc y Sloover (1970) que emplearon el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) que ellos mismos propusieron con el fin de correlacionar los datos resultantes de dicho índice con la alta sensibilidad en el crecimiento de los líquenes epífitos en la ciudad de Montreal, Canadá. Determinaron unos rangos de contaminación, donde esta es mayor en el primer nivel de rangos y menor en el último nivel de rangos. Posteriormente se aplicó el mismo modelo en el noreste de la India, entorno a una fábrica de papel, mediante el uso del IPA, para luego elaborar un mapeo de zonas de estrés ambiental (Pulak, Santosh, Jayasshree & Upreti, 2013).

A nivel de Sudamérica hay muchos estudios, en los cuales han optado por el uso de líquenes, como bioindicadores para evaluar la calidad del aire. En la ciudad de San Luis (Argentina), la subdividieron en seis áreas para el respectivo muestreo, hicieron uso de los líquenes como indicadores de calidad del aire. De igual forma, utilizaron el IPA para determinar el grado de contaminación en ésta zona urbana. Llegando a concluir que la ausencia de éstos grupos liquénicos manifiesta la baja calidad de aire (Lijteroff, Lima & Prieri, 2009). El mismo método se aplicó en Tunja (Colombia), que a través de la determinación del IPA, se fijó un mapa de zonas de isocontaminación (Sumijaca, Morales & Vargas, 2014). Algo parecido se realizó en la ciudad de Cochabamba (Bolivia), generando mapas de isocontaminación usando el IPA (Gonzalez, et al., 2016). Del mismo modo, en la ciudad de Loja (Ecuador)

emplearon líquenes epífitos en siete parques de la ciudad para evaluar la calidad de aire. Para el muestreo de dichos líquenes tomaron en cuenta como forofito a una única especie (*Salix humboldtiana*). También emplearon el IPA para evaluar los distintos niveles de contaminación que existían con relación a las áreas seleccionadas (Ochoa et al., 2015).

Los líquenes también han sido usados para evaluar la calidad del aire en el corredor metropolitano en Guatemala. Donde Cohn-Berger & Quezada (2016), seleccionaron 32 puntos en el área mencionada para realizar el muestreo. Utilizaron 4 forofitos de la especie *Jacaranda Mimosifolia*. Tomaron datos como frecuencia y cobertura, seguidamente propusieron niveles de isocontaminación, a través del IPA, logrando concluir que la contaminación es similar alrededor del corredor.

En el Perú también hay estudios, que se han venido realizando con respecto a la utilización de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire, como es el caso de Quispe, Ñique & Chuquilin (2013), donde subdividieron la ciudad de Tingo María en cinco zonas de monitoreo, y tomaron 5 forofitos de la especie *Terminalia catappa* por zona. Desarrollaron la cartografía liquénica, obteniendo así el IPA por zona, concluyendo que los niveles de contaminación atmosférica en la zona urbana tenían una estrecha relación con las tasas de flujo vehiculares. Además, determinaron que las especies más tolerantes a la contaminación son *Physcia lopezii* e *Hyperphyscia pyvithrocardia* y la especie más sensible a la contaminación es *Chrysothrix candelaris*. Recientemente Villamar (2018), seleccionó la especie liquénica de nombre *Xanthoparmelia sp.*, para determinar la acumulación potencial que dicho líquen posee con respecto a los metales pesados. La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Puno, donde realizó un muestreo activo, ya que hizo un transplante del líquen, luego lo analizó en el laboratorio y al final procedió con el traslado a cada una de las 8 zonas de muestreo y a través del IPA determinó la calidad del aire.

En la región Amazonas, los estudios son mas bien escasos. Uno de ellos es el de Huamán-Zelada (2018), que empleó líquenes como bioindicadores de calidad de aire en la ciudad de Bagua Grande. Para realizar el muestreo de las especies liquénicas tomó seis sectores. Con los datos obtenidos del IPA,

demonstró qué sector es el más contaminado y su relación con el mayor tráfico vehicular. Otro estudio es el de Mendoza-Merino (2018), usando líquenes en la ciudad de Chachapoyas como bioindicadores para evaluar la calidad de aire, dividiendo la ciudad en seis sectores, y tomando 32 forofitos. A través del IPAM, generó mapas de isocontaminación, determinando el sector más contaminado además de reconocer y establecer que las fuentes que provocan los contaminantes atmosféricos, como el SO₂, son principalmente los vehículos y el comercio.

2.2. Principales contaminantes del aire

2.2.1. Monóxido de carbono (CO)

Es uno de los contaminantes más peligrosos, es un gas incoloro e inodoro. Proviene de fuentes vehiculares, de la quema de combustibles, principalmente la gasolina y carbón, y de los incendios forestales. Algunas de las consecuencias sobre los seres vivos son, afectos en el sistema nervioso central, enfermedades cardíacas y pulmonares, y hasta la muerte (MINAM - EDUCCA, 2009).

2.2.2. Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Éste grupo engloba tanto al monóxido (NO) como al dióxido de nitrógeno (NO₂), son contaminantes producidos por la descomposición bacteriana de los nitratos orgánicos, se incluyen de igual manera los incendios forestales y la erupción de volcanes. Por otro lado, derivan de fuentes antropogénicas, como la excesiva quema de combustibles fósiles, entre otros. Al igual que el resto de contaminantes, éstos producen irritación a los pulmones, dolor de cabeza, mareos (López, Polupan, Jiménez, & Pysmenny, 2011).

El (NO₂) es de color amarillo parduzco. Deriva principalmente de los tráficos vehiculares y plantas industriales. Los efectos en la salud de las personas son: inflamación e hiperreactividad bronquial, asma, desequilibrio en la respuesta inmunitaria, entre otros (Gutiérrez, Ferrero, Estarlich, Esplugues, Iñiquez & Ballester, 2018).

2.2.3. Dióxido de azufre (SO₂)

Dentro de los contaminantes más tóxicos que existe es el dióxido de azufre, que es un gas incoloro, con un característico olor irritante. Es producto de la

quemado de combustibles fósiles (especialmente el carbón y el petróleo), y por tanto emitido principalmente por las fábricas, centrales eléctricas y los vehículos de motor. Los efectos en la salud de las personas son los problemas respiratorios, asma y bronquitis. Además, que es el causante principal de la lluvia ácida (Gómez, Guillermo, Vásquez & Quintana, 2014).

2.2.4. Ozono (O_3)

Está constituido por tres átomos de oxígeno. También recibe el nombre de smog fotoquímico. Es un contaminante que se le encuentra en la tropósfera, se forma a partir de las reacciones del dióxido de nitrógeno junto los compuestos orgánicos volátiles (COV), en presencia de la luz solar. Si excede sus concentraciones causa infecciones en las vías respiratorias y problemas cardiovasculares, siendo los más afectados los niños y ancianos. Además de sus efectos irritantes el ozono produce cambios morfológicos en las plantas (Sánchez - Caraballo, 2012).

2.2.5. Metales pesados

Son elementos químicos, los que están considerados dentro de éste grupo son aquellos como el arsénico (As), el cadmio (Cd), el mercurio (Hg), el plomo (Pb), por su alta toxicidad y peligrosidad para la salud de las personas. El aumento muy representativo de éstos metales es debido a la fuente del flujo vehicular, es decir provienen de ruedas, discos, frenos (Ubilla & Yohannessen, 2017). Los líquenes son considerados muy buenos acumuladores de metales pesados a través de sus tejidos o mediante la captación de aerosoles (Villamar, 2018).

Los impactos negativos que generan en la salud del ser humano son: daño al sistema nervioso central, retraso del desarrollo mental e intelectual en los niños, anemia, lesiones en los riñones, dolores de cabeza, debilitamiento en general (Londoño- Franco, Londoño-Muñoz & Muñoz-García, 2016).

2.2.6. Estándares de calidad del aire

Actualmente con el Decreto Supremo N° 003 – 2017 (MINAM), están registrados 10 parámetros, son contaminantes altamente tóxicos, y su valor estándar normal en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) que debe cumplirse como se muestra en la (Tabla 1).

Tabla 1. Estándares de Calidad Ambiental para Aire

Parámetros	Periodo	Valor (ug /m3)	Criterios de Evaluación
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual
Dióxido de azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año
	Anual	100	Media aritmética anual
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año
	Anual	25	Media aritmética anual
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año
	Anual	50	Media aritmética anual
Mercurio Gaseoso Total (Hg)	24 horas	2	No exceder
Monóxido de carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año
	8 horas	10000	Media aritmética anual
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2017.

2.3. Líquenes

Los líquenes son considerados muy buenos bioindicadores, bioacumuladores y biomonitores (Hawksworth, Iturriaga & Crespo, 2005; Lijteroff, Lima & Prieri, 2009; Ochoa et al., 2015; Cohn-Berger & Quezada, 2016), para detectar el nivel de contaminación del aire. Lo que les hace excelentes bioindicadores de la calidad del aire, son características muy peculiares como no poseer sistema

de conducción, estructuras selectivas llamadas epidermis, además que carecen de raíz y estomas, son ubicuos, son longevos y pueden ser muestreados durante todo el año, de tal manera que todas éstas características en conjunto, atribuye a que sean altamente sensibles a los impactos de los contaminantes (Mateos & González, 2018).

Lijteroff, Lima & Prieri (2009) afirman que “los líquenes son asociaciones simbióticas entre un alga (fotobionte) y un hongo (micobionte) de cuya interacción se origina un talo estable, con estructura y fisiología específicas”. Tienen la capacidad de colonizar varios sustratos, por lo que se clasifican en líquenes saxícolas (crecen en piedras y rocas), líquenes terrícolas (crecen sobre el suelo), líquenes muscícolas (crecen sobre musgos) y líquenes epífitos (ramas y troncos de los árboles) (Pérez-Quintero & Watteijne-Cerón, 2009).

Los líquenes epífitos son mayormente los más utilizados a gran escala, y contemplados como excelentes indicadores ecológicos de la calidad del aire (Ribeiro, Pinho, Branquinho, Llop & Pereira, 2016). Son sumamente efectivos debido a que abundan en muchos tipos de hábitats (Ochoa et al., 2015); son capaces de absorber en grandes cantidades contaminantes a través de toda su superficie (Sumijaca, Morales & Vargas, 2014); son estacionales, se desarrollan mucho mejor en zonas templadas, mayormente en la estación de Otoño (Hawksworth, Iturriaga, Crespo, 2005); pueden sobrevivir largos periodos de tiempo sin importar en el tipo de sustrato en el que se encuentran; además son organismos poiquilohídricos, no poseen la capacidad de regular su pérdida o ganancia de agua (Gómez et al, 2013).

Según su forma de crecimiento se categorizan en tres grandes grupos. Si crecen en forma de costra, se les denomina crustáceo (Figura 1), éste tipo de líquenes están firmemente adheridos al sustrato, por ende carecen de corteza inferior, se desarrollan demasiado lento (pocos milímetros por año) y resulta muy complejo divisar su forma a simple vista (Pérez-Quintero, & Watteijne-Cerón, 2009). Si crecen en forma de una hoja, se consideran foliáceo (Figura 2), éstos líquenes tienen su talo aplanado y se encuentran divididos en lóbulos, debido a que se encuentran parcialmente adheridos al sustrato, se les puede desprender fácilmente, son muy sorprendentes ya que absorben el agua tanto de la atmósfera como del sustrato. Y por último si se desarrollan en forma de

pequeños arbustos ramificados se habla de líquenes fructiculosos (Figura 3), resultan ser aquellos que poseen simetría radial, por ende no se puede lograr diferenciar la superficie superior de la inferior (Shukla, Upreti & Bajpai, 2014).

Figura 1. Líquen crustáceo.



Fuente: Pérez-Quintero & Watteijne-Cerón (2009)

Figura 2. Líquen folioso.



Fuente: Shukla, Upreti & Bajpai (2014)

Figura 3. Líquen fructiculoso.



Fuente: Shukla, Upreti & Bajpai (2014)

2.4. Efectos de los contaminantes sobre los líquenes

Los contaminantes tóxicos presentes en la atmósfera provocan diversos efectos sobre los organismos liquénicos, principalmente cambios morfológicos y fisiológicos, dentro del primer grupo se encuentra la decoloración de los talos, ésto hace que la adaptación del líquen empobrezca y su proceso fotosintético disminuya (Sujetoviené & Galinyté, 2016). De igual modo se produce la reducción del tamaño del talo liquénico, otros talos se vuelven estériles (Ahmadjian & Hale, 1973) y en algunos casos aumentan su grosor (Huamán-Zelada, 2018). Éstas alteraciones son indicios que las especies liquénicas están expuestas a un gran nivel de contaminación en un área específica (Figuroa y Méndez, 2015).

Los cambios fisiológicos que sufren los líquenes a raíz de los contaminantes en el aire son : cambios de pH, cambios en el contenido hídrico del talo, disminución de la fijación del nitrógeno, reducción de la absorción del CO₂,

descenso de las altas porciones de clorofila, y la actividad fosfatasa (Gonzalez et al., 2016).

2.5. Uso de índices con líquenes

2.5.1. Índice de Jaccard (Similitud/Disimilitud)

El índice de Jaccard se basa en la similitud que existe en la composición de especies líquénicas en las diversas zonas de monitoreo. Se usa con el fin de realizar una comparación de especies líquénicas entre las zonas de monitoreo, a través de los datos de presencia o ausencia de líquenes en dichas zonas (Sumijaca, Moncada & Lüking, 2018).

Para obtener dicho valor se calcula con la siguiente ecuación:

$$SJ = \frac{c}{a + b + c} ; 0 < sj < 1$$

Donde:

a : número de especies presentes en una zona A.

b : número de especies presentes en una zona B.

c : número de especies comunes entre la zona A y B.

El coeficiente de similitud de Jaccard toma intervalos de valores iguales a 1, en el caso de que existiera similitud completa o iguales a 0, si la composición de especies de líquenes son totalmente disimilares en las zonas de monitoreo, es decir no poseen especies en común (Figuroa & Méndez, 2015).

2.5.2. Índice de Shannon -Wiener (Diversidad)

El índice de diversidad de Shannon y Wiener es uno de los índices más resaltantes que se usa con el fin de simplificar la biodiversidad específica, ya que es la forma más completa y sencilla de cuantificar el número total de especies presentes en los sitios de muestreo (Zepeda, Ávila, Díaz, Alanís, Zarazúa & Amaya, 2014).

Dicho índice representa la heterogeneidad de una comunidad, teniendo en cuenta dos aspectos principales, uno de ellos es la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies) y el segundo basado en su abundancia relativa (Pla, 2006).

En otras palabras, éste índice mide el grado de incertidumbre, la cual está relacionada con la elección aleatoria en una comunidad, en donde adquiere valores entre cero, es decir $H' = 0$ cuando hay una sólo especie en la muestra, de lo contrario H' es máxima si todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Moreno, 2001).

Se utiliza la siguiente fórmula para hallar el valor de éste índice:

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

Donde:

P_i : Abundancia relativa o cobertura de la especie i .

n : número total de especies o riqueza.

Equitatividad:

$$J = \sum p_i \ln \frac{p_i}{ln} S$$

Siendo:

S : riqueza (número de especies)

p_i : n_i/nT

n_i : número de cuadros de la gradilla ocupados por una especie.

nT : número total de cuadros de la cuadrícula (20).

2.5.3. Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

El índice de Pureza Atmosférica (IPA) ha venido siendo utilizado ampliamente para determinar la calidad atmosférica empleando a los organismos liquénicos como bioindicadores, para ser exactos desde que fue propuesta por LeBlanc & Sloover en 1970 por primera vez. Ellos lo formularon con el fin de evaluar la calidad del aire que estaba siendo alterada por una fuente industrial. A partir de ese entonces, éste índice con el pasar de los años ha venido siendo modificado, el primero en hacerlo fue por Rubiano (1988) y así sucesivamente por otros autores.

El método del Índice de Pureza Atmosférica, es considerado como un índice biológico, el cual toma en cuenta presencia, cobertura, abundancia y

distribución de las especies líquénicas en una misma zona. De modo que si en un lugar existe niveles de contaminación muy altos, habrá muy poca abundancia de líquenes o poco a poco se irán reduciendo, y si por el contrario hay una gran abundancia de especies líquénicas, indica bajo índice de contaminación en dicho lugar (Neurohr, Monge & Méndez, 2013).

Para hallar el valor del IPA, se tiene la siguiente fórmula, la cual incluye cobertura, frecuencia, el número total de forofitos censados por estación y el factor de resistencia de cada especie (Q_i).

Para determinar dicho valor se determina primero el (Q_i):

$$Q_i = \sum_j \frac{A_{j-1}}{E_j}$$

Donde:

Q_i : Factor de resistencia de la especie i

A_j : Número de especies presentes en cada estación (j) donde se encuentre la especie (i).

E_j : Número de estaciones (j) donde se halle la especie (i).

En la cual:

$$IPA_j = \sum_j^n \frac{f_i * Q_i}{n} * C_i$$

Donde:

IPA_j : Índice de Pureza Atmosférica de la estación j

C_j : 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)

n : Número total de forofitos censados en la estación j

Q_i : Factor de resistencia/sensibilidad (número de especies / número de estaciones donde está la especie).

Después de obtener los datos del Índice de Pureza Atmosférica, se pueden clasificar los niveles de contaminación de acuerdo a los rangos de clasificación dados por Rubiano (1988) en la Tabla 2.

Tabla 2. Rango de Clasificación de Datos

VALOR DEL IPA	CLASIFICACIÓN
IPA 0 – 3	I. Contaminación máxima
IPA 3 -12	II. Contaminación aguda
IPA 12 – 40	III. Contaminación media
IPA 40 – 78	IV. Contaminación moderada
IPA 78 – 114	V. Zona de transición
IPA > 114	VI. Sin contaminación

Fuente: (Rubiano, 1988)

2.6. Mapeo a través de los líquenes

Los líquenes están categorizados como excelentes bioindicadores (Estrabou, Quiroga & Rodríguez, 2014; Lillo-Sánchez, 2018) y biomonitores, (Gómez et al., 2013; Shukla, Upreti & Bajpai, 2014; Mateos & González, 2018) de la contaminación atmosférica. Cada vez más se utiliza los líquenes para el monitoreo ambiental, así lo demuestran muchas investigaciones que se han realizado para evaluar la calidad del aire a lo largo del tiempo en muchos países como Luxemburgo (Nylander, 1866), Estonia (Degtjarenko et al., 2016), Costa Rica (Neurohr, Monge & Méndez, 2013), Portugal (Ribeiro et al., 2016), Colombia (Rubiano, 1988), Argentina (Lijteroff, Lima & Prieri, 2009), Perú (Quispe, Ñique & Chuquilin, 2013), Ecuador (Ochoa et al., 2015), Guatemala (Cohn-Berger & Quezada, 2016), entre otros. Asimismo, existen investigaciones que usan a los líquenes como biomonitores y/o acumuladores de metales e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), y así conocer detalladamente el potencial de dichos organismos frente a la contaminación atmosférica como es el caso de Francia (Agnan, Probst & Séjalon-Delmas, 2017), Venezuela (Gómez et al., 2013) y Perú (Bedregal et al., 2009).

Generalmente para evaluar el potencial que tienen los líquenes como indicadores ecológicos en el monitoreo de la calidad del aire de un lugar, se realiza básicamente mediante dos técnicas sofisticadas.

Si a los líquenes se les considera como bioindicadores utilizados sólo para la identificación y determinación cualitativa de los contaminantes atmosféricos generados por actividades antropogénicas o si de lo contrario se les toma como biomonitores (bioacumuladores), ésto aplica para aquellos líquenes que son usados primordialmente para determinar la concentración cuantitativamente de los metales pesados, elementos u otras sustancias acumuladas en sus talos (Gómez et al., 2013). La primera técnica es por bioindicación, en la cual se realiza un mapeo o cartografía de cada uno de los líquenes en el área de estudio, se determina los efectos de las emisiones de sustancias tóxicas en los cambios morfológicos y fisiológicos de las especies liquénicas, además de constatar alteraciones en sus actividades enzimáticas y fotosintéticas, colectando datos de cobertura, frecuencia, abundancia y distribución (Estrada & Monge, 2011) y que a través del IPA, se generan mapas de isocontaminación, éstas se clasifican en áreas homogéneas, es decir cuentan con niveles de contaminación similares, por ende los $IPA_{árbol}$ se categorizan dependiendo del grado de dispersión y similitud (Rubiano, 1988).

La segunda técnica es por bioacumulación, en donde se determina por métodos químicos, también se realiza un muestreo de cada una de las especies liquénicas, los investigadores se dirigen a la parte fisiológica del líquen (talo) con la finalidad de medir la cantidad de contaminantes que se han ido acumulando con el pasar del tiempo (Gómez et al., 2013).

2.7. Diferentes climas a evaluar

Son muchos los estudios con respecto a los líquenes como bioindicadores para determinar el grado de contaminación de una zona. Los líquenes o también denominados hongos liquenizados se reproducen y desarrollan en muchos tipos de hábitats, por lo que pueden sobrevivir tanto en zonas extremadamente en aridez como en zonas de climas fríos, ésta es una de las ventajas con respecto a otros organismos (Moreno, Sánchez & Fernández, 2007).

2.7.1. Mediterráneo

Los estudios de líquenes en éste tipo de ambientes son bastantes, presentan climas muy variados, es decir abarcan desde climas templados hasta climas

subtropicales húmedos, con variaciones en cuánto a temperaturas y precipitaciones, de tal forma que el estudio debe ser minucioso con el fin de especificar la variabilidad que los líquenes puedan revelar, esto es lo que hace muy peculiar para evaluar la potencialidad que tienen los líquenes para determinar los niveles de contaminación en estos ambientes. Los líquenes son predominantes en dichos ambientes y más si éstos no han estado expuesto a perturbaciones humanas, mayormente los estudios sobre los indicadores liquénicos se han realizado en zonas templadas, debido a que sus talos se adaptan a largos periodos de humectación y desecación, éstos son considerados extremistas ambientales porque son adversos a diversas formas de vida (Herrera, Lücking, Pérez, Miranda, R., Sánchez, N., Barcenás, A., Carrisoza, Zambrano, Ryan & Nash, 2014).

Se tiene así como ejemplo los estudios de líquenes calcícolas, terrícolas y epífitas que se han realizado en España y al sur de Francia, donde se ha verificado que en regiones áridas en el sudeste de España, caracterizados por inviernos cálidos, especies como *Xanthorla resendei*, *Dimelaena radiata*, *Lecanora montagnei*, *Teloschistes villosus* y *Ramalina canariensis sabochracea* eran sensibles a las bajas temperaturas invernales (Llimona, 1982).

Otro estudio es el que se llevó a cabo en Aragón, donde realizaron un inventario a más de 1600 taxones aproximadamente entre líquenes corticícolas y hongos, siendo las especies liquénicas más resistentes: *Arthonia lobothealliae*, *Fulgensia epiplacynthium*, entre otras (Etayo, 2010).

2.7.2. Continental

Los líquenes u hongos liquenizados también se desarrollan en éste tipo de ambientes, que se caracterizan por presentar climas fríos, con veranos calientes o secos e inviernos muy fríos, concluyendo que los líquenes tienen la capacidad de desarrollarse en todo tipo de sustrato orgánico e inerte y que los climas extremos no representan ningún problema para su supervivencia (Pérez, Rojas, Morales, Viscaya & Lugo, 2017). Pero a pesar de que soportan el estrés térmico no son capaces de soportar bajas temperaturas en verano o

altas en invierno, por lo que su talo tiene que estar hidratado (Pérez et al., 2017).

El estudio de líquenes como bioindicadores de la calidad atmosférica mayormente se a llevado a cabo en éste tipo de climas, es más los primeros estudios que se se han desarrollado fueron en el siglo XIX en Europa, Canadá, China, entre otros (Estrada & Monge, 2011).

Principalmente en zonas urbanas se ha realizado los estudios de líquenes debido a la mayor concentración del tráfico vehicular, procesos industriales provocando que los líquenes sean sensibles a los cambios morfológicos y fisiológicos que se producen en ellos a raíz de todas las fuentes móviles, fijas, naturales (Rubiano, 1988; Pulak et al., 2013).

2.7.3. Tropical

Los organismos liquénicos conforman un componente fundamental para evaluar la diversidad biológica en los trópicos. Si bien es cierto hasta la fecha hay más de 2000 investigaciones referentes a éste tema, los cuales se han desarrollado con mayor grado en zonas templadas (centros urbanos y periferias), que en regiones tropicales. Los estudios que se han realizado en las zonas tropicales son limitados, y por ende algunos autores afirman que hay usos potenciales de los líquenes en los que se puede aprovechar en los trópicos, de los cuales no se está llegando a explorar completamente. La alta diversidad de especies liquénicas presentes en éste tipo de ambientes, señalan con más razón que sean utilizados a gran escala, ya que los líquenes cumplen un rol muy importante como excelentes indicadores biológicos de continuidad ecológica (Gatica, Pereira & Vallejos, 2011), permitiendo conocer el grado de alteración de los ecosistemas naturales provocados por las perturbaciones forestales, el inadecuado manejo de bosques, los diversos usos de suelos y otros factores que contribuyen al deterioro de los bosques (Ramírez-Morán, León-Gómez & Lücking, 2016).

Dentro de los estudios que se han realizado en zonas tropicales, se tiene a la investigación que realizó Vareschi (1953) por primera vez en la ciudad de Caracas (Venezuela), en el cual mapeó todas las especies liquénicas,

diferenciándolas en tres zonas distintas: Zona externa, interna y normal. Dos décadas más tarde se produjo la correlación de poblaciones liquénicas con los diferentes niveles de contaminación. De igual modo, en éste mismo país se realizaron estudios utilizando a los líquenes con el objetivo de determinar la acumulación de grandes cantidades de metales pesados y otros agentes en el Valle de Mérida (Lillo-Sánchez, 2018).

Por otro lado en Córdoba (Argentina), detectaron que las especies *Ramalina eckloni* y *Usnea sp* eran las más sensibles a los cambios que se producen por los contaminantes atmosféricos, y que las especies *Parmotrema reticulatum* y *Punctelia hypoleucites*, eran especies tolerantes, mientras que en Jamaica las especies *Graphis Afzelli* y *Trypethellium eluteriae* eran las más tolerantes y *Lepraria* fue la que destacó en China, siendo la especie más resistente, Tailandia no se quedó atrás, también realizó un mapeo de líquenes en el área de Chiang Mai, utilizando como forofito el mango, concluyendo que *Hyperphysia* y *Pyxine cocoes*, eran las especies más tolerantes a la contaminación (Estrabou, 1998).

Hay ciertas especies que reaccionan de la misma forma ante las perturbaciones forestales, siendo muy buenos indicadores de la continuidad de hábitats, ya sea en zona tropical como templada, como es el caso de la especie *Lobarion* que se utilizó en Europa y después en lugares templadas como Indonesia y Malasia (Zhi et al., 2017)

III. CONCLUSIONES

- Los líquenes son reconocidos por ser biomonitores confiables de efectos de la contaminación atmosférica, debido a que tienen características peculiares muy sensibles a los cambios ambientales.
- El uso de los bioindicadores liquénicos complementan a los métodos físicos/químicos, ya que éstos aportan datos de todo el tiempo en el que el organismo está que lleva expuesto, mientras que los medidores físicos y químicos sólo caracterizan las condiciones ambientales en el momento del muestreo.
- La aplicación de líquenes ha demostrado ser un método de bioindicación eficiente, rentable y de baja tecnología para determinar la calidad del aire en una zona.
- Los estudios con líquenes se realizan con el fin de pronosticar tempranamente los signos de estrés ambiental en un área específica, ya que éstos actúan como eficientes sistemas de alerta, los cuales permiten la toma de acciones y/o medidas para prevenir los impactos generados por las fuentes de contaminación.
- Existen muchos índices ecológicos que se usan, el IPA es uno de los más conocidos es un enfoque cuantitativo, que a través del cálculo matemático que emplea, sirve para determinar el nivel de contaminación que afecta a la flora epífita del líquen.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agnan, Y., Probst, A. & Séjalon-Delmas, N. (2017). Evaluation of lichen species resistance to atmospheric metal pollution by coupling diversity and bioaccumulation approaches: a new bioindication scale for French forested areas. *Ecological Indicators*, 72, 99-110.
- Ahmadjian, V. & Hale, M. (1973). *The Lichens*. London, New York: Academic Press, Inc.
- ANMM. (2015). La contaminación del aire y los problemas respiratorios. *Rev. Fac. Med. (México)*, 58(5), 44-47.
- Bedregal, P., Mendoza, P., Ubillús, M., Torres, B., Hurtado, J., Maza, I. & Espinoza, R. (2009). El uso de *Usnea* sp. y *Tillandsia capillaris*, como biomonitores de la contaminación ambiental en la ciudad de Lima, Perú. *Rev. Soc. Quím.*, 75(4), 479 - 487.
- Cohn-Berger, G., & Quezada, M. (2016). Líquenes como bioindicadores de contaminación aérea en el corredor metropolitano de la ciudad de Guatemala. *Revista Científica ISSN 2070-8246*, 26(1), 1-12.
- Conde, W., & Caridad, A. (2013). Efectos nocivos de la contaminación ambiental sobre la embarazada. *Rev. Cubana Hig. Epidemiol*, 51(2), 226-238.
- Degtjarenko, P., Marmor, L., Torra, T., Lecrch, M., Saag, A., Randlane, T. & Scheidegger, C. (2016). Assessing the impact of alkaline dust pollution on the genetic variation of populations of a widespread epiphytic lichen, *Usnea subfloridana* (Parmeliaceae, Ascomycota) . *Fungal Biology*. doi:10.1016/j.funbio.2016.05.010
- Estrabou, C. (1998). Lichens species identification and distribution according tolerance to airborne contamination in the city of Córdoba (Argentina). In Marcelli MP, MRD Seaward (Eds.). *Lichenology in Latin America: history, current knowledge and applications*, 165-169. CETESB, Sao Paulo.
- Estrabou, C., Quiroga, C. & Rodríguez, J. M. (2014). Lichen community diversity on a remnant forest in south of Chaco región chaqueña (Córdoba, Argentina). *Bosque*, 35(1), 49-55. doi:10.4067/S017-92002014000100005
- Estrada, V. & Monge, N. (2011). El uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel mundial. 25(2), 51 - 67.
- Etayo, J. (2010). Líquenes y hongos liquenícolas de Aragón. *Guineana*, 16, 1-501. Pamplona, España.
- Figuroa, V. & Méndez, A. (2015). Evaluación de la calidad del aire en 8 zonas de la ciudad de Bogotá utilizando los líquenes como bioindicadores. Universidad de la Salle. Bogotá.

- Gatica, A., Pereira, I. & Vallejos, O. (2011). Líquenes epífitos: una herramienta para estudiar la continuidad ecológica en la Isla, Mocha. *Gayana Botánica*, 68(2), 226-235. doi:<https://doi.org/10.4067/S0717-66432011000200014>
- Gómez, A., Guillermo, L., Vásquez, J. & Quintana E. (2014). Contaminación atmosférica en puntos seleccionados de la ciudad de Santo Domingo, República Dominicana. *Ciencia y Sociedad*, 39(3), 533-557.
- Gómez, H., Fernández, R., Benzo, S., Galarraga, F., Hernández, J. & Gónzales, A. (2013). Líquenes como bioindicadores de la contaminación atmosférica por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). *Revista de la Facultad de Ingeniería U. C. V.*, 28(1), 45 - 58.
- Gonzalez, N., Luján, M., Navarro, G. & Flores, R. (2016). Aplicabilidad de líquenes como herramienta de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cochabamba. *Acta Nova*, 7(4), 455-482.
- Green, J. & Sánchez, S. (2016). La calidad del aire en América Latina : Una visión paronámica . *Clear Air Institute*.
- Gutiérrez, A., Ferrero, A., Estarlich, M., Esplugues, A., Iñiguez, C. & Ballester, F. (2018). Exposición ambiental a dióxido de nitrógeno y salud respiratoria a los 2 años en la Cohorte INMA-Valencia. *Science Direct*, 32(507-512).
- Hawksworth, D., Iturriaga, T. & Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio - ambientales en los trópicos. *Rev. Iberoam. Micol*, 22(1), 71- 82.
- Herrera, A., Lücking, R., Pérez, R. E., Miranda, R., Sánchez, N., Barcenas, A., Carrisoza, A., Zambrano, A., Ryan, B. & Nash, T. (2014). Biodiversidad de líquenes en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 82-99. doi:<https://doi.org/10.7550/rmb.37003>
- Huamán- Zelada, S. (2018). Determinación de la calidad del aire empleando líquenes en la ciudad de Bagua Grande, provincia de Utcubamba, región Amazonas, 2017. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.
- Jaramillo, M., & Botero, L. (2010). Comunidades liquénicas como bioindicadores de calidad del aire del valle de Aburrá. Medellín. *Revista Gestión y Ambiente*, 13(1), 97-110.
- LeBlanc & Sloover. (1970). Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Monstreal. *Canadian Journal of Botany*, 48(8), 1485-1496.
- Lijteroff, R., Lima, L. & Prieri, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 25(2), 111-120.
- Lillo-Sánchez, A. (2018). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire. Universidad Complutense.

- Llimona, X. (1982). Lichens in the arid Mediterranean Area and North Africa. *Journal- Hattori Botanical Laboratory*(53), 345-349. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/251414644>
- Londoño- Franco, L., Londoño-Muñoz, P. & Muñoz-García, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. doi:10.18684/BSAA
- López, G., Polupan, G., Jiménez, G. & Pysmenny, Y. (2011). Metodología de cálculo del NOx en generaciones de vapor que queman gas natural. *Científica*, 15(2), 93-100.
- Manninen, S. (2018). Deriving nitrogen critical levels and loads based on the responses of acidophytic lichen communities on boreal urban *Pinus sylvestris* trunks. *Science of the Total Environment*, 613-614; 751-762.
- Martín, R. & Sánchez, M. (2018). Impact of air pollution in paediatric consultations in Primary Health Care: Ecological study. *Anales de pediatría*, 89(2), 80-85. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2017.06.013>
- Mateos, A. & González, C. (2018). Physiological response and sulfur accumulation in the biomonitor *Ramalina celsastri* in relation to the concentrations of SO₂ and NO₂ in urban environments. *Microchemical Journal*, 116-123.
- Mendoza, J. (2018). Evaluación de la calidad del aire empleando líquenes como indicadores en la ciudad de Chachapoyas, 2017. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - Amazonas.
- MINAM - EDUCCA. (2009). Manual Para Educadores, "Perú, país maravilloso". Obtenido de <http://www.minam.gob.pe>
- MINAM. (2014). Informe nacional de la calidad del aire . *Ministerio del Ambiente*.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T- Manuales y Tesis SEA*, 1, 84. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103709>
- Moreno, E., Sánchez, A. & Fernández, J. (2007). Guía ilustrada de hongos liquenizados de Venezuela. 6 - 95.
- Neurohr, E., Monge, J. & Méndez, V. (2013). Use of Geographic Information System and lichens to map air pollution in a tropical city: San José, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 61(2), 557-563.
- Nylander, M. (1866). Les Lichens Du Jardin Du Luxembourg. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 13(7), 363-371. doi:10.1080/00378941.1866/10827433
- Ochoa, J. D., Cueva, A. A., Prieto, M., Aragón, G., & Benítez, A. (2015). Cambios en la composición de Líquenes epífitos relacionados con la calidad del aire en la Ciudad de Loja (Ecuador). *Caldasia*, 37(2), 333 - 343.

- Pérez, P., Rojas, J., Morales, A., Viscaya, M. & Lugo, C. (2017). Insecticidal activity of lichen extracts from *Physcia sp.* in *Tecia Solanivara* larvae. *Science and engineering*, 38(3).
- Pérez-Quintero, A. & Watteijne Cerón, B. (2009). Estructura de una comunidad de líquenes y morfología del género *Sticta* (Stictaceae) en un gradiente altitudinal. *Acta Biológica Colombiana*, 14(3), 157-170.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad : Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590.
- Pulak, D., Santosh, J., Jayasshree, R. & Upreti, D. K. (2013). Lichen diversity for environmental stress study: Application of index of atmospheric purity (IAP) and mapping around a paper mill in Barak Valley, Assam, northeast India. *Tropical Ecology*, 54(3), 355-364.
- Querol, X. (2008). Calidad del aire, partículas en suspensión y metales. *Rev. Esp. Salud Pública*, 82(5), 447 - 453.
- Quispe, K., Ñique, M., & Chuquilin, E. (2013). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, Perú. *Investigación y Amazonía*, 3(2), 99 - 104.
- Ramírez-Morán, N., León-Gómez, M. & Lücking, R. (2016). Uso de biotipos de líquenes como bioindicadores de perturbación en fragmentos de bosque Altoandino (Reserva biológica "Encenillo", Colombia). *Caldasia*, 38(1), 31-52. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v38n1.57821>
- Ribeiro, M., Pinho, P., Branquinho, C., Llop, E. & Pereira, M. (2016). Geostatistical uncertainty of assessing air quality using high-spatial-resolution lichen data: A health study in the urban area of Sines, Portugal. *Science of the Environmental*, 562, 740-750.
- Romero-Placeres, M., Diego-Olite, F., & Álvarez-Tuesta, M. (2006). La contaminación del aire : su repercusión como problema de salud. *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.*, 44(2), 1 -14.
- Rubiano, L. J. (1988). Líquenes como indicadores de contaminación en el complejo industrial de Betania y la termoeléctrica de Zipaquirá, Cundinamarca. *Acta Biológica Colombiana*, 1(4), 95-125.
- Sánchez - Caraballo, J. (2012). Características físicoquímicas de los gases y partículas contaminantes del aire. Su impacto en el asma. *Iatreia*, 25(4), 369-379.
- Santoni, C., & Lijteroff, R. (2006). Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la provincia de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 22(1), 49-58.
- Shukla, V., Upreti, D. & Bajpai, R. (2014). Lichens to Biomonitor the Environmental. (Springer, Ed.) Lucknow, India. doi:10.1007/978-81-322-1503-5

- Sujetoviené, G. & Galinyté, V. (2016). Effects of the urban environmental condition on the physiology of lichen and moss. *Atmospheric Pollution Research*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2016.02.009>
- Sumijaca, D. F., Morales, M. E., & Vargas, D. L. (2014). Uso de organismos vegetales no vasculares como indicadores de contaminación atmosférica urbana (Tunja, Boyacá, Colombia). *Acta Biol. Colomb*, 9(2), 221-232.
- Sumijaca, D., Moncada, B. & Lücking, R. (2018). Bosque de roble o plantación de coníferas, ¿qué prefieren los líquenes epífitos? *Colombia Forestal*, 21(2), 123-141.
- Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(1), 111-118.
- Vareschi, V. (1953). La influencia de los bosques y parques sobre el aire de la ciudad de Caracas. *Acta Cine Venez*, 4, 89 - 95.
- Villamar, O. (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 - Puno.
- Zepeda, C., Ávila, P., Díaz, U., Alanís, Y., Zarazúa, G. & Amaya, A. (2014). Diversidad de musgos epífitos de la zona metropolitana del valle de Toluca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 108-124. doi:10.7550/rmb.35456
- Zhi, L., Chen, H., Hao, Y., Wang, J., Song, X. & Mok, T. (2017). The dynamic relationship between environmental pollution, economic development and public health : Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 166, 134-147.