

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL MUNICIPIO DE YUMBO –
VALLE DEL CAUCA MEDIANTE EL MONITOREO DE LIQUENES COMO
BIOINDICADORES.**

**Jhoan Alexander Cárdenas Loaiza
Laura Milena Posso Montaña**

**UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA
UCEVA
INGENIERÍA AMBIENTAL
TULUÁ, VALLE DEL CAUCA
2020**

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL MUNICIPIO DE YUMBO –
VALLE DEL CAUCA MEDIANTE EL MONITOREO DE LIQUENES COMO
BIOINDICADORES.**

**JHOAN ALEXANDER CÁRDENAS LOAIZA
LAURA MILENA POSSO MONTAÑO**

**Documento final para optar al título de
INGENIERO AMBIENTAL**

**Directora de Trabajo de grado
Valentina Lamus Molina**

**UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA
UCEVA
INGENIERÍA AMBIENTAL
TULUÁ, VALLE DEL CAUCA
2020**

DEDICATORIA

Este trabajo de grado se lo dedico a mi familia, en especial a mis padres por apoyarme en todo momento, por su amor y su esfuerzo, por no dejar que me derrumbara ante cualquier obstáculo que se me presentara, por motivarme a ser cada día mejor y creer en mis capacidades.

Laura M. Posso

Se lo dedico a mi madre por su paciencia, amor y apoyo incondicional a lo largo de las diferentes etapas de este proceso, por motivarme y enseñarme que con dedicación constancia y trabajo se pueden cumplir las metas.

Jhoan A. Cárdenas

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios, por todas sus bendiciones, quien me ha dado paciencia, sabiduría y entendimiento a lo largo de mi proceso como estudiante, por permitirme haber llegado a este momento tan importante para mi crecimiento personal y profesional.

A mi familia por su apoyo incondicional y esfuerzo para que pudiera lograr mi sueño de ser una profesional, pese a los obstáculos e inconvenientes presentados a lo largo del camino.

A mi compañero quien siempre estuvo ahí para motivarme cuando sentía que ya no podía más, por su amor y amistad incondicional.

A mi directora de trabajo de grado Valentina Lamus quien nos brindó todos sus conocimientos y nos motivó a lo largo del desarrollo de este mismo, quien no nos dejó derrumbar ante las críticas y siempre nos demostró su apoyo.

Laura M. Posso

Quiero agradecer a Dios por permitirme vivir tan fructuosa experiencia, por sus bendiciones, las cuales se vieron reflejadas en la culminación de tan importante etapa.

En especial a mi madre la cual, es el pilar fundamental para cumplir tan anhelado sueño de ser un profesional, por confiar rotundamente en mis decisiones además por el apoyo y ayuda brindada en los momentos difíciles de la elaboración del trabajo de grado.

A mi compañera por estar siempre a mi lado brindando apoyo, por su entrega y perseverancia de sacar tan bonito proyecto a pesar de los inconvenientes vividos a la hora de su elaboración.

A la profesora Valentina Lamús como directora de tesis que hizo parte integral de este proceso de elaboración, por su enfoque de hacernos cada día mejores seres humanos, por su estimulación de no desistir ante las adversidades y lograr demostrar las capacidades de cada uno de los desarrolladores de este trabajo de grado.

Jhoan A. Cárdenas

RESUMEN

Este proyecto fue realizado en el municipio de Yumbo – Valle del Cauca con el fin de proponer una alternativa que evidencie el grado de afectación en el que se encuentran diferentes zonas por la contaminación atmosférica donde se analizó el uso de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire. Se planteó una comparación entre dos áreas, la primera comprende el casco urbano e industrial del Municipio de Yumbo, recibiendo influencia del alto flujo vehicular, la segunda se conoce como el corregimiento de Mulalo y se determinó como la zona de conservación

La primera área de estudio fue subdividida en tres zonas, las cuales fueron denominadas con varios nombres de acuerdo a las estaciones de monitoreo distribuidas por el Municipio, estas son las estaciones ACOPI, ECA Yumbo y Las Américas. En esta área se llevó a cabo el muestreo de 21 forófitos en total, con 7 forófitos por zona y para el área 2 se muestrearon 15 forófitos, para cada uno de los cuales se realizó el conteo de cobertura líquénica por medio de una plantilla de 20 cm de ancho por 30 cm de largo y una cuadrícula de 1 cm; los forófitos seleccionados para realizar el muestreo debían cumplir ciertas características como un DAP ≥ 20 cm, una inclinación no mayor a los 20° y una exposición a los rayos del sol para el crecimiento de los líquenes. De esta manera se logró realizar la determinación de la calidad del aire, por medio del cálculo del índice de pureza atmosférica (IPA) y del factor de clasificación ambiental (FCA).

De acuerdo con las especies de líquenes encontradas en los sitios de muestreo se logró realizar un listado taxonómico de especies determinadas a través de la observación y análisis de sus características morfológicas.

En definitiva, a través de la realización de esta investigación se logró demostrar que los líquenes son una gran alternativa para la determinación de la contaminación atmosférica, que de manera sencilla y ecológica se puede indicar el grado de afectación en la que se encuentra un área, como se pudo observar en las zonas estudiadas en donde la influencia del alto flujo vehicular e industrial, reducían la presencia de los líquenes, establecidos como bioindicadores por su sensibilidad a la contaminación atmosférica.

Palabras claves: contaminación atmosférica, índice de pureza atmosférica, factor de clasificación ambiental, categorización, líquenes, bioindicadores.

ABSTRACT

This project was carried out in the municipality of Yumbo - Valle del Cauca in order to propose an alternative that evidences the degree of affectation in which different areas are found due to air pollution where the use of lichens as quality bioindicators was analyzed. from air. A comparison was made between two areas, the first one includes the urban and industrial center of the Municipality of Yumbo, receiving influence from the high vehicular flow, the second is known as the Mulalo district and was determined as the conservation zone

The first study area was subdivided into three zones, which were named by several names according to the monitoring stations distributed by the Municipality, these are the ACOPI, ECA Yumbo and Las Américas stations. In this area, a total of 21 forófitos were sampled, with 7 forófitos per zone and for area 2 15 forófitos were sampled, for each of which the liquid coverage count was performed by means of a staff of 20 cm wide by 30 cm long and a grid of 1 cm; the forófitos selected to realize the sampling had to fulfill certain characteristics like a DAP \geq 20 cm, an inclination no greater than 20 ° and an exhibition to the rays of the sun for the growth of the lichen. In this way, the determination of air quality was achieved through the calculation of the atmospheric purity index (IPA) and the environmental classification factor (FCA).

According to the lichen species found in the sampling sites, a taxonomic list of specific species was achieved through the observation and analysis of their morphological characteristics.

Ultimately, through the conduct of this research it was possible to demonstrate that lichens are a great alternative for the arrest of air pollution, that in a simple and ecological way you can indicate the degree of affectation in which an area such as It was observed in the studied areas where the influence of high vehicular and industrial flow reduced the presence of lichens, established as bioindicators because of their sensitivity to air pollution.

Keywords: air pollution, atmospheric purity index, environmental classification factor, categorization, lichens, bioindicators.

TABLA DE CONTENIDO

	PÁG.
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCION.....	15
TÍTULO.....	17
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	18
JUSTIFICACIÓN.....	26
OBJETIVOS.....	28
OBJETIVO GENERAL.....	28
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
MARCO REFERENCIAL.....	29
1. Marco teórico.....	29
2. Marco conceptual.....	33
3. Marco Normativo.....	35
ESTADO DEL ARTE.....	41
METODOLOGÍA.....	50
ETAPA 1: Determinación taxonómica de los líquenes presentes en el municipio de Yumbo a través de sus características morfológicas.....	50
ETAPA 2: Calcular el índice de pureza atmosférica (IPA), y el factor de clasificación ambiental (FCA).....	54
ETAPA 3: Comparar los cálculos del índice de pureza atmosférica (IPA), y el factor de clasificación ambiental (FCA) entre una zona afectada por la contaminación y una zona conservada del municipio de Yumbo.	56
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
ANEXOS.....	100

LISTA DE TABLAS

	PÁG.
Tabla 1. Concentraciones de PM ₁₀ Y PM _{2.5} anuales de los últimos 5 años.	22
Tabla 2. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire.	23
Tabla 3. Marco normativo.....	35
Tabla 4. Escala de coberturas.....	55
Tabla 5. Escala de frecuencia	55
Tabla 6. Escala de cobertura liquénicas por morfología.	56
Tabla 7. Clasificación para identificar zonas de contaminación atmosférica por medio de bioindicadores.	57
Tabla 8. Descripción arbórea (Acacia)	64
Tabla 9. Descripción arbórea (Carbonero)	64
Tabla 10. Descripción arbórea (Ficus)	65
Tabla 11. Descripción arbórea (Ceiba).....	65
Tabla 12. Descripción arbórea (Guácimo).....	65
Tabla 13. Descripción arbórea (Leucaena)	66
Tabla 14. Descripción arbórea (Guanábano)	67
Tabla 15. listado liquénico.....	79
Tabla 16. Índice de pureza atmosférica.....	84
Tabla 17. Factor de clasificación ambiental.....	89
Tabla 18. Categorización de la calidad del aire	91

LISTA DE CUADROS

	PÁG.
Cuadro 1. Ubicación estaciones de monitoreo.	22

LISTA DE FIGURAS

	PÁG.
Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Yumbo	20
Figura 2. Guías de calidad del aire de la OMS.	21

LISTA DE IMAGENES

	PAG.
Imagen 1. Muestras líquénicas ACOPI.....	58
Imagen 2. Muestras líquénicas de la estación ECA Yumbo (Liceo).....	59
Imagen 3. Muestras líquénicas de Las Américas	60
Imagen 4. Muestras líquénicas de Mulalo	60
Imagen 5. Ubicación geográfica Mulalo.....	61
Imagen 6. Ubicación geográfica ACOPI	62
Imagen 7. Ubicación geográfica ECA Yumbo	62
Imagen 8. Ubicación geográfica Las Américas.....	63

ANEXOS

	PAG.
Anexo 1. Información geográfica de Mulalo	100
Anexo 2. Información geográfica ECA Yumbo	101
Anexo 3. Información geográfica ACOPI.....	101
Anexo 4. Información geográfica Las Américas	102

GLOSARIO

APOTECIOS: estructura reproductiva de los hongos y líquenes, donde las esporas se forman de manera paralela a la superficie.

BIOINDICADOR: organismos biológicos sensibles a las alteraciones presentes en el ambiente.

CORTICOLA: líquenes que se desarrollan en la corteza de los árboles.

COSTROSO: líquenes con aspecto de costra.

ESCUAMULOSO (=escuamiforme): talos laminares constituidos por escuámulas de formas muy variables.

FCA: factor de clasificación ambiental.

FOLIOSO: líquen cuyo talo está formado por lóbulos aplanados.

FOROFITO: planta que actúa como hospedador de un parásito o soporte de un epífito.

FOTOBIONTE: el simbionte que fotosintetiza en los talos liquénicos. Puede ser un alga verde unicelular o una cianobacteria. Capa de fotobiontes es el estrato de los talos en donde se dan los contactos físicos entre los hongos y los fotobiontes; suele estar por debajo del córtex y su morfología y grosor son variables.

FRUTICOSO: líquenes con forma de pequeños arbustos.

IPA: índice de pureza atmosférica.

ISIDIO: estructura con corteza externa originada de la corteza superior y de la capa del fotobionte.

LIGNICOLA: líquen que tiene como hábitat las maderas muertas.

LIQUEN: organismos que nacen de la simbiosis entre un alga y un hongo.

PARAPLECTÉNQUIMA: plecténquima con hifas de pared gruesa y espesa y una cavidad o lumen muy reducido.

PARENQUIMATOSO: hifas con organización evidente. Normalmente se ven formando cuadrados o en forma de maya.

PLECTÉNQUIMA: falso tejido, propio de los hongos, formado por hifas entrelazadas.

PSEUDOPARENQUIMATOSO: hifas organizadas de forma no muy definida. Se aprecia un patrón, pero este no es necesariamente estricto o continuo.

PM₁₀: material particulado con un diámetro inferior a 10 micras.

PM_{2.5}: material particulado con diámetro inferior a 2.5 micras.

ROSETA: crecimiento unificado del talo en forma circular

SAXICOLA: líquenes que crecen en las rocas.

SOREDIO: estructura sin corteza externa originaria de la médula y de la capa del fotobionte.

INTRODUCCION

El uso de los bioindicadores determinantes de los niveles de contaminación presentes en el ambiente (agua, suelo y aire) ha ido en aumento, ya que brinda la ventaja de evaluar el estado del aire, debido a que el uso de estos implica un menor costo económico en comparación con los distintos métodos convencionales de monitoreo. Los bioindicadores son una opción útil debido a su comportamiento frente a los cambios que se presentan en un ecosistema, ya que algunas especies de bacterias, hongos, algas, microorganismos, entre otros, son sensibles a los cambios ocurridos por actividades antropogénicas.

El uso de líquenes como bioindicadores de la calidad del aire, se presenta como una alternativa de monitoreo viable económicamente y eficiente, estos organismos permiten observar factores sobre los ecosistemas ya que ayudan a diferenciar un sitio contaminado de uno conservado, estos organismos a diferencia de otros no cuentan con la capacidad de regular la entrada y salida de gases contaminantes presentes en el aire, acumulándose en su interior, por ende genera el deterioro y desaparición de estos en su hábitat.

La contaminación atmosférica es uno de los principales riesgos para la salud humana a nivel mundial; las exposiciones a contaminantes presentan gran afectación a la salud en especial contaminantes de origen antropogénico como el PM_{10} , $PM_{2.5}$ Y O_3 .

En el primer capítulo se describe la problemática asociada al municipio de Yumbo, el cual cuenta con tres estaciones de monitoreo (ACOPI, ECA Yumbo y Las Américas), ubicadas en distintos puntos del área urbana, en donde se monitorean los niveles de concentraciones de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$). Dichas estaciones no son suficientes debido al constate crecimiento del municipio y al alto costo de los equipos requeridos que no permite ubicarlos en cualquier sitio, esto no hace posible que se cuente con un monitoreo continuo que indique el nivel de contaminación real presente en esta zona industrial y con alto flujo vehicular que exponen al municipio a una contaminación atmosférica por gases y material particulado. Dada la ausencia de monitoreo continuo y la falta de documentación acerca de las enfermedades respiratorias existentes, se hace difícil tener una certeza de la magnitud real de la contaminación atmosférica lo cual no permite establecer mecanismos de control y prevención.

En el segundo capítulo se abordan los objetivos que permiten llevar a cabo la determinación de la calidad del aire mediante el monitoreo de líquenes como bioindicadores en el municipio de Yumbo y se incluye además su determinación taxonómica para contribuir al conocimiento de la biodiversidad. En el tercer capítulo se presenta la metodología con la cual se llevaron a cabo cada uno de los objetivos presentes en el estudio, para el cumplimiento del primer objetivo se llevó a cabo la determinación del área de estudio, la selección del forofito a muestrear y su metodología, el establecimiento de los puntos de muestreo, con la recolección de

estos datos se realizó el listado taxonómico. Para el segundo objetivo se tuvieron en cuenta los datos liquénicos obtenidos para la correcta aplicación de las formulas del índice de pureza atmosférica (IPA) y el factor de clasificación ambiental (FCA), con los datos obtenidos en las formulas se realizó la categorización ambiental de cada área de estudio y se compararon los resultados entre la zona 1 (Acopi, ECA Yumbo y Las Américas) con la zona 2, está siendo el área de conservación correspondiente al corregimiento de Mulalo.

Posteriormente, se presenta la discusión, resultados, conclusiones y recomendaciones, en las cuales se muestra el registro de nuevas especies liquénicas para el municipio de Yumbo y el Valle del Cauca, se clasificaron las zonas según los resultados del IPA y el FCA y se correlaciona ecológicamente, concluyendo que los líquenes son un excelente bioindicador y se demostró que es un método sencillo y al alcance de municipios que cuenten con escasos recursos económicos.

TÍTULO

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL MUNICIPIO DE YUMBO –
VALLE DEL CAUCA MEDIANTE EL MONITOREO DE LIQUENES COMO
BIOINDICADORES.**

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación atmosférica representa un riesgo significativo a nivel mundial en la salud; la gran mayoría de las fuentes de contaminación están más allá de poder controlarlas solamente con el cumplimiento de las normas restrictivas de los países ya que estas no son suficientes para garantizar un aire limpio y una sostenibilidad ambiental. Existe una estrecha relación entre la exposición de contaminantes tales como el PM₁₀, PM_{2,5} y O₃, los cuales presentan mayor afectación a la salud, la OMS estima que la exposición a partículas contaminantes de origen antropogénico reduce la esperanza media de vida en 8,6 meses¹.

Los contaminantes atmosféricos que tengan un vínculo con la normatividad legal en cuanto a sus niveles máximos permisibles en Colombia son denominados contaminantes criterio, entre ellos se encuentran el ozono (O₃), material particulado con diámetro menor que 10 µm (PM₁₀) y 2,5 µm (PM_{2,5}), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y material particulado total (PST). En el año 2015, la contaminación atmosférica causó 4,2 millones de muertes prematuras en el mundo, la mitad se produjeron en China e India, estos países son los que poseen los peores niveles contaminación de PM_{2,5}², el cual es considerado como el más dañino para la salud ya que incluye otros contaminantes como el sulfato, los nitratos y el hollín que debido a su tamaño pueden penetrar diferentes partes del cuerpo siendo las más vulnerables los pulmones y el sistema cardiovascular³.

La OMS estimó que para el año 2016, aproximadamente el 58% de las muertes prematuras estuvieron relacionadas con la contaminación atmosférica. La gran mayoría de los casos se produjeron en países donde los ingresos económicos son bajos o medianos, debido a que las personas aún cocinan con leña (biomasa) o carbón⁴. La OMS confirma que el 92% de la población mundial vive en lugares donde no cumplen con los niveles máximos permisibles fijados por esta organización.

Estudios a nivel internacional y nacional demuestran que la contaminación atmosférica es uno de los principales causantes de enfermedades respiratorias,

¹Organización Mundial de la Salud. Calidad del aire y salud. [en línea]. 2 de mayo del 2018. Disponible en internet: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>. Marzo 2019.

² Ibíd.,

³ Organización Mundial de la Salud. La OMS publica estimaciones sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud. [en línea]. 27 de septiembre del 2016. Disponible en internet: <http://www.who.int/es/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>. Marzo 2019.

⁴ Organización Mundial de la Salud. 7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica. [en línea], 25 de marzo del 2014. Disponible en internet: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/>. Marzo 2019.

donde las actividades industriales, la minería y la combustión de combustibles fósiles son los principales causantes de la contaminación presente en el mundo.

Ciudades del mundo

La ciudad de México es conocida como la más grande del mundo y una de las que más problemas ambientales presenta ya que su parque automotor no es tan nuevo y la contaminación atmosférica ha ido aumentando con el pasar de los años debido al crecimiento poblacional e industrial. El 92% de la población mexicana respira una mala calidad del aire y 21 mil personas mueren por esta causa. Se contempla una estrecha relación entre las exposiciones a altas concentraciones de contaminantes y el incremento de la mortalidad, así como la morbilidad a corto y largo plazo⁵.

De acuerdo a los datos de la OMS, la ciudad más contaminada de América es la ciudad de Coyhaique ubicada en el sur de Chile; esta ciudad presenta los niveles de concentración más altos de partículas finas suspendidas. El problema principal no es ocasionado por las industrias, ni el tráfico, sino por el método de calefacción que utilizan, la quema de leña. Chile es uno de los países que más monitorea sus ciudades en comparación con otros países que solo ofrecen datos de monitoreo de sus capitales⁶.

Aunque en Colombia la calidad del aire es mejor en comparación con otros países, la actividad industrial y minera es similar y el 51% de la población considera que la contaminación es el principal problema ambiental ya que se percibe un notorio crecimiento de las ciudades industriales y mineras⁷; evidenciado por el monitoreo que se realiza en el 76% de los municipios donde se exceden los límites establecidos por la OMS⁸. De acuerdo al informe de la IDEAM “Estado de la calidad del aire en Colombia 2017” se reveló que el año 2017 en Bogotá y Medellín se presentaron las mayores concentraciones de contaminantes en el aire; las estaciones donde se presentó mayor concentración de PM10 fueron en Carvajal

⁵Beauregard, Luis. La Ciudad de México se ahoga. [en línea]. EL PAIS. Mayo, 2016. Disponible en https://elpais.com/internacional/2016/03/03/mexico/1457040820_632100.html. Marzo 2019.

⁶ Torres, Gabriela. ¿Cuál es la sorpréndete “ciudad más contaminada” de América latina? En: BBC Mundo. Mayo, 2016. [en línea]. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/05/160513_ciencia_ciudad_mas_contaminada_america_latina_gtg. Marzo 2019.

⁷ Mejía, Luis Fernando. DNP Departamento Nacional de Planeación. DNP revela que 51% de los colombianos percibe la contaminación del aire como el mayor problema ambiental. 14 de febrero del 2018. [en línea]. <https://www.dnp.gov.co/Paginas/DNP-revela-que-51-de-los-colombianos-percibe-la-contaminaci%C3%B3n-del-aire-como-el-mayor-problema-ambiental.aspx>. Marzo 2019.

⁸ Colprensa. La contaminación de aire es el mayor problema ambiental en Colombia, encuesta. En: EL PAIS. Febrero, 2018. Disponible en <https://www.elpais.com.co/colombia/la-contaminacion-del-aire-es-el-mayor-problema-ambiental-en-colombia-encuesta.html>. Marzo 2019.

(Bogotá), Centro y San Antonio (Medellín), Molinos (Santa Marta) y Las Américas (Yumbo)⁹.

La contaminación atmosférica no es solo un problema de las ciudades grandes del mundo y con condiciones climáticas y geográficas desfavorables; hay lugares que también están afectados como es el caso del municipio de Yumbo ya que, sus actividades económicas principales son la minería y la industria, las cuales lo han convertido en el principal emisor de la contaminación atmosférica del departamento del Valle del Cauca, (Figura 1). Este municipio se encuentra ubicado en el occidente de Colombia, limita al Sur con Cali, al Norte con Vijes, al Occidente con La Cumbre y al Oriente con Palmira; su población es de aproximadamente 122.800 habitantes (año 2017), tiene una altura de 1.021 msnm, y una temperatura promedio de 23 °C a 29 °C¹⁰.

Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Yumbo



Fuente: google maps¹¹

De acuerdo a la CVC, la contaminación del municipio de Yumbo representa un riesgo y aunque los informes de monitoreo determinen que el peligro es moderado,

⁹ Colprensa. Medellín se sigue rajando en calidad del aire. [en línea]. EL COLOMBIANO. Marzo, 2018. Disponible en <http://www.elcolombiano.com/antioquia/contaminacion-del-aire-en-medellin-y-colombia-KC9015851>. Marzo 2019.

¹⁰ ALCALDIA DE YUMBO. Datos generales. [en línea]. <http://www.yumbo.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>. Marzo 2019.

¹¹ Mapa Yumbo. [en línea]. <https://www.google.com.co/maps/place/Yumbo,+Valle+del+Cauca/@3.5453343,-76.5650676,12z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e30aa49a2424267:0xefb31cae81bea000!8m2!3d3.545337!4d-76.495026>. Marzo 2019.

esta información es incorrecta, ya que la norma que se emplea en Colombia no es muy restrictiva. Si se realizara un monitoreo con la guía empleada por la OMS, la cual tiene por objeto ofrecer orientación sobre la manera de reducir los efectos de la contaminación sobre la salud¹², se puede observar en la figura 2 que los resultados de los informes serían alarmantes”. En Yumbo se presentan casi todas las fuentes de emisiones atmosféricas, derivadas del parque automotriz, la actividad minera, las industrias, y el carbón vegetal que produce el asentamiento de las personas¹³.

Figura 2. Guías de calidad del aire de la OMS.

Guías	
MP_{2,5}:	10 µg/m³, media anual 25 µg/m³, media de 24 horas
MP₁₀:	20 µg/m³, media anual 50 µg/m³, media de 24 horas

Fuente: OMS, guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, Actualización mundial 2005

El municipio cuenta con tres estaciones de monitoreo que reciben el nombre de Acopi, Eca Yumbo, Las Américas, ubicadas en distintos puntos del área urbana como se puede observar en la cuadro 1 (ubicación de estaciones de monitoreo) y en la tabla 1 (concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} anuales de los últimos 5 años); estos no son suficientes para el monitoreo de la calidad del aire, debido a que el municipio se encuentra en constante crecimiento poblacional e industrial y a que el costo de los equipos de monitoreo es elevado, lo cual no hace posible ubicarlos en cualquier sitio.

¹² Organización mundial de la salud. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre del 2005. [en línea]. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=4C031EB411B944866083C3817E049781?sequence=1. Marzo 2019

¹³ En el Valle la contaminación es hecha en Yumbo. [en línea]. SEMANA. SEPTIEMBRE, 2017. Disponible en <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/en-el-valle-la-contaminacion-es-hecha-en-yumbo/38652>. Marzo 2019

Cuadro 1. Ubicación estaciones de monitoreo.

Nombre	Ubicación			
	Latitud	Longitud	Dirección	Altitud (msnm)
Acopi El país	3°29'46.5" N	76°30'25.1" W	Cra. 36 no. 15-150	950
ECA Yumbo	3°34'44.67" N	76°29'22.41" W	Escuela Alberto Mendoza	964
Las Américas	3°33'50.0" N	76°29'31.0" W	Cra. 18 no. 10B-25	950

Fuente: Autores, adaptado de CVC, informe de la calidad del aire, 2018.

Tabla 1. Concentraciones de PM₁₀ Y PM_{2.5} anuales de los últimos 5 años.

concentraciones anuales de PM10 y PM2.5															
PM10															
	2014			2015			2016			2017			2018		
	Las Américas	Acopi	ECA Yumbo	Las Américas	Acopi	ECA Yumbo	Las Américas	Acopi	ECA Yumbo	Las Américas	Acopi	ECA Yumbo	Las Américas	Acopi	ECA Yumbo
Pro medio	62,45	63,34		54,5	79,93	43,3	45,4	80	34,3	59,4		33,6	57,7	71,5	34,4
Desviación	19,81			17,37	58,87	20,33	17,95	34,84	12,84	18,5		15,01	16,4	35,3	11,9
Máximo	110,51			100,15	57,04	114,4	108,2	7,17	69,2	109,8		71,5	92,8	14,9	66,2
PM2.5															
	Las Américas	Acopi	ECA Yumbo	Las Américas	Acopi	ECA Yumbo	Las Américas	Acopi	ECA Yumbo	Las Américas	Acopi	ECA Yumbo	Las Américas	Acopi	ECA Yumbo
Pro medio		25,66			23,98			25,71						18,4	
Desviación					12,45			15,37						6,5	
Máximo					12,56			14,03						32,6	

Fuente: autores, elaborado a partir de los informes anuales de la calidad de aire de la CVC.

Al revisar los informes de calidad de aire de la CVC¹⁴ de los últimos 5 años (2014, 2015, 2016, 2017, 2018), se les da seguimiento a las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5}; donde se observa que el PM_{2.5} para este parámetro presentan mediciones de solo tres años (2014, 2016, 2018) la concentración en la estación de monitoreo de Acopi.

De acuerdo a los datos presentes en los informes de la CVC, durante los últimos 5 años con excepción al año 2017 donde no se obtuvo las concentraciones anuales en la estación de monitoreo de Acopi, los resultados de monitoreo exceden el nivel de concentración máxima permisible anual para PM₁₀ y Acopi es la estación donde se presentan las concentraciones más altas, conforme a los niveles máximos establecidos en la Resolución 2254 del 2017 que se pueden observar en la tabla 2.

Desde el año 2015 se empieza a monitorear la calidad del aire con otra estación llamada ECA Yumbo, donde las concentraciones de contaminantes no sobrepasan los niveles máximos permisibles, existe además la estación de monitoreo Las Américas donde también se presentan concentraciones altas en los años 2014, 2015, 2017 y 2018.

En el informe de la CVC se presentan también mediciones para PM_{2.5} en la estación de monitoreo de Acopi donde en los años 2014 y 2016 exceden los niveles máximos permisibles de la Resolución 2254 del 2017.

Tabla 2. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire.

Contaminante	Nivel máximo Permisible (µg/m ³)	Tiempo de Exposición
PM ₁₀	50	Anual
	100	24 horas
PM _{2.5}	25	Anual
	50	24 horas
SO ₂	50	24 horas
	100	1 hora
NO ₂	60	Anual
	200	1 hora
O ₃	100	8 horas
CO	5.000	8 horas
	35.000	1 hora

Fuente: Resolución 2254 del 2017

¹⁴Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. INFORMES CALIDAD DEL AIRE. [en línea]. <https://sites.google.com/site/cvccalidadaire/informes-calidad-de-aire>. Marzo 2019.

En el área urbana de Yumbo, el último año no cuenta con un monitoreo continuo que pueda indicar el nivel de contaminación atmosférica real presente en el municipio, el cual es conocido como la ciudad industrial del Valle del Cauca, razón por la cual se encuentra expuesto a una alta contaminación atmosférica por gases y material particulado. Es probable que en las diferentes zonas del municipio se presenten niveles de contaminación distintas debido a esto y existe además una falta de información de la secretaria de salud acerca de los casos de enfermedades respiratorias agudas, lo cual hace imposible determinar la afectación del municipio en lo relacionado con la magnitud real de contaminación atmosférica para poder establecer así, mecanismos de control y prevención.

Es de gran importancia darse cuenta de los altos costos sociales y ambientales que genera la contaminación atmosférica; según estudio del Banco Mundial y el Institute for Health Metrics and Evaluation (Instituto de Mediciones y Evaluaciones de Salud), las muertes prematuras provocan pérdida de ingresos, el costo de estas muertes en el año 2013 fue de más de cinco billones de dólares en el mundo¹⁵. Dentro de los costos que se le atribuye a la contaminación atmosférica están los tratamientos de las diferentes enfermedades que se encuentran relacionadas a este tipo de contaminación¹⁶.

En Colombia, durante los últimos años ha tomado importancia el monitoreo de la contaminación atmosférica para determinar la calidad del aire y así controlar los diversos contaminantes que se encuentran en el aire, debido a los diferentes estudios que ha realizado la Organización Mundial de la Salud respecto a las muertes ocurridas a nivel mundial. Los costos ambientales en los últimos años han incrementado en Colombia¹⁷, debido a esto es de gran importancia la implementación de los diferentes métodos para la determinación de la calidad del aire.

Existen muchos métodos para la medición de contaminantes y así determinar la calidad del aire, entre ellos se encuentran los métodos químicos, electrónicos y otros como los bioindicadores.

En muchas investigaciones han optado por los líquenes como bioindicadores debido a su bajo costo y a la sensibilidad que presentan frente a la contaminación. La acumulación de sustancias ocasiona que la mayoría de los líquenes no toleren la

¹⁵ Banco Mundial. La contaminación atmosférica le cuesta USD 225 mil millones a la economía mundial. 8 de septiembre del 2016. [en línea]. <http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2016/09/08/air-pollution-deaths-cost-global-economy-225-billion>. Marzo 2019

¹⁶ Redacción VIVIR. Más de US \$1.000 millones cuesta la contaminación del aire en Bogotá. En: EL ESPECTADOR. Agosto, 2017. Disponible en internet: <https://www.elspectador.com/noticias/medio-ambiente/mas-de-us-1000-millones-cuesta-la-contaminacion-del-aire-en-bogota-articulo-710878>. Marzo 2019.

¹⁷ IDEAM. Calidad del aire. (no presenta fecha de publicación). Disponible en internet: <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>. Marzo 2019.

contaminación, debido a esto se consideran como bioindicadores de la contaminación atmosférica¹⁸.

A pesar de la utilidad que presentan los líquenes como bioindicadores, es poca la información que se tiene en Colombia sobre la biodiversidad de estos organismos, es pertinente y necesario comenzar a realizar estudios que permitan conocerlos desde un punto de vista taxonómico.

Este proyecto tiene como iniciativa el poder resolver la pregunta de cuál es la relación que tiene la presencia de las diferentes especies de líquenes monitoreadas en el momento de analizar la calidad del aire en varias zonas del municipio de Yumbo que presentan diferentes grados de perturbación ambiental y ecológica y zonas medianamente conservadas. No obstante, se debe tener en cuenta que estos organismos no pueden remplazar completamente los equipos de monitoreo; la información generada a partir de este proyecto constituye una herramienta que permita comparar los resultados de ambos métodos y a su vez representa un aporte muy valioso al contribuir al conocimiento de la diversidad de la flora nativa del municipio de Yumbo que aún es desconocida para el campo científico. A partir de la información generada también se dará lugar a encontrar la relación ecológica que existe entre varios tipos de líquenes con especies de flora y fauna nativa de los ecosistemas estudiados.

¹⁸Senatore, S & Borzino, D. “Los líquenes detectores de la contaminación atmosférica”. Un alga y un hongo, se necesitan para crear esta maravilla de la naturaleza. Noviembre, 2014. Disponible en internet: <https://www.oei.es/historico/congreso2014/memoriactei/86.pdf>. Marzo 2019.

JUSTIFICACIÓN

El municipio de Yumbo – Valle del Cauca en el cual se desarrollará el proyecto, cuenta con 3 estaciones de monitoreo, donde su periodo de observación no es constante, por lo tanto, las mediciones resultan inciertas; esto se evidenció en la recolección de datos que realizamos para la ejecución del presente proyecto. Este municipio es conocido como la ciudad industrial de Colombia por su extensa zona industrial, además existe la minería, entre otras actividades, que realizan su aporte a la contaminación atmosférica que presenta. Es de gran importancia prestarle atención a este problema debido a que por muchos estudios de las OMS se ha evidenciado la relación con enfermedades cardiovasculares, distintos tipos de cáncer y enfermedades respiratorias¹⁹.

Es importante proponer alternativas de monitoreo eficaces, eficientes y viables económicamente, buscando una solución diferente, por tal razón se propone el uso de bioindicadores de la calidad del aire como los líquenes, estos permiten observar otros factores sobre los ecosistemas y su desarrollo en un periodo largo, también ayudan a diferenciar un sitio contaminado y otro no contaminado; su lento metabolismo, capacidad de absorber y acumular sustancias contaminantes presentes en el medio y su ausencia de sistemas de excreción, retardan su crecimiento, en las zonas más afectadas por la contaminación los líquenes pueden desarrollarse²⁰; debido a su gran sensibilidad y su alta densidad en algunas zonas con diferentes variedades de árboles; justifica el uso de los líquenes para detectar la contaminación originada por la actividad humana, gracias a esto se pueden examinar fácilmente dando resultados satisfactorios.

Los talos liquénicos pueden utilizarse como bioacumuladores y se puede medir en laboratorio su contenido en contaminantes como metales pesados, compuestos fluorados y oxidantes fotoquímicos²¹. El azufre, flúor, plomo, cobre, zinc y varios radioisótopos han sido detectados y evaluados mediante líquenes en muchas partes del mundo; muchos contaminantes provocan en los talos alteraciones detectables en el campo o en el laboratorio, que han sido estudiadas y escritas para muchos elementos y compuestos²².

El objetivo de esta investigación constituye en proponer una alternativa que ayude a determinar la calidad del aire en diferentes zonas del municipio, ya sean urbanas

¹⁹ Organización mundial de la salud. Departamento de salud pública, medio ambiente y determinantes sociales de la salud. [en línea]. https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/health_impacts/es/. Mayo 2019

²⁰ STORK N. E. y M. J. SAMWAYS. Inventing and Monitoring. In Heywood VH (Ed.) Global biodiversity assessment. 1995. Cambridge, Cambridge University Press. Pp.453 – 543. Mayo 2019.

²¹ *ibid.*,

²² UMAÑA, L. y H. SIPMAN. Líquenes de Costa Rica. Editorial INBio. 2002. 156 p. Costa Rica.

o rurales, que permitirá establecer una comparación de las distintas zonas del municipio para dar a conocer que sitio cuenta con una mejor calidad de aire.

Sería de gran impacto para la población del municipio de Yumbo, ya que desconocen la calidad del aire a la cual se encuentran expuestos diariamente, la información con la que cuenta la población por parte de los informes de la CVC no están completos, debido a que su monitoreo no es constante y las estaciones solo monitorean la zona industrial del municipio. Esta investigación servirá para estudios futuros que deseen realizarse en este tema, en especial para municipios que no cuenten con la solvencia económica para adquirir los equipos de monitoreo y se encuentren expuestos a los diferentes problemas de la contaminación atmosférica.

Este estudio además de proporcionar información sobre la calidad del aire, dada su pertinencia ecológica constituye un gran aporte para la sociedad y en especial a la comunidad científica para contribuir al conocimiento de la biodiversidad de estos organismos, ya que la información y los estudios realizados hasta el momento son escasos y discontinuos en el Valle del Cauca y es necesario conocerlos de manera detallada para que se ayuden a conservar estos organismos dentro del ecosistema. Se debe resaltar que los líquenes como bioindicadores no reemplazarán las redes de monitoreo, pero son una excelente opción para países, departamentos o municipio con pocos recursos económicos²³.

²³ MONGES, Carmen. Líquenes, bioindicadores de contaminación por excelencia [en línea]. 21 de marzo del 2014. Disponible en internet <https://cienciadelsur.com/2018/03/21/liquenes-bioindicadores-por-excelencia/>

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la calidad del aire mediante el monitoreo de líquenes como bioindicadores en el municipio de Yumbo, Valle del Cauca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar taxonómicamente los líquenes presentes en el municipio de Yumbo a través de sus características morfológicas.
- Calcular el índice de pureza atmosférica (IPA), y el factor de clasificación ambiental (FCA).
- Comparar los cálculos del índice de pureza atmosférica (IPA), y el factor de clasificación ambiental (FCA) entre una zona afectada por la contaminación y una zona conservada del municipio de Yumbo.

MARCO REFERENCIAL

1. Marco teórico

Importancia de los bioindicadores:

Los indicadores ambientales se han convertido en herramientas de gran apoyo para los profesionales dedicados al estudio del medio ambiente a través de indicadores observando el comportamiento de estos, donde aprecian diferentes criterios, objetivos y sistemas de clasificación, a partir de los bioindicadores se plantearon estrategias de conservación y preservación de diferentes especies; un bioindicador es un ser vivo que indica información, a través de estos se puede conocer el impacto de ciertas actividades en el medio ambiente ²⁴.

Dentro de las diferentes experiencias en el uso de organismos indicadores de contaminación atmosférica, destacan las especies epifitas de líquenes, que se encuentran entre los mejores indicadores biológicos de la calidad del aire, debido a su gran sensibilidad hacia algunos de los contaminantes que de manera natural o por la presencia de actividades humanas, se encuentran en la atmósfera y presenta síntomas diversos, por lo que tienen una atracción particular como indicadores biológicos de compuestos contaminantes comunes a las áreas urbanas e industriales (Carreño)²⁵.

Clasificación de los líquenes:

Se consideran a los líquenes cosmopolitas, debido a que se pueden encontrar en diferentes ecosistemas desde los polos hasta los trópicos, esto ha permitido su clasificación en²⁶:

- Saxícolas: cuando el sustrato es la roca.
- Cortícolas: cuando el sustrato es un árbol.
- Lignícolas: cuando el sustrato es la madera.
- Terrícolas: cuando el sustrato es sobre la tierra.

²⁴ SIANO A. Los Bioindicadores y su importancia en el estudio del medio ambiente. Marzo 2015. Disponible en internet <http://planificacionyambiente.blogspot.com/2015/03/los-bioindicadores-y-su-importancia-en.html>. Septiembre 2019.

²⁵ CARREÑO P. Líquenes, Bioindicadores de contaminación. 2018. Disponible en internet <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/ambiente/23238-liquenes-bioindicadores-contaminacion>. Septiembre 2019.

²⁶ MARINO E.M. Determinación de la diversidad de líquenes Saxícolas de tres sitios arqueológicos de Cajamarca. Cajamarca-Perú, 2016, Página 9. Universidad Nacional de Cajamarca. Programa de maestría. Disponible en internet <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1305/Determinacion%20de%20liquenes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Septiembre 2019.

- Humícolas: cuando el sustrato es el humo.

Importancia ecológica de los líquenes:

Los líquenes son sensibles a la contaminación, su capacidad de absorber y acumular diversas sustancias presentes en el ambiente ocasiona que la mayoría de los líquenes no toleren la contaminación; la acumulación de estas sustancias y su imposibilidad de excretarlas, retardan su crecimiento, dificultan su reproducción y pueden provocarles su muerte. De esta forma los líquenes se consideran indicadores naturales o bioindicadores de la contaminación atmosférica, estos tienen una alta tolerancia a episodios ambientales desfavorables, la forma de vida intermitente limita su crecimiento, pero les permite vivir en lugares donde difícilmente podría desarrollarse una planta. La falta de competencia y la ausencia casi total de depredadores, ha compensado su lento crecimiento, permitiendo a los líquenes diversificarse y colonizar diversos territorios (Durán 1997)²⁷.

Usos e importancia económica de los líquenes:

Los líquenes tienen una gran importancia económica, ya que han sido utilizados para la medicina en especial los líquenes que producen ácido úsnico, antibiótico natural utilizado en infecciones y resfriados; este ácido también ha sido utilizado en la elaboración de cosméticos, protectores solares, perfumes, entre otros; por sus propiedades antibióticas, también han preparado pomadas para evitar infecciones en heridas superficiales y quemaduras, algunos líquenes se utilizan en cosméticos y perfumería²⁸.

Además del uso medicinal, también son utilizados como alimentos en países europeos, con los cuales elaboran harinas, también las emplean para alimentar animales.²⁹

Los líquenes se han utilizado como indicadores de contaminación ambiental, debido a que son muy sensibles, ya que al no tener raíces dependen del aire como su fuente de nutrientes, por lo cual quedan totalmente expuestos a los contaminantes; los líquenes carecen de aparato excretor, lo que significa que acumulan diferentes compuestos, entre ellos contaminantes atmosféricos. Por estas razones los estudios sobre la cobertura líquénica, permiten una evaluación de la calidad del aire en un lugar específico³⁰, las variaciones físicas y químicas del ambiente, su presencia (abundante, escasa o nula) al igual que su color (verde intenso, naranja o gris verdoso en piedras), constituye una de las características tenidas en cuenta

²⁷ Ibid. p. 10

²⁸ Ibid. p. 12

²⁹ IBÁÑEZ J.J. Los líquenes: ecología y utilidad. 2007. [en línea]. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/03/12/60989>. Septiembre 2019

³⁰ SAN M; MARIN M. Líquenes. 2003. [en línea]. Septiembre 2019. Disponible en internet <https://www.ugr.es/~cjl/liquenes.pdf>. Página 7. Septiembre 2019.

en el momento que se quiere conocer en qué estado de contaminación está el ambiente³¹.

Contaminación atmosférica:

La contaminación atmosférica es la presencia de concentraciones contaminantes en el aire en un tiempo determinado, los primeros indicios de contaminación atmosférica se presentaron a partir de procesos naturales y más adelante por el crecimiento de la población y así aumentando los niveles de contaminación debido al uso de madera para la generación de energía³².

Las principales actividades detonantes de la contaminación atmosférica son los procesos que impliquen el uso de combustibles fósiles, extracciones mineras e industrialización excesiva, generando así contaminantes tales como el dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, entre otros contaminantes. Los contaminantes atmosféricos se clasifican en:³³

- Contaminantes primarios: son los emiten directamente a la atmosfera, que daña directamente la vegetación y es irritante para los pulmones.
- Contaminantes secundarios: son aquellos que se forman mediante procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o sobre especies no contaminantes en la atmosfera.

Efectos de la contaminación atmosférica:

La contaminación atmosférica no se debe ver solo como un problema ambiental y relacionarse con la calidad de vida, esto se evidencia con el aumento en la frecuencia de apariciones de enfermedades respiratorias; además de la afectación a la salud humana, también se encuentran involucradas la flora y fauna³⁴.

Diversos estudios epidemiológicos de la OMS, han determinado que la exposición a contaminantes presentes en el aire están asociados con una amplia escala de efectos adversos y agudos, que afectan la calidad de vida de la población, principalmente los niños, mujeres en gestación y adultos mayores³⁵.

³¹ MARINO E.M. Op. Cit., p. 13.

³² HERNANDEZ A.M; BOHORQUEZ A.V; PINZON F.M; GUZMAN L.E; MORENO Y.A. Informe del estado de la calidad del aire en Colombia. 2007-2010. IDEAM. Disponible en internet <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/68521396/5.+Informe+del+estado+de+la+calidad+del+aire+2007-2010.pdf/52d841b0-afd0-4b8e-83e5-444c3d17ed29?version=1.0>. Página 27. Septiembre 2019.

³³ Universidad de Buenos Aires. Contaminación atmosférica. [en línea]. <https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Atmosfera/contatmosf.pdf>._Página 1. Septiembre 2019.

³⁴ HERNANDEZ A.M; BOHORQUEZ A.V; PINZON F.M; GUZMAN L.E; MORENO Y.A. Op. Cit.,

³⁵ Comisión federal para la protección contra riesgos sanitarios. 2017. La OMS estima que la contaminación atmosférica exterior en 2012 se produjo 3,7 millones de muertes a causa de fuentes

- Efectos agudos: los efectos agudos son principalmente síntomas respiratorios, alteración de la función pulmonar, cuadros asmáticos, entre otros.
- Efectos adversos: efectos relacionados con la exposición al contaminante a largo plazo, debido a estos se incrementa la probabilidad de desarrollar cáncer pulmonar y enfermedades pulmonares, mortalidad prematura y aumento de muertes por enfermedades crónicas.

La reducción de los niveles de contaminación del aire disminuirá la carga mundial de enfermedades provocadas por estas afecciones³⁶.

Calidad del aire:

La calidad del aire es el índice que permite evaluar la presencia de sustancias en la atmosfera que impliquen molestias graves, riesgo o daño para la seguridad y salud humana, el medio ambiente y cualquier bien de la naturaleza³⁷.

La calidad del aire constituye un tema de preocupación debido al alto índice de contaminación que este presenta a nivel mundial, ya que obedece al continuo crecimiento de la población y a las deficiencias estructurales en el desarrollo sostenible industrial y del sector transporte. La OMS estima que alrededor de un billón de personas se encuentran expuestas a la contaminación del aire en concentraciones que exceden las recomendadas.

El monitoreo y control de la contaminación atmosférica ha tomado día a día mayor relevancia, debido a que, según cifras de la OMS, una de cada ocho muertes ocurridas a nivel mundial, son ocasionadas por la contaminación del aire³⁸. Se estima que la contaminación ambiental del aire, tanto en las ciudades como en las zonas rurales, fue la causa de 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo; esta mortalidad se debe a la exposición a partículas pequeñas de PM_{2.5}, causante de enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer³⁹.

urbanas y rurales en todo el mundo. Diciembre 2017. [en línea].
<https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/3-efectos-a-la-salud-por-la-contaminacion-del-aire-ambiente>. Septiembre 2019.

³⁶ Organización Mundial de la Salud. Programa internacional de seguridad de las sustancias químicas. Contaminación del aire. [en línea].
https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/air_pollution/es/. Septiembre 2019.

³⁷ Ministerio de Ambiente. Calidad del aire del ayuntamiento de Madrid. Contaminación atmosférica [en línea]. 2015. Disponible en internet
<http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calair/ContAtmosferica/Concepto.html>. Septiembre 2019.

³⁸ IDEAM. Op. Cit.,

³⁹ Organización Mundial de la Salud. Calidad del aire y salud. [en línea]. 2 de mayo de 2018. Disponible en internet [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Septiembre 2019.

En general la normativa colombiana en materia de calidad del aire y emisiones se ha planteado en función de la protección de la salud humana y el medio ambiente, desarrollada a través de un proceso de gradualidad que involucra la capacidad técnica, tecnológica y económica de una sociedad, ya que estos factores deben hacer parte de la construcción normativa de carácter técnico, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible trabaja desde diferentes frentes en la formulación de estrategias coordinadas, eficientes y equitativas dirigidas a prevenir y controlar la Contaminación del Aire en el país.⁴⁰

Calidad del aire en Yumbo:

En Yumbo, según el informe de calidad del aire del primer trimestre de 2017, la concentración promedio mensual de material particulado (PM10) superó el máximo permisible en la zona de Acopi, como se conoce al sector industrial, que se mantuvo por encima de 75, aun cuando el máximo acumulado permitido es 50. “En el sector de Acopi se excede en nueve oportunidades la norma diaria establecida para el PM10”, dice el informe. En el caso del PM2.5, partícula suspendida en el aire aún más pequeña y riesgosa para la salud, Acopi supera la norma con creces. Según la CVC, el 14,6 por ciento de los días monitoreados se clasificó al aire como “dañino a la salud”⁴¹.

2. Marco conceptual

La contaminación atmosférica es uno de los problemas ambientales más graves que se presentan actualmente en el mundo debido al incremento exponencial de industrias y del parque automotor en algunas localidades del mundo, denominadas como ciudades industriales por sus numerosas industrias asentadas en cada territorio. Según el informe de calidad del aire mundial IQAIR AIRVISUAL 2018, las ciudades que presentan la peor calidad del aire en el mundo son Ciudad de México (México), Santiago de Chile (Chile), Beijín (China), y Delhi (India) entre otras⁴².

El comportamiento de los gases en la atmósfera depende no sólo de las características químicas del componente y del ambiente donde se encuentra, sino además de condiciones físicas y meteorológicas donde se emiten. Por esto, las

⁴⁰ Ministerio de Ambiente. Contaminación atmosférica. [en línea]. <http://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/contaminacion-atmosferica#1-1-normativa>. Septiembre 2019.

⁴¹ Semana sostenible. En el Valle la contaminación es “hecha en Yumbo”. Septiembre 2017. En: semana sostenible. Disponible en internet <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/en-el-valle-la-contaminacion-es-hecha-en-yumbo/38652>. Septiembre 2019.

⁴²CHAVEZ C. Air Visual Ranking 2018 ciudades más contaminadas: de Chile en Latinoamérica y de India, Pakistán y China en Asia. Marzo 2019. Disponible en internet <https://prensarte.com/2019/03/14/air-visual-ranking-2018-ciudades-mas-contaminadas-de-chile-en-latinoamerica-y-de-india-pakistan-y-china-en-asia/>. Septiembre 2019.

entidades regulatorias ambientales toman las decisiones de estandarizar unos niveles máximos permisibles de concentración para cada uno de los contaminantes criterio. De aquí que las normas de calidad del aire en el mundo están siendo cada vez más exigentes y tienen mayor similitud a nivel global⁴³, la mayoría de industrias en sus procesos productivos tienen actividades que requieren suministrar un nivel de poder calorífico para obtener su producto final y así poder ser comercializado. Para obtener este poder calorífico y se logre generar la combustión en las calderas o hornos, necesitan realizar quemas de combustibles fósiles, los cuales se conocen como carbón mineral, gas natural, aceites, madera, entre otros, dependiendo del tipo de combustible que se maneje en la caldera proceden a generar ciertos tipos de contaminantes y material particulado, estos contaminantes son conducidos a la atmosfera por medio de ductos los que se conocen comúnmente como chimeneas, algunas de esas industrias cuentan con un tratamiento para las emisiones, otras emiten a la atmosfera de manera directa es decir, sin ningún dispositivo que permita atrapar ciertas partículas. De acuerdo a lo anterior en una ciudad donde existen numerosas industrias asentadas y una tasa de crecimiento del parque automotor relativamente alta, es de suma importancia hacer monitoreo para el control de la calidad del aire; las industrias emiten gran número de contaminantes de un variado nivel de impacto en la salud humana, animal, y vegetal, por consiguiente, para saber cuánta contaminación está recibiendo la atmosfera, algunas ciudades tienen instaladas estaciones de monitoreo de calidad del aire encargadas de medir el nivel de contaminación presente en la atmosfera.

En Colombia existen municipios con una mala calidad del aire, ya que sobrepasan los estándares de emisión establecidos por la norma; estos contaminantes traen como consecuencia la aparición de enfermedades respiratorias agudas en poblaciones más vulnerables como son los niños y los adultos mayores de 60 años; esta información se suministra por medio de las estaciones de monitoreo que realizan su respectiva medición de contaminantes presentes en la atmosfera y los seguimientos epidemiológicos de los municipios⁴⁴.

Algunos municipios de Colombia no cuentan con estaciones de monitoreo o en algunos casos las estaciones de monitoreo presentan problemas en su operación. Para estos determinados casos se implementan diferentes estudios por medio de bioindicadores que son capaces de establecer la calidad del aire de los municipios de interés.

Los líquenes se han utilizado como indicadores de contaminación ambiental, debido a que son muy sensibles, ya que al no tener raíces dependen del aire como su

⁴³ Universidad de los Andes, University College London. Marco teórico de contaminación atmosférica en Colombia. Abril 2013. Disponible en Internet <https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wp-content/uploads/Caracterizaci%C3%B3n-de-la-contaminaci%C3%B3n-atmosf%C3%A9rica-en-Colombia1.pdf>. Septiembre 2019.

⁴⁴ ALONSO J.C; ARIZA Y.J; SERRANO E; HOYOS C; URBANO C. informe sobre el seguimiento epidemiológico de la frecuencia de eventos en salud potencialmente atribuibles a la quema de caña de azúcar. 2019.

fuente de nutrientes, por lo cual quedan totalmente expuestos a los contaminantes; los líquenes carecen de aparato excretor, lo que significa que acumulan diferentes compuestos, entre ellos contaminantes atmosféricos. Los estudios sobre la cobertura líquénica, permiten evaluar la calidad del aire en lugares específicos⁴⁵, las variaciones físicas y químicas del ambiente, su presencia (abundante, escasa o nula) al igual que su color (verde intenso, naranja o gris verdoso en piedras), constituye una de las características tenidas en cuenta en el momento que se quiere conocer en qué estado de contaminación se encuentra el ambiente⁴⁶, además estos organismos están vedados por el Ministerio de Ambiente bajo la Resolución 0213 de 1977, la cual niega el comercio, transporte, y aprovechamiento y también se declaran como plantas y productos protegidos⁴⁷.

3. Marco Normativo

Normatividad ambiental legal vigente donde se sintetiza los elementos claves para el manejo y protección del medio ambiente y el recurso aire, la normatividad se consultó en la página web del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible⁴⁸.

Tabla 3. Marco normativo

NORMA	DESCRIPCION	ARTICULO
Ley 9 de 1979	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.	ARTICULO 41. El Ministerio de salud fijará las normas sobre calidad del aire teniendo en cuenta los postulados en la presente Ley y en los artículos 73 a 76 del Decreto-Ley 2811 de 1974

⁴⁵ SAN M; MARIN M. Op. Cit., p. 7.

⁴⁶ MARINO E.M. Op. Cit., p. 13.

⁴⁷ MINISTERIO DE AMBIENTE. Normatividad vigente respecto a vedas de especímenes y productos forestales y de la flora silvestre. Disponible en internet https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20vigentes/Normatividad_Gnl/Vedas%20en%20Colombia.pdf. Septiembre 2019.

⁴⁸ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Normatividad Ambiental. [en línea]. <https://www.minambiente.gov.co/index.php>. 2019.

		<p>ARTICULO 42. El Ministerio de Salud fijará, de acuerdo a lo establecido en el artículo 41, las normas de emisión de sustancias contaminantes, ya sea par fuentes individuales o para un conjunto de fuentes.</p>
		<p>ARTICULO 44. Se prohíbe descargar en el aire contaminantes en concentraciones y cantidades superiores a las establecidas en las normas que se establezcan al respecto.</p>
		<p>ARTICULO 45. Cuando las emisiones a la atmósfera de una fuente sobrepasen o puedan sobrepasas los límites establecidos en las normas, se procederá a aplicar los sistemas de tratamiento que le permitan cumplirlos.</p>
<p>Ley 99 de 1993</p>	<p>Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente</p>	<p>Artículo 42. La utilización directa o indirecta de la atmósfera, del agua y del suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen, humos, vapores y sustancias nocivas que sean resultado de actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, o actividades económicas o de servicio, sean o no</p>

		lucrativas, se sujetará al pago de tasas retributivas por las consecuencias nocivas de las actividades expresadas.
Decreto 948 de 1995	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.	Todo
Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	Artículo 8. Se consideran factores que deterioran el ambiente. A) la contaminación del aires y demás recursos naturales renovables. Artículo 73. Corresponde al gobierno mantener la atmosfera en condiciones que no causen molestias o daños o interfieran el desarrollo normal de la vida humana, animal o vegetal y de los recursos naturales renovales.

		<p>Artículo 74. Se prohibirá, restringirá o condicionará la descarga, en la atmósfera de polvo, vapores, gases, humos, emanaciones y, en general, de sustancias de cualquier naturaleza que pueda causar enfermedad, daño o molestias a la comunidad o a sus integrantes, cuando sobrepasen los grados o niveles fijados.</p>
Decreto 1076 de 2015 412	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Título 5; capítulo 1: reglamento y control de la calidad del aire.	Sección 1: Protección y control.
		Sección 2: Disposiciones generales sobre normas de calidad del aire, niveles de contaminación, emisiones contaminantes y de ruido
		Sección 3: De las emisiones contaminantes.
		Sección 4: De las emisiones contaminantes de fuentes móviles.
		Sección 6: Funciones de las autoridades ambientales en relación con la calidad y el control de la contaminación del aire.
		Sección 7: permisos de emisiones para fuentes fijas.

		<p>Sección 9: Medidas para la atención de episodios de contaminación y plan de contingencia para emisiones atmosféricas.</p> <p>Sección 10: vigilancia y control del cumplimiento de las normas para fuentes fijas.</p> <p>Sección 11: participación ciudadana en el control de la contaminación atmosférica.</p>
Resolución 2254 del 2017	Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.	La presente resolución establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión y adopta disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional, con el objeto de garantizar un ambiente sano y minimizar el riesgo sobre la salud humana que pueda ser causado por la exposición a los contaminantes en la atmosfera.
Resolución 0910 de 2008	Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones.	<p>CAPÍTULO II. Límites máximos de emisión permisibles para fuentes móviles en prueba estática.</p> <p>CAPÍTULO III. disposiciones sobre la certificación inicial de las emisiones contaminantes de las fuentes móviles</p> <p>CAPÍTULO IV. vigilancia y control de las fuentes móviles.</p>

		APÍTULO V. clasificación de las fuentes móviles
Resolución 0909 de 2008	Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.	Artículo 4. Estándares de emisión admisibles para actividades industriales.
		CAPÍTULO XVIII. medición de emisiones para fuentes fijas.
		CAPÍTULO XIX. sistemas de control de emisiones.

Fuente: autores, elaborado a partir de la normatividad consultada en la página web del Ministerio.

ESTADO DEL ARTE

La información que se presenta en los siguientes cuadros sintetiza los trabajos investigados con respecto a los diferentes estudios de los líquenes como bioindicadores a nivel internacional y nacional.

Categoría internacional:

TITULO	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DE BIOINDICADORES EN LA PROVINCIA DE SAN LUIS, ARGENTINA		
FUENTE	http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v22n1/0188-4999-rica-22-01-49.pdf		
OBJETIVO	La determinación del IPA en el área urbana de Juana Koslay y en áreas testigo cercanas, a partir de datos de frecuencia líquénicas y descripción de características generales de las comunidades de líquenes presentes, aportando datos nuevos para la región.		
AUTOR	Celina Sofía Santoni y Ruben Lijteroff	AÑO	2006
DESCRIPCION			
Estudiaron la comunidad de líquenes, en una ciudad de Argentina, asumiendo a los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire, comparando un área urbana con fuentes fijas y móviles de contaminación y otra área sin fuentes de contaminación. Utilizando el IPA, para la determinación de la existencia de contaminación, que supone que la disminución de la frecuencia de especies aumenta la contaminación del aire. Determinaron parámetros ecológicos: diversidad, riqueza y equitatividad. Los resultados obtenidos en las áreas evaluadas no presentan diferencia significativa en los valores del IPA, ni en los valores de diversidad. Los resultados indicaron homogeneidad en las áreas estudiadas, a pesar de las diferencias en cuanto al uso del suelo (área urbana vs. áreas naturales).			
RESULTADOS			
Muestrearon cierta cantidad de árboles en las áreas estudiadas, identificando diferentes especies, la especie predominante en todas las áreas fue <i>Buellia punctata</i> , con cobertura elevada; mientras que <i>Physconia</i> sp., <i>Candelaria concolor</i> , <i>Lecanora</i> aff. <i>flavidomargarita</i> y <i>Teloschistes chrysophthalmus</i> , si bien estuvieron en todas áreas, mostraron una cobertura menor y variable según cada sitio, <i>Punctelia microsticta</i> presentó una escasa cobertura en las áreas urbanas, pero en el área sin fuentes de contaminación su cobertura fue muy alta.			

Análisis estadístico de los IPA entre áreas analizadas: no se encuentran diferencias significativas entre ellas y al comparar, no se hallaron diferencias significativas en los valores del IPA, lo que evidencia la homogeneidad en la calidad del aire analizado.

CONCLUSIONES

- Del análisis de la diversidad de especies en las áreas estudiadas, no se encontraron diferencias entre ellas. Posiblemente la baja diversidad que se observa en los datos obtenidos puede que se deba a un proceso de competitividad entre especies, que afecte este índice y no a un efecto de contaminación.
- Los datos encontrados en el presente trabajo, contradicen en cierto modo los principios del biomonitoreo (a mayor contaminación, menor diversidad y frecuencia de aparición de especies), pero cabe preguntarse si el método es aplicable sólo en áreas urbanas con fuerte presencia industrial o de tráfico vehicular con emisiones de óxidos de azufre y de nitrógeno o puede ser útil para caracterizar un ambiente con otros contaminantes atmosféricos.

TITULO	Líquenes como Bioindicadores de la calidad del aire		
FUENTE	http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/ANA%20PARDO%20GONZALEZ.pdf		
OBJETIVO	Los objetivos de este trabajo bibliográfico de fin de grado son poner de manifiesto la importancia de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire así como su utilidad en estudios de biomonitorización mediante el trazado de mapas.		
AUTOR	Ana Pardo González	AÑO	2017
DESCRIPCION			
Las características de los líquenes: permiten el uso de los líquenes como bioindicadores de la calidad el aire debido a su capacidad para acumular contaminantes atmosféricos, muestreo fácil, bajo costo y posibilidad de monitorizar amplias áreas. Esto ha hecho que su uso en estudios medioambientales haya crecido de forma exponencial durante los últimos años, convirtiéndose en útiles herramientas en la detección de alteraciones de la calidad atmosférica. La disminución de la frecuencia de aparición y de la diversidad o las alteraciones morfológicas son señales importantes de alteración atmosférica. Los compuestos gaseosos que afectan a estos organismos son, el dióxido de azufre, los compuestos de nitrógeno, los metales, los fluoruros, los hidrocarburos clorados, etc.			
RESULTADOS			
Los valores bajos de IPA identificaron áreas con baja diversidad de especies, mientras que los valores altos de IPA indicaron áreas con alta diversidad de especies. El método IPA tiene la potencial de proporcionar una medida cuantitativa del diferencial entre las comunidades urbanas y rurales del liquen.			

Aunque los valores de IPA son a menudo interpretados como indicadores de la contaminación del aire, las diferencias en IPA o riqueza de especies de líquen también pueden surgir debido a la alteración del hábitat.

Mapas: El mapeo de los líquenes es especialmente útil en áreas urbanas, donde puede ser difícil y costoso monitorear una mezcla variada de contaminantes y fuentes puntuales utilizando detectores químicos-físicos. Los líquenes son, por tanto, útiles para determinar la distribución espacial de contaminantes en un área.

CONCLUSIONES

- Los mapas que muestran la biodiversidad de líquenes son muy utilizados en estudios medioambientales.
- El índice de pureza del aire (IPA) muestra que las áreas sin fuentes de contaminación que tienen más biodiversidad de líquenes y un aire más limpio que las ciudades y las áreas industrializadas.
- La ausencia casi total de líquenes puede relacionarse con la baja calidad del aire como consecuencia de la circulación de vehículos a motor, la falta de áreas verdes y la conformación de espacios con poca renovación del aire.

Categoría nacional:

TITULO	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN 8 ZONAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ UTILIZANDO LOS LÍQUENES COMO BIOINDICADORES		
FUENTE	file:///E:/trabajo%20de%20grado/trabajo%20de%20grado%20bogota.pdf		
OBJETIVO	Evaluar la calidad de aire usando los líquenes como bioindicadores en ocho (8) zonas de la ciudad de Bogotá, a partir de la relación de la riqueza y abundancia de líquenes con los contaminantes atmosféricos (SOX, NO, CO y material particulado PM10).		
AUTOR	Egna Vanessa Figueroa y Adriana Paola Méndez Montoya	AÑO	2016
DESCRIPCION			
Este estudio se efectuó en la ciudad de Bogotá, epicentro de actividades industriales y comerciales, esta ciudad ha presentado un incremento en los contaminantes atmosféricos. Utilizaron los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire ya que resulta un método económico para evaluar, por esta razón decidieron evaluar la calidad de aire usando los líquenes en ocho zonas de Bogotá. Monitoreo la presencia de líquenes en los árboles, determinando la riqueza y cobertura liquénica; la zona de Simón Bolívar con concentraciones menores de contaminantes fue la que tuvo mayor riqueza y cobertura			

líquénicas, registrándose la presencia de géneros categorizados como sensibles a la contaminación atmosférica, la zona de Sagrado Corazón con niveles altos de contaminación, las demás zonas fueron clasificadas como zonas de contaminación máxima. Se concluye que la calidad del aire varía entre las diferentes zonas de la ciudad y que las características de las zonas son determinantes en la calidad del aire. Se evidencio que a través de la disminución de riqueza y abundancia de especies de mayor sensibilidad en zonas altamente contaminadas y con la presencia de especies sensibles en zonas menos contaminadas.

RESULTADOS

Índice de diversidad de Shannon: Entre las zonas evaluadas, Simón Bolívar presenta el valor más alto en el Índice de Shannon (3.81), es la zona con mayor homogeneidad entre riqueza y cobertura de géneros o especies, las zonas de menor diversidad fueron: Tunal (0,2960), Guaymaral (0,566), Corpas (0,976), Fontibón (0,9137) y Kennedy (0).

IPA de LeBlanc y De Sloover (1970) modificado por Rubiano (2002): La zona de Simón Bolívar obtuvo el valor más alto del IPA (7,956). El valor de Q es uno de los parámetros que se tiene en cuenta para la obtención del IPA, un indicador del grado de sensibilidad de los géneros o especies encontrados relacionados directamente con los niveles de contaminación (Rubiano, 2012). Con respecto a este valor de Q, las especies *Usnea* sp, *Physcia* sp y *Punctelia* sp, fueron las de mayor sensibilidad y se encontraron únicamente en la zona de Simón Bolívar, mientras que las especies *Flavopunctelia flaventior* (Tunal, Guaymaral, Corpas, Fontibón, Sagrado Corazón y Simón Bolívar), *Dirinaria* sp (Fontibón) y Sp1 (Las Ferias) son consideradas de menor sensibilidad.

Coefficiente de similitud de Jaccard y análisis de clúster: Este mostro que la zona menos similar al resto en cuanto a composición y abundancia de especies es Simón Bolívar, con porcentajes muy bajos de similitud con las otras zonas. Las zonas con mayor similitud fueron Sagrado Corazón y Guaymaral, los datos obtenidos con el análisis de clúster fueron muy similares a los obtenidos con el índice de Jaccard.

Comparación del IPA de Calatayud–Lorente y Sanz entre las ocho zonas de estudio: Se encontraron diferencias significativas entre zonas en el índice de pureza atmosférica de Calatayud-Lorente y Sanz. Este resultado se debe a que la zona de Simón Bolívar resultó diferente a las demás, presentando mayores valores de IPA. Las covariables evaluadas (temperatura, humedad, DAP, diámetro de la copa, pH) no se relacionaron significativamente con el IPA de Calatayud–Lorente y Sanz, es decir que estas variables ambientales no influyeron en los valores del IPA por árbol.

CONCLUSIONES

- A partir de la relación de riqueza y cobertura de líquenes se halló el IPA e índice de Shannon para las zonas de estudio; la zona de Simón Bolívar siempre presentó los valores más altos para estos dos índices y las concentraciones de contaminantes más bajas. Además, según el IPA, esta zona fue la de mejor calidad de aire, siendo el ambiente menos perturbado con las mejores características para el hábitat de los líquenes.
- La mayor riqueza y cobertura de especies estuvo representada por los líquenes con hábito de crecimiento folioso entre las cuales *Flavopunctelia flaventior* y *Physcia undulata*, estuvieron presentes en seis de las ocho zonas estudiadas.
- De las ocho zonas estudiadas seis se clasificaron en contaminación máxima, una en contaminación alta y otra en contaminación baja, lo que nos indica que la ciudad de Bogotá no cuenta con un ambiente óptimo para el desarrollo de especies liquénicas.
- Simón Bolívar y Sagrado Corazón, tuvieron mayor área de cobertura vegetal arbórea a su alrededor, factor importante para mitigar las concentraciones de los contaminantes, lo contrario ocurre con la dirección del viento que puede ser el parámetro ambiental más importante en el desplazamiento de los contaminantes atmosféricos, perjudicando zonas que no deberían tener valores de concentraciones altas y así inhibiendo el crecimiento de líquenes, zonas como Guaymaral, Corpas, Fontibón y Kennedy.

TITULO	LÍQUENES CORTÍCOLAS COMO INDICADORES AMBIENTALES EN LOS ALREDEDORES DE LA MINA DE AZUFRE EL VINAGRE (CAUCA)		
FUENTE	Universidad del Valle		
OBJETIVO	Evaluar el efecto de la contaminación por azufre sobre la diversidad y composición de líquenes cortícolas en la zona de laderas de la mina de azufre El Vinagre (Cauca).		
AUTOR	David Díaz Escandón	AÑO	2012
DESCRIPCION			
<p>Los líquenes son considerados organismos potencialmente indicadores de contaminación del aire debido a su condición de poiquilohídricos, se seleccionaron tres zonas consideradas diferencialmente afectadas por la contaminación, una de un alto grado de contaminación, una medianamente afectada o de transición y una libre de perturbación. Por cada zona se muestrearon 10 forófitos, para los que se colectó y se identificaron los líquenes presentes. Se encontraron 104 especies 2 de líquenes de las cuales 72 fueron identificadas hasta especie, 17 hasta género, cuatro hasta familia y 11 no fueron identificados debido a la ausencia de caracteres taxonómicos o taxonomías complejas. Se estimaron tres zonas de isocontaminación catalogadas como área pristina, área de transición y zona pobre en líquenes, como resultados del IPA. Se generaron mapas de distribución espacial a partir de los resultados del análisis y esto evidenció que el pH estuvo muy</p>			

relacionado con los niveles de diversidad y riqueza. De acuerdo a esto la dispersión de los líquenes en esta área se vio limitada por la fuente de contaminación, y su distribución, riqueza y diversidad se relacionaron con la distancia de la fuente.

RESULTADOS

El IPA tradicional dio como resultado que las zonas 2 y 3 fueron prístinas, con valores de 386.9 y 462.5, respectivamente, y la zona 1 fue catalogada como zona de transición, con un valor de 44.5. Estos rangos fueron establecidos por LeBlanc (1972) para un área ampliamente estudiada, y se recomienda usar escalas establecidas con base en estudios previos sobre una misma zona para que los valores se ajusten a las condiciones de la zona. Este tipo de análisis nunca había sido realizado en una zona de páramo, y los valores fueron bastante inconsistentes con lo observado en campo, donde la zona 1 claramente presentó un alto grado de contaminación, lo cual difiere a la clasificación de transición o moderadamente intervenida.

Los resultados del IPA con la variación realizada en Suiza, catalogaron la zona 3 como una zona pristina u óptima con un valor de 76. La zona 2 fue catalogada como zona normal con un valor de 70 y la zona 1 fue catalogada como una zona pobre en líquenes con un valor de 14. Estos valores manejan la misma escala planteada para el método tradicional de LeBlanc (1972), y aunque la recomendación de establecer la escala con base en observaciones previas se mantiene, este método involucra la sumatoria del valor F que se obtuvo con base a una tabla de frecuencias. El valor F es el mismo para ambos métodos de IPA, pero en el método tradicional se ve opacado por las especies acompañantes, que para el caso suele aumentar los valores del IPA tradicional debido a la alta abundancia de estas en las zonas prístina y normal.

Con base en los valores obtenidos para el IPA tradicional se calcularon los valores FCA, dando como resultado un valor de 8.9 para la zona 1, 104.46 para la zona 2 y para la zona 3 un valor de 148.08. Estos valores afectaron la clasificación de las zonas, debido a la conversión de la escala de acuerdo al área muestreada. Las zonas 2 y 3 mantuvieron la clasificación de prístina, y la zona 1 bajo al nivel dos o zona pobre en líquenes. La variación en las magnitudes de los valores fue apreciable, aunque fuese proporcional al cambio de escala.

Con los valores obtenidos en los IPA y el FCA, se pudo inferir que las zonas 2 y 3 presentan niveles de isocontaminación similares, y se evidenció repetidamente que la zona con la mayor contaminación fue la zona 1. Estos métodos toman un mayor valor cuando el muestreo es constante y se establecen zonas de muestreo permanente. El ajuste de los métodos es necesario para cada zona y por ellos estos datos solo permiten generar inferencias (Kricke & Loppi, 2002); el desarrollo constante de métodos y el uso de estos en las diferentes zonas alrededor del globo permiten mejorar las aseveraciones y detectar factores de cambio específicos de cada zona.

CONCLUSIONES	
<ul style="list-style-type: none"> • Para la zona de estudio se observó que la contaminación generada por la fuente termal aledaña puede restringir la distribución de especies, afectando la diversidad y riqueza en un gradiente espacial. Además, se estableció que la dependencia del gradiente espacial se dio debido a la acidificación de las cortezas de las unidades de muestreo. • La gran diversidad morfológica evidenció la importancia de estos ecosistemas de paramó, con la aparición de líquenes costrosos poco conocidos para estas zonas debido a la alta competencia entre las morfologías costroso y fruticoso comunes para este tipo de ecosistemas, debido a la humedad del aire y alta luminosidad. • La formación de zonas de isocontaminación constantes permitió inferir que el efecto de contaminación existe y se puede comparar en función del tiempo con futuros muestreos para determinar el rumbo de los efectos de los contaminantes y con ello la dinámica geológica, climatológica y ecológica de la zona. 	

h

TITULO	DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE POR MEDIO DE LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TULUÁ, VALLE DEL CAUCA		
OBJETIVO	Determinar la calidad del aire por medio de líquenes como bioindicadores en el área urbana del municipio de Tuluá, Valle del Cauca		
AUTOR	Angie Daniela Álvarez Herrera y Paula Andrea Ordoñez Zapata	AÑO	2018
DESCRIPCION			
<p>En este proyecto se investigó el uso de líquenes en el área urbana de Tuluá – Valle del Cauca, para la determinación de la contaminación atmosférica presente en 5 zonas con influencia vehicular e industrial; así presentar un monitoreo de la calidad del aire mediante bioindicadores, como una opción de bajo costo y viable que permita el control y la prevención para la disminución del impacto ambiental.</p> <p>En esta investigación se seleccionaron las 5 zonas de estudio y se nombraron de acuerdo a la influencia de cada una, en cada una se muestrearon nueve árboles, donde se recolectaron e identificaron los líquenes presentes, se encontraron especies con morfología costrosa y foliosa; se estableció el IPA y el FCA, para cada una de las comunas, donde el FCA sugiere que todas las comunas estudiadas se catalogaron como de máxima contaminación.</p> <p>Se logró demostrar que los líquenes son una alternativa viable para el uso de la determinación de la calidad del aire, en el caso de Tuluá, se encuentra que es altamente influenciado por la intensidad del parque automotor.</p>			
RESULTADOS			
De acuerdo a los datos presentados en el trabajo, establecieron que la estación industrial es la que presenta mayor contaminación debido a la			

presencia de industrias y al alto flujo vehicular que presenta, los datos obtenidos en las otras comunas no están muy alejados del panorama.

Por otro lado, la estación de fondo, a pesar de contar con una mayor cobertura y con presencia de líquenes más sensibles a la contaminación, no logro clasificar como una zona de baja contaminación.

De acuerdo a los valores del FCA obtenidos, se indicó una escala muy baja, esto talvez debió a que se encontraron líquenes costrosos y foliosos, clasificando estas zonas de máxima contaminación. Los líquenes fruticosos son los primeros en desaparecer como consecuencia de la contaminación atmosférica según diversos estudios, esto se confirma ya que no se encontraron esta especie de líquenes.

El coeficiente de similitud de Jaccard, mostro comunas muy poco similares debido a que comparten muy pocas especies con valores bajos en promedio los valores fueron (0,31; 0,33; 0,39), por otro lado, las comunas más similares son las que menos distancia tenían entre sí.

CONCLUSIONES

- La comuna nueve identificada en este estudio como estación de fondo resultó ser la más diversa ya que cuenta con 20 de las 29 especies encontradas y con mayores valores de IPA y FCA (30,9 y 3,7), mientras que la comuna cinco, identificada como estación Industrial es la menos diversa con apenas nueve especies y con valores bajos del IPA y FCA (14,5 y 1,7), por lo anterior, a mejor conservación del ecosistema, mayor diversidad liquénica se presenta.
- La cobertura liquénica disminuyó significativamente sus valores desde un 935.70 cm² (Estación de fondo) hasta un 363.40 cm² (Estación industrial); esto demuestra que las especies de líquenes no se adaptan totalmente a los cambios en el aire, situación que afecta la reproducción, morfología y disminuye la abundancia de los líquenes; como fue el caso del tipo de morfología fruticosa, la cual no se encontró en el municipio.
- Las especies más sensibles a la contaminación fueron *Physcia crispa*, *Physcia tribacioides*, *Canoparmelia crozalsiana*, *Dirinaria picta*, *Graphis* sp.1 y *Caloplaca citrina* (19.0 cada una) en la Estación de fondo (C9), y *Dirinaria aspera* (19.0) en la Estación de Transición (C7). Esto quiere decir que la Estación de fondo presenta mejores condiciones ambientales para el crecimiento de estos líquenes. Por lo tanto, el monitoreo de estas especies en el municipio puede ser un factor importante para determinar la calidad del aire en las áreas o zonas en las que se presenten.
- Los datos obtenidos de Jaccard y el análisis de clúster, demostraron en el desarrollo del presente estudio una poca diferencia entre la composición de especies de líquenes presente en las comunas, por consiguiente, la comunidad liquénica en ellas tiende a ser homogénea y se encuentra

influenciada por condiciones atmosféricas similares, lo que explica la poca diferencia entre los valores de IPA y FCA obtenidos.

- El municipio de Tuluá en el presente estudio está clasificado como zona de mediana y máxima contaminación según resultados del IPA Y del FCA respectivamente, esto se debe a que el municipio es motor comercial en el centro del departamento, además según el censo realizado por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) en el 2005, es el cuarto municipio más poblado del departamento por lo que se encuentra influenciado principalmente por el alto flujo vehicular.

METODOLOGÍA

Para la determinación de la calidad del aire mediante el monitoreo de los líquenes como bioindicadores en el municipio de Yumbo, se llevó a cabo la metodología de Ordoñez & Álvarez, (2018)⁴⁹, modificada en lo referente a la determinación taxonómica de los líquenes y de la información generada se elaboró un listado taxonómico de líquenes; desarrollando de esta manera las siguientes actividades, divididas en etapas para obtener el cumplimiento de los objetivos específicos planteados.

ETAPA 1: Determinación taxonómica de los líquenes presentes en el municipio de Yumbo a través de sus características morfológicas.

Para desarrollar esta actividad, se estableció puntos de muestreo donde se recolectó pequeñas muestras de líquenes con la utilización de herramientas de jardinería. Las muestras obtenidas se depositaron en sobres de papel y transportadas al laboratorio de la Unidad Central del Valle donde serán analizados para su determinación taxonómica. Para obtener el cumplimiento de esta etapa, se llevaron a cabo las siguientes actividades.

Área de estudio: En la selección de los puntos de muestreo se tuvo en cuenta los lugares donde se encuentran las tres estaciones de monitoreo de la CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca), debido a que están situados en sitios de alto flujo vehicular e influencia de la zona industrial, además de una zona que se encuentre conservada situada a las afueras del municipio.

Zona 1. Dentro de esta zona se encuentran ubicadas las tres estaciones de monitoreo del municipio.

- Estación Acopi: ubicada en la carrera 36 # 15-150, zona donde se presenta influencia vehicular e industrial.
- Estación ECA Yumbo: ubicada en la escuela Alberto Mendoza, zona con influencia vehicular, pero con poca influencia industrial
- Estación Las Américas: ubicada en la carrera 18 # 10B-25, zona donde se presenta influencia vehicular e industrial.

Zona 2. Esta zona corresponde al sitio conservado donde se realizarán las diferentes actividades

- Mulalo: corregimiento del municipio de Yumbo, ubicado al norte de este.

Selección de los árboles muestreados: En la selección del forofito se realizó teniendo en cuenta la distribución y frecuencia de individuos presentes en el área de estudio, durante los muestreos se siguió el método de transectos de 10 x 50 m combinado

⁴⁹ ÁLVAREZ, Angie & ORDOÑEZ, Paula. Determinación de la calidad del aire por medio de líquenes como bioindicadores en el área urbana del municipio de Tuluá, Valle del Cauca. Tesis para optar el título de Ingeniera Ambiental: Unidad Central del Valle del Cauca. 2018. 57 – 69 p.

con un muestreo aleatorio simple, con la intención de haber encontrado el mayor número de forófitos con presencia de líquenes.

Muestreo aleatorio simple: El método de muestreo aleatorio simple que utilizan en casos donde la información es poca acerca de la población que fue medida.

Transectos: El método de los transectos es ampliamente utilizado por la rapidez con se mide y por la mayor heterogeneidad con que se muestrea la vegetación. Un transecto es un rectángulo situado en un lugar para medir ciertos parámetros de un determinado tipo de vegetación. El tamaño de los transectos puede ser variable y depende del grupo de plantas a medirse, los profesionales forestales, para inventariar una determinada área forestal, generalmente utilizan transectos de 10x100 m o 20x100 m, puesto que sólo necesitan muestrear algunas especies de su interés y con categorías de DAP mayores. En los transectos, generalmente se miden parámetros como altura de la planta, abundancia, DAP y frecuencia⁵⁰.

Establecimiento de puntos de muestreo: La selección de cada punto de muestreo se basó en la presencia del o los forófitos que se eligieron.

- La determinación taxonómica de los líquenes se llevó a cabo teniendo en cuenta características anatómicas como textura, sustrato, color y forma del talo, presencia de estructuras vegetativas y reproductivas entre otras.
- La forma de crecimiento de los líquenes es un componente clave para su determinación taxonómica, ya que, de acuerdo a su fisiología, representan adaptaciones al hábitat que ocupan (Barreno, 2003). Para esto se tuvo en cuenta el tipo de morfología de los talos como se describe a continuación:
Foliáceos: son laminares, lobulados y con simetría dorsiventral. Presentan talo heterómero. Están parcialmente adheridos al sustrato, por lo que se les puede separar de él sin destruirlos.
Fruticoso: presentan formas de pequeños arbustos, son erectos o colgantes y con simetría radial, a veces dorsiventral. El tamaño es muy variado: desde menos de 1 cm, pequeños arbustos, hasta los que tienen varios metros de largo y dependen de la humedad relativa del aire para su hidratación (aereohipófilos). Son heterómeros con simetría radial, macizos o huecos (talo cilíndrico) o heterómeros con simetría dorsiventral (talo aplanado),
Crustáceo: estos carecen de córtex inferior y están en estrecho contacto con el sustrato, por lo que son difíciles de separarlos de él. Presentan talo homómero. El talo de la mayoría de estos líquenes está constituido de pequeñas escamas denominadas areolas.

⁵⁰ MOSTACEDO B., FREDERICKSEN T. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Ed. BOLFOR. Santa Cruz. 4-8 p. Disponible en internet: <http://www.bionica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf>

- Se realizó un análisis macroscópico, microscópico y químico. Para el análisis macroscópico se consideró la observación de caracteres morfológicos externos a través de un estereomicroscopio⁵¹. Para el análisis microscópico se realizaron cortes de estructuras como apotecios y talos con la finalidad de observar esporas, fotobiontes, capas celulares, entre otros; para ello se utilizó un microscopio óptico de luz. Adicionalmente, en algunos casos se realizaron pruebas químicas y físicas como las pruebas I, C, K, KC, de cristalización y de UV, de acuerdo a la metodología de Moreno, *et al*, 2007; Lavernia *et al*, 2016, Sipman & Aguirre (1982) y Sipman, 2003.⁵²
- Pruebas químicas (reacciones de coloración): los líquenes se expusieron a una serie de pruebas donde se observó su cambio de color y se anotó a que prueba su reacción fue positiva.

PRUEBA C (Chaparro & Aguirre 2002): se empleó una solución acuosa de hipoclorito de sodio y se anotó su reacción y si toma una coloración entre rojo, rosado o anaranjado, su reacción se considera positiva.

PRUEBA I (Marcano 1994): se emplea una solución acuosa de yoduro de potasio y en caso de que su reacción sea positiva se anotara como I⁺.

PRUEBA K (Santesson 1973): se empleó una solución acuosa de hidróxido de potasio y si se observó un cambio de color entre amarillo a rojizo o rojo oscuro a violeta se consideró como una reacción positiva.

PRUEBA KC (Santesson 1973): en esta prueba se aplicó la prueba K y la prueba C, si se observó un cambio de coloración generalmente anaranjado, rojo a rosado se consideró como reacción positiva.

PRUEBA P (Santesson 1973): se realizó una solución acuosa de parafenildiamina, si su reacción se considera positiva se observa un cambio de coloración generalmente rojo, anaranjado o amarillo.

PRUEBA DE CRISTALIZACIÓN: las sustancias liquénicas presentes se cristalizan y pueden observarse en el microscopio.

- Pruebas físicas:

⁵¹ HAWKSWORTH D. L., T. ITURRIAGA, A. CRESPO. 2005. Líquenes como indicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Rev. Iberoam. Micol.* 22: 71 – 82.

⁵² SIPMAN HJM. Identification key and literature guide to the genera of Lichenized Fungi (Lichens) in the Neotropics. Botanic Garden & Botanical Museum Berlin-Dahlem, Free University of Berlin. 2005. Disponible en internet: <http://www.bgbm.org/sipman/keys/primary>

PRUEBA UV: Se colocó cualquier zona del talo a exposición bajo luz ultravioleta para detectar la presencia de cualquier sustancia que emita una respuesta; si la observación nota algún cambio en su coloración se considera reacción positiva, se anotó su color y si es UV positiva o UV negativa.

- Preservación de la muestra: Se realizó una planilla de registro de datos para cada uno de los líquenes estudiados y cada muestra recolectada se depositó en un sobre etiquetado para su almacenamiento y para su conservación. Estos especímenes, servirán como punto de referencia para estudios taxonómicos posteriores. Para la identificación taxonómica de la especie se emplearon diferentes claves taxonómicas de líquenes de Sipman y otros profesionales especialistas⁵³.

A cada sobre se les anotó los siguientes datos:

1. Nombre de la institución a la cual pertenece.
 2. Nombre científico.
 3. Nombre de la persona que determina la especie.
 4. Lugar preciso donde la muestra fue recolectada: municipio, altitud, tipo de bioma, coordenadas geográficas.
 5. Tipo de sustrato.
 6. Fecha de recolección.
 7. Nombre y número de colector.
- Listado taxonómico de líquenes del municipio, mediante sus características morfológicas: se realizó una contribución al conocimiento de la biodiversidad de los líquenes pertenecientes al municipio de Yumbo y aportando un listado líquénico que servirá como punto de referencia para futuros estudios en el Valle del Cauca. La secuencia de actividades que se llevaron a cabo se presenta a continuación:
 1. Recolección de muestras en los diferentes sitios de muestreo.
 2. Realización de pruebas física y químicas, mencionadas anteriormente.
 3. Registro de datos importantes para la identificación.
 4. Almacenamiento de las muestras.
 5. Registro fotográfico.

⁵³ Sipman, H. 2005. Identification Key and Literature Guide to the Genera of Lichenized Fungi (Lichens) in the Neotropics. En línea. Disponible en: <https://archive.bgbm.org/sipman/keys/neokeyA.htm>

ETAPA 2: Calcular el índice de pureza atmosférica (IPA), y el factor de clasificación ambiental (FCA).

El objetivo de esta etapa fue analizar los datos obtenidos en las áreas de muestreo, por medio del índice de pureza propuesto por LeBlanc y De Sloover (1970) y modificado por Rubiano (2002), el cual determino la calidad de aire de acuerdo a la frecuencia y cobertura líquénicas, número de forófitos presentes en cada punto y su factor de resistencia⁵⁴.

Factor de resistencia⁵⁵: Factor de resistencia o también llamado grado de sensibilidad de los géneros o especies encontradas, como sus nombres lo dicen representa la tolerancia y sensibilidad de una especie líquénicas ante la contaminación a la que se encuentra expuesta, donde mayor sea su Q_i , mayor será el grado de sensibilidad de la especie líquénicas.

Ecuación 1. Factor de resistencia

$$Q_i = \sum \frac{A_j - 1}{E_j}$$

Donde:

Q_i : Factor de resistencia de la especie i .

A_j : Número de especies presentes en cada estación donde se encuentre i .

E_j : Número de estaciones donde se halle i .

- Índice de pureza atmosférica (IPA)⁵⁶

Ecuación 2. IPA

$$IPA = \sum \frac{Q_i \times f_i}{n \times C_i}$$

Donde:

⁵⁴ OCHOA, D. CUEVA, A. PRIETO, M. ARAGON, G. BENITES, A. Cambios en la composición de líquenes epífitos relacionados con la calidad del aire en la ciudad de Loja, Ecuador. 2015. [en línea]. Disponible en internet: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/rt/prinFRIENDLY/53867/53929>

⁵⁵ ALVAREZ, Angie & ORDOÑES, Paula. Op. Cit., 64 p.

⁵⁶ ALVAREZ, Angie & ORDOÑES, Paula. Op. Cit., 65 p.

Qi: factor de resistencia de la especie i

Ci: cobertura relativa de la especie del líquen i en la zona j. se divide el valor de cobertura total de la especie i (sumatoria de su cobertura en los forófitos de la zona) entre el máximo valor de cobertura total alcanzado en cualquier zona y luego se utiliza la siguiente escala que se puede observar en la tabla 4, (escala cualitativa, para el valor de Q en el análisis del IPA, para facilitar la lectura del F)⁵⁷.

Fi: frecuencia de la especie i (número de forófitos de la zona j en que aparece el género o especie i), se utilizara una escala que varía según el porcentaje de cobertura de las especies que se especifica en la tabla 5.

N: número de forófitos censados en la zona j.

Tabla 4. Escala de coberturas

Clase	Porcentaje de cobertura	Nivel
6	95% - 100%	Alto
5	75% - 95%	Alto
4	50% - 75%	Medio
3	25% - 50%	Medio
2	5% - 25%	Bajo
1	0% - 5%	Bajo

Fuente: líquenes cortícolas como indicadores ambientales en los alrededores de la mina de azufre el vinagre (Cauca), Universidad del valle, (2011).

Tabla 5. Escala de frecuencia

Número de forófitos	Valor de cobertura	Porcentaje
2	Bajo	0% - 25%
5	Bajo	0% - 25%
5	Medio	25,1% - 75%
6 a 10	Alto	75,1% - 100%
8 a 10	Alto	75,1% - 100%

Fuente: líquenes cortícolas como indicadores ambientales en los alrededores de la mina de azufre el vinagre (Cauca), Universidad del valle, (2011).

Factor de clasificación ambiental: Se calculó el factor de clasificación ambiental como un complemento para el IPA debido a que este presenta variaciones; el FCA

⁵⁷ Díaz, David. Líquenes cortícolas como indicadores ambientales en los alrededores de la mina de azufre el vinagre (Cauca). Tesis para optar el título de biólogo. Universidad del Valle. 2018. 29 – 30 p.

fue propuesto por Kaffer en el 2011, la diferencia de este es que tiene en cuenta la morfología y sensibilidad frente a los contaminantes.

Ecuación 3. Factor de clasificación ambiental Kaffer (2011)

$$FCA = \frac{(CGMc + CGMfo + CGMfr) \times IPA}{100}$$

Donde:

CGMc: grupo de cobertura de morfología costroso (tolerantes)

CGMfo: grupo de cobertura de morfología foliosa (medianamente tolerantes)

CGMfr: grupo de cobertura de morfología fruticosa (sensibles)

Para obtener los valores de cobertura morfológica de cada tipo (costroso, foliosa, fruticosa se utilizará la tabla 6.

Tabla 6. Escala de cobertura liquénicas por morfología.

Cobertura de morfología costroso		Cobertura de morfología foliosa, micro-foliosa y escamulosa		Cobertura de morfología fruticosa	
Cobertura (%)	Escala	Cobertura (%)	Escala	Cobertura (%)	Escala
0 – 20	9	0 – 20	10	ausencia	1
20.1 – 40	7	20.1 – 40	8	0.1 - 1.5	5
40.1 – 60	5	40.1 – 60	6	1.6 - 3.0	7
60.1 - 80	3	60.1 - 80	4	3.1 - 4.5	10
80.1 – 100	1	80.1 – 100	2	4.6 o más	15

Fuente: líquenes corticolos como indicadores ambientales en los alrededores de la mina de azufre el vinagre (Cauca), Universidad del valle, (2011).

ETAPA 3: Comparar los cálculos del índice de pureza atmosférica (IPA), y el factor de clasificación ambiental (FCA) entre una zona afectada por la contaminación y una zona conservada del municipio de Yumbo.

El objetivo de esta etapa fue analizar los datos obtenidos en los cálculos del índice de pureza y el factor de clasificación ambiental; donde se realizó la comparación entre las zonas y se categorizo la calidad del aire presente en las zonas de estudio.

Categorización de la calidad del aire presente en las zonas de estudio⁵⁸. Al realizar la categorización se debió calcular el índice de pureza atmosférica con el factor de

⁵⁸ ALVAREZ, Angie & ORDOÑES, Paula. Op. Cit., 69 p.

clasificación ambiental, donde se agruparon los datos en zonas, está ya establecida por LeBlanc (1972), Rubiano (1987) y adoptadas por varios investigadores.

Tabla 7. Clasificación para identificar zonas de contaminación atmosférica por medio de bioindicadores.

ZONAS	DESCRIPCIÓN	RANGO	CONTAMINACIÓN	COLOR
I	Desierto líquénicas	1 – 5,5	Máxima contaminación	
II	Pobre en líquenes	5,6 – 15,5	Contaminación alta	
III	Transición	15,6 – 35,5	Contaminación media	
IV	Normal	35,6 – 75,5	Contaminación moderada	
V	Óptima	75,6 en adelante	Contaminación baja	

Fuente: Determinación de la calidad del aire por medio de líquenes como bioindicadores en el área urbana del municipio de Tuluá, Valle del Cauca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Área de estudio:

Los muestreos se dividieron en dos áreas, en el área número 1 se encuentran ubicadas las tres estaciones de monitoreo presentes en el municipio de Yumbo y el área número 2 se encuentra ubicada en el corregimiento de Mulalo.

En el área 1 los muestreos se llevaron a cabo alrededor de las áreas de monitoreo:

La estación de monitoreo ACOPI se encuentra ubicada en la carrera 36 # 15-150, dentro de las instalaciones del PAIS, cerca de una vía de alto flujo vehicular que conduce los vehículos a la zona industrial de ACOPI y para la cual los informes anuales de la CVC reportan mayores concentraciones de pm_{10} y $pm_{2.5}$ que sobrepasan los estándares máximos permisibles establecidos en la normatividad legal vigente; es de gran importancia mencionar que la ecología del sitio se evidencia afectada por los factores anteriormente mencionados. La presencia de líquenes en este lugar es escasa, algunas especies no alcanzan a llegar a la madurez, por lo tanto, se producen muy pocas estructuras que ellos producen en estado adulto. Dichas estructuras (apotecios y esporas) son determinantes para realizar una correcta identificación y en algunos casos se logró determinar hasta la categoría de género debido a la ausencia de ellos.

Imagen 1. Muestras liquénicas ACOPI



Fuente: autores

La estación de monitoreo ECA Yumbo ubicada en la escuela Alberto Mendoza presenta influencia de flujo vehicular pero poca influencia industrial; este sitio se encuentra en buen estado de conservación ecológica en comparación con los otros dos sitios de muestreo; a pesar de que el sitio se encontraba con muy buena presencia arbórea algunas de estas especies presentaban intervención humana, es decir, especies intervenidas con letreros o su tronco pintado que afectaban de cierta manera el desarrollo de crecimiento de los líquenes. A pesar de este tipo de intervenciones, se observó una estrecha relación entre los líquenes con diversos grupos de seres vivos conviviendo alrededor como es el caso de lagartijas, arañas, polillas, caracoles y babosas a los cuales, los líquenes les proporcionan un ambiente de refugio y una fuente de alimentación.

Imagen 2. Muestras liquénicas de la estación ECA Yumbo (Liceo)



Fuente: autores

La estación de monitoreo Las Américas se encuentra ubicada en la carrera 18 # 10b-25 dentro de las instalaciones de Cementos del Valle (Argos) contigua a una vía de alto flujo vehicular e influencia industrial para la cual los informes anuales de la CVC reportan mayores concentraciones de pm_{10} que sobrepasan los niveles máximos permisibles. Se logró evidenciar a simple vista que este sitio de estudio es el que se encuentra más afectado, debido que en el momento de tomar las muestras hubo dificultades, ya que eran muy escasos los arboles con presencia liquénica en el área y los pocos forófitos que se encontraban presentaban intervención humana tales como puntillas clavadas, residuos plásticos y de alimentos. Estos datos se ven reflejados en la cartografía en la cual se observa que los forófitos muestreados se encuentran distantes entre sí.

Imagen 3. Muestras liquénicas de Las Américas

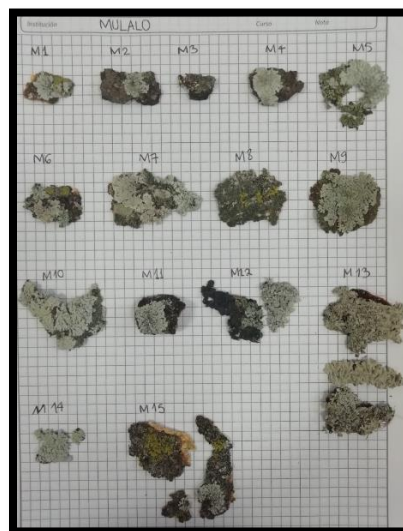


Fuente: autores

Mulalo se consideró como un área conservada propuesta en el proyecto debido a sus buenas características ambientales en una población arbórea bastante abundante. Según lo observado, se realizó el muestreo en 15 forófitos los cuales tienen como nombre común Carbonero, Acacias, Ficus y Guanábano, los cuales fueron seleccionados por un muestreo aleatorio simple dando inicio en el parque principal del corregimiento y continuando alrededor de la cancha principal.

Durante el muestreo, se presentó una fuerte precipitación, retomando el proceso de recolección al día siguiente en la sección de la entrada del corregimiento cerca al sitio donde se encuentra la trituradora de material pétreo de Mulalo.

Imagen 4. Muestras liquénicas de Mulalo



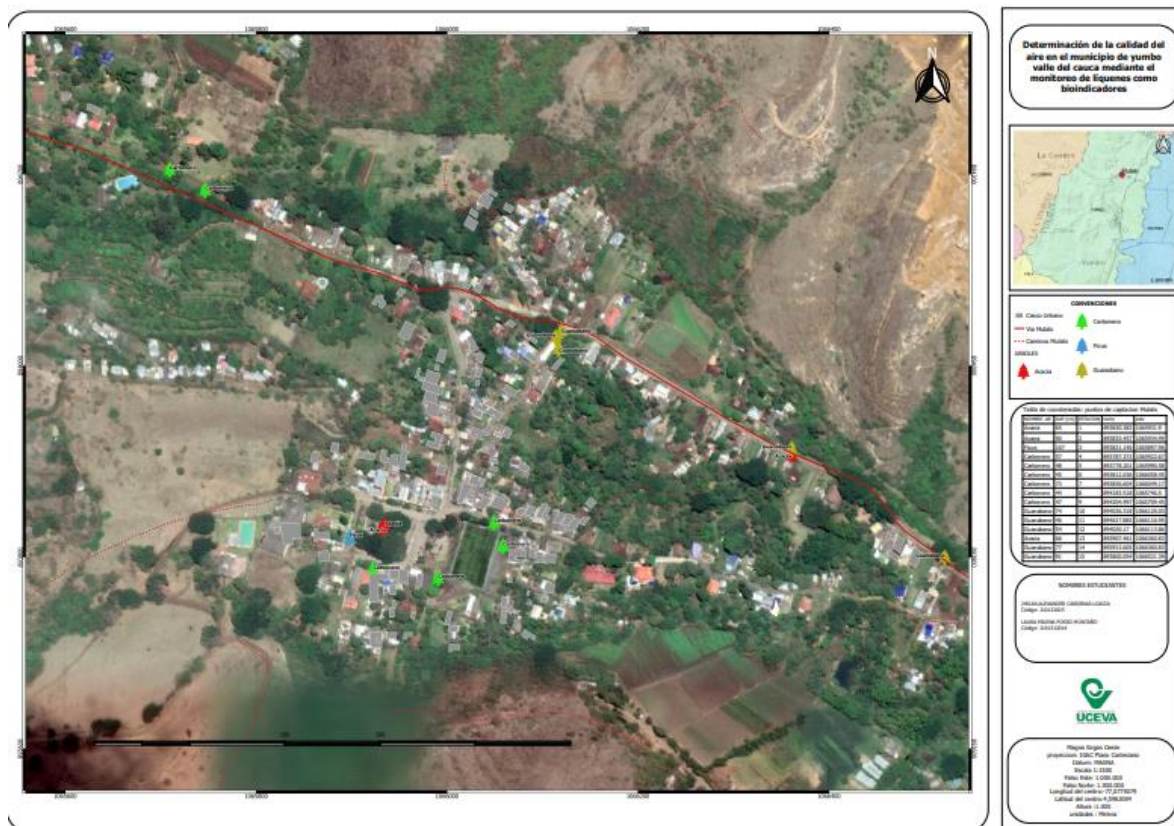
Fuente: autores

Puntos de muestreo

Para los puntos de muestreo se seleccionaron 36 forófitos en total y se recolectaron muestras en cada uno de estos. Para la zona # 1 se seleccionaron 7 forófitos para cada una de las estaciones, en las cuales se seleccionaron 21 forófitos en total; para la zona # 2 se seleccionaron 15 forófitos ubicados en el parque y vías del corregimiento de Mulaló.

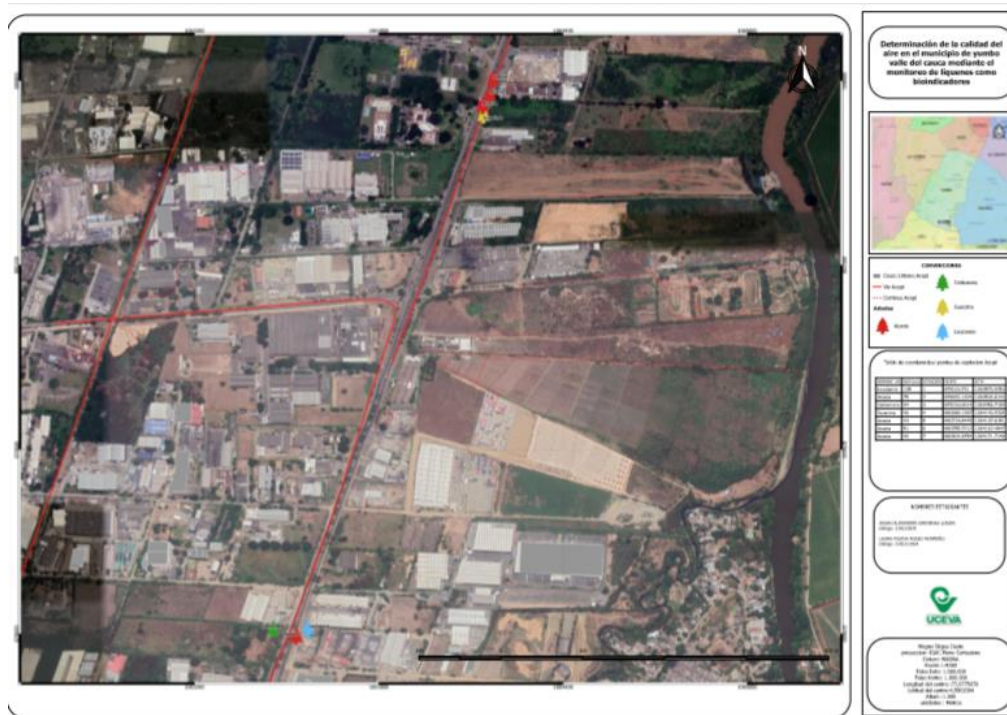
Para la selección del forofito se tuvo en cuenta los parámetros mencionados en la metodología, se presenta la ubicación de los 36 forófitos muestreados, facilitando la visualización de los forófitos y las zonas. En las imágenes (5,6,7,8) se observa la ubicación geográfica de los forofitos, para una mejor visualización se presentarán en forma de pdf.

Imagen 5. Ubicación geográfica Mulaló



Fuente: adaptado por autores a partir de Qgis

Imagen 6. Ubicación geográfica ACOPI



Fuente: adaptado por autores a partir de Qgis

Imagen 7. Ubicación geográfica ECA Yumbo



Fuente: adaptado por autores a partir de Qgis

Imagen 8. Ubicación geográfica Las Américas




Fuente: adaptado por autores a partir de Qgis

Selección del árbol a muestrear:


Para la selección del árbol a muestrear se tuvo en cuenta la distribución y frecuencia de los arboles presentes en el área de estudio establecidas, durante los muestreos se utilizó el método de transectos combinado con un muestreo aleatorio simple, donde se recolectaron e identificaron las especies de árboles que portaban líquenes como es el caso de acacia (tabla 8), carbonero (tabla 9), ficus (tabla 10), ceiba (tabla 11), guácimo (tabla 12), leucaena (tabla 13) y guanábano (tabla 14).

Tabla 8. Descripción arbórea (Acacia)

	<p>Nombre común: Acacia amarilla Nombre científico: <i>Acacia mill</i> Familia: Fabaceae Género: <i>Acacia</i></p> <p>Género de arbustos y árboles descubierta por primera vez en África por el botánico sueco Carlos Linneo en 1773. Muchas especies tienden a ser espinosas, su nombre genérico deriva de ακακία (acacia), el nombre dado por los primeros griegos.</p>
---	---

Fuente: autores, Ecured⁵⁹

Tabla 9. Descripción arbórea (Carbonero)


	<p>Nombre común: Carbonero Nombre científico: <i>Calliandra pittieri</i> Familia: Fabaceae Género: <i>Maba</i></p> <p>Árbol que alcanza los 7 metros de altura cuando adulto, de tronco recto y corteza floja, hojas coriáceas abovales o elípticas, lampiñas, brillantes y de color verde oscuro, en la cara superior. La madera no solamente es muy negra, sino que es pesada y muy compacta, su madera es muy comercial.</p>
---	---

Fuente: autores, Ecured⁶⁰

⁵⁹ ACACIA [anónimo]. <https://www.ecured.cu/Acacia>


⁶⁰ CARBONERO [anónimo]. https://www.ecured.cu/%C3%89bano_carbonero

Tabla 10. Descripción arbórea (Ficus)

	<p>Nombre común: Ficus Nombre científico: <i>Ficus sp</i> Familia: Moraceae Género: <i>Ficus</i></p> <p>Este género de plantas contiene alrededor de 800 especies de árboles, arbustos y trepadoras de la familia Moraceae, distribuidas por las regiones templadas.</p>
---	--

Fuente: autores, Ecured⁶¹

Tabla 11. Descripción arbórea (Ceiba)


	<p>Nombre común: Ceiba Nombre científico: <i>Ceiba sp.</i> Familia: Malvaceae Género: <i>Ceiba</i></p> <p>Es un género de plantas que posee aproximadamente 50 especies. Son originarias de Centroamérica. La especie más común o especie tipo es <i>Ceiba pentandra</i>.</p>
---	---

Fuente: Ecured⁶²

Tabla 12. Descripción arbórea (Guácimo)


⁶¹ FICUS [anónimo]. <https://www.ecured.cu/Ficus>

⁶² CEIBA [anónimo]. <https://www.ecured.cu/Ceiba>

	<p>Nombre común: Guácimo Nombre científico: <i>Guazuma ulmifolia</i> Familia: Malvaceae Género: <i>Guazuma</i></p> <p>Árbol de tierra caliente que puede crecer hasta 20 m de altura. Sus ramas se extienden ampliamente. Hojas alternas pecioladas, bordes aserrados. El fruto es una cápsula globosa color negro púrpura y espinosa.</p>
---	---

Fuente: autores, Ecured⁶³

Tabla 13. Descripción arbórea (Leucaena)


	<p>Nombre común: Leucaena Nombre científico: <i>Leucocephala benth</i> Familia: Fabaceae Género: <i>Leucaena</i></p> <p>Especie arbórea perteneciente a la familia de las Leguminosas o Fabáceas, género de cerca de 24 especies de árboles y arbustos, tiene frutos y semillas comestibles, usadas en alimentación forrajera animal, en abonos verdes, conservación de suelos, semillas para collares.</p>
---	--

Fuente: autores, Ecured⁶⁴

⁶³ GUACIMO [anónimo]. <https://www.ecured.cu/Gu%C3%A1cimo>

⁶⁴ LEUCAENA [anónimo]. <https://www.ecured.cu/Leucaena>

Tabla 14. Descripción arbórea (Guanábano)

	<p>Nombre común: Guanábana Nombre científico: <i>Annona muricata</i> Familia: Annonaceae Género: <i>Annona</i></p>
	<p>Fruta tropical, es considerada uno de los más poderosos anticancerígenos, se debe a la alta concentración de acetogeninas que tiene el fruto muy popular en el Sur de América.</p>

Fuente: autores, Ecured⁶⁵

Para la elección del árbol se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

Características adecuadas en el estado del árbol, lo más apropiado es que se encuentre en óptimas condiciones fitosanitarias, adultos, con un DAP (diámetro a la altura del pecho) mayor a 20 cm, de acuerdo con la metodología de muestreo de transectos, con una inclinación no mayor a los 20°, que el tronco tuviera una exposición adecuada a la radiación solar para el crecimiento de líquenes.

La selección se realizó dándole cumplimiento a los parámetros determinados en la metodología planteada acerca del método de muestreo.

Cobertura liquénica:

De acuerdo a los datos obtenidos en el laboratorio se encontraron 23 especies de líquenes en los 36 forófitos muestreados en las 4 estaciones, se muestreo un área total de 1661.5 cm² de cobertura liquénica, donde la especie en común de las 4 estaciones fue *Physcia aipolia* con una cobertura total de 506,95 cm².

La zona de conservación llamada Mulalo, fue la de mayor cobertura con 993.5 cm² y una diversidad liquénica de 14 especies, donde la especie predominante en el

⁶⁵ GUANABANO [anónimo] <https://www.ecured.cu/Guan%C3%A1bana>

área fue *Physcia americana* con una cobertura de 140 cm², la morfología sobresaliente en el área fue folioso.

En las zonas de influencia industrial y vehicular, se obtuvo una cobertura total de 668 cm², donde el área de ECA Yumbo fue donde se encontró una mayor cobertura líquénica de 378 cm², siguiéndola el área de ACOPI con 232 cm² y por último el área de Las Américas con 58 cm².

ECA Yumbo con una cobertura líquénica de 378 cm² y una diversidad líquénica de 8 especies, donde la predominante es la especie *Physcia aipolia* con una cobertura de 194.95 cm² y el grupo morfológico dominante en el área es folioso.

ACOPI presenta una cobertura líquénica de 232 cm² y una diversidad líquénica de 5 especies, siendo el área estudiada con menor diversidad, en esta zona al igual que ECA Yumbo la especie predominante es la *Physcia aipolia* con una cobertura de 164.3 cm² y siendo costroso la morfología dominante.

Finalmente, la zona de Las Américas, presentando una diversidad de especies líquénicas un poco baja (6), siendo *Physcia aipolia* la especie predominante, la cobertura presente en el área fue de 58 cm², donde la morfología dominante es foliosa.

Descripciones morfológicas de los líquenes recolectados

Para la estación de Mulaló se recolectó un total de 15 muestras de líquenes, las cuales presentaron 29 morfotipos que se analizaron en laboratorio de acuerdo a la metodología propuesta para su determinación taxonómica. Se determinó la presencia de 15 especies pertenecientes a los géneros *Physcia*, *Xanthoria*, *Xanthoparmelia*, *Heterodermia*, *Cococarpia* y *Collema*.

Para la estación de Acopi se recolectó un total de 7 muestras, con 11 morfotipos donde los géneros representativos fueron *Endocarpon*, *Physcia*, *Verrucaria* y *Caloplaca*

Para la estación de las Américas se recolectó un total de 7 muestras, las cuales presentaron 8 morfotipos que se determinaron taxonómicamente en 6 especies comprendidas entre los géneros *Physcia*, *Xanthoria* y *Xanthoparmelia*.

Para la estación de ECA-Yumbo se recolectó un total de 7 muestras, de las cuales se aislaron 12 morfotipos que fueron determinados en 8 especies pertenecientes a los géneros *Physcia* y *Xanthoria*.

Las especies de cada uno de los lugares con sus respectivos géneros y especies determinadas se describen a continuación:

Caloplaca obscurella (J. Lahm ex Körb) Th. Fr.

Tiene talo crustáceo, inicialmente fino, contiguo o algo areolado, color gris pálido a oscuro, verde a ligeramente verde grisáceo al madurar, presencia de soraliOS generalmente esparcidos y dispersos, raramente aglutinados, de 0.1-0.3 mm de diámetro, blancos a grisáceos, generalmente cóncavos y con aspecto de cráter. Presencia de soledios gris verdosos a gris azulados. Apotecios de 0.8 mm de diámetro aproximadamente, no son comunes, aparecen esparcidos con el disco plano o ligeramente abultado. Margen talino visible al principio pero después desaparece.

Reacciones químicas: SoraliOS no reaccionan con hidróxido de potasio.

Hábitat y distribución: Crece en cortezas básicas, ricas en nutrientes o raramente sobre rocas.

Cococarpia

Cococarpia es un género de hongos liquenizados dentro de la familia Coccocarpiaceae. Está compuesto por alrededor de 29 especies con distribución pantropical y con alta precipitación

***Cococarpia sp.* 1**

Talo folioso, compuesto por lóbulos superpuestos entre sí, con bordes redondeados, y ligeramente ramificados. Crece de manera irregular por la superficie del sustrato hasta adquirir una distribución extensa. De coloración verde grisáceo claro a gris claro. El centro es pruinoso con textura seca, suave, ligeramente rugosa. Apotecios poco frecuentes, solo se diferencian en estados adultos del organismo por lo cual se hace difícil la identificación a nivel de especie. Lóbulos lineares, con frecuencia bifurcado en dos ramificaciones en su ápice, 0.50 ± 1.0 mm de ancho, superficie superior lisa. Isidios marginales, rara vez laminares. Córtex superior de 10 a 20 μ m de espesor. Las descripciones coinciden con lo reportado por Coca & Sanín, 2010.

Reacciones químicas negativas.

Hábitat y distribución: Crece solitario en lugares soleados sobre cortezas de consistencia dura en árboles de angiospermas y gimnospermas presentes en ambientes conservados o con presencia de vegetación circundante, sensible a la contaminación, de distribución cosmopolita en América.



Collema

Los líquenes pertenecientes al género *Collema* se caracterizan por formar talos foliáceos gelatinosos sin córtex, en los que el fitobionte es una cianobacteria del género *Nostoc*. Generalmente son líquenes negros, algunos de crecimiento irregular y otros en forma de rosetas negras con lóbulos anchos y delgados que forman pliegues radiales sobre las cortezas de los árboles. Ocasionalmente pueden aparecer creciendo sobre rocas o sobre superficies conviviendo con musgos y otras especies de líquenes del género *Physcia*. Es tolerante a ambientes con presencia de contaminación moderada.

Morfotipos recolectados: *Collema* sp1 y *Collema* sp 2.



Endocarpon

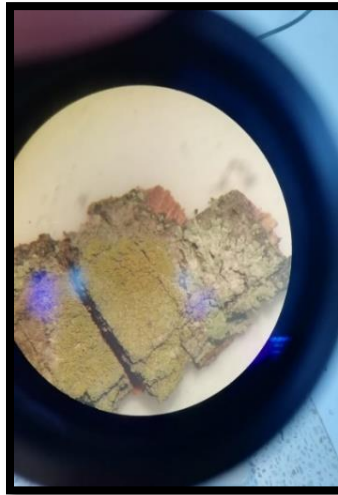
***Endocarpon pallidulum* (Nyl.) Nyl**

Talo folioso escamoso, 0.5 a 1.5 mm de ancho, 0.1-0.2 mm de grosor, de distribución agregada en el sustrato, libremente a ligeramente imbricado, ligeramente lobulado, con margen libre del sustrato y ascendente, superficie

superior unida centralmente, de coloración marrón pálido, corteza superior lisa, 20-40 μm de grosor, compuesto por células angulares bastante grandes (6-15 μm de diámetro), que carecen de médula. Corteza inferior muy unida a la médula, compuesta de células pigmentadas más angulares, compactas y oscuras. Presencia de peritecios subglobosos, de 0.1 hasta 0.3 mm de ancho, causando un abultamiento en el lado inferior de la superficie.

Reacciones químicas negativas

Hábitat y distribución: creciendo sobre piedra caliza y roca ácida o capa delgada de suelo sobre el mismo, coloniza a demás troncos de corteza quebradiza.



Fuente: autores

Flavoparmelia caperata (Ehrh. ex Ach.) Ach

Talo folioso de mediano a grande, que forma parches redondeados de 5 a 20 cm de ancho, de color amarillo verdoso cuando está seco y verde más oscuro cuando está húmedo. Lóbulos redondeados, 3-8 μm de ancho, lisos o granulares, desde la pústula se forman parches de soledios granulares irregulares. Superficie inferior de color negro, con rizinas negras, no ramificadas; puede ser de color café, expuestas alrededor de la periferia, médula blanca. Apotecio: poco común, A menudo con peritecios.

Pruebas químicas: Córtex PD-, K-, KC+, C-; médula K-, KC+ rosado, C- (ácido; único).

Hábitat y distribución: Crece principalmente sobre la corteza rugosa de los árboles. De distribución escasa en convivencia con otras especies de líquenes.



v

Fuente: autores

Heterodermia

Morfotipo recolectado: *Heterodermia* sp 1:

Talo folioso a subfruticoso, de tamaño pequeño a mediano, de unión moderada a muy débil, a veces combinándose para formar conglomerados radiales extensos, lóbulos redondeados globosos, lineales a sublineales, alargado a medianos puntas redondeadas o flácidas ascendentes, sin cilios marginales. Superficie superior de color gris verdosa sin pruina, sin soledios. Tejido de la superficie prosoplectenquimatoso, compuesto de hifas periclinales. Médula blanca o a veces amarillo crema. Apotecios ausentes. Geografía: principalmente pantropical

Hábitat y distribución: creciendo sobre corteza o madera, roca o raramente suelo con algunas especies.



Fuente: autores

Physcia

Physcia aipolia (Ehrh. Ex Humb.) Fűrnr.

Talo foliáceo de lóbulos anchos de color gris pálido, fuertemente adherido al sustrato. La cara superior lisa se encuentra densamente cubierta por estructuras puntiformes que tienen apariencia de puntos blancos. Cara inferior con ricinas simples. Apotecios lecanorinos frecuentes, de disco plano, negros, cubiertos por puntos blancos.

Reacciones químicas: Córtex y médula K⁺ (amarillo).

Hábitat y distribución: Especie frecuente en el área de Yumbo, vive sobre todo tipo de troncos y ramas con alto grado de eutrofización. Especie cosmopolita tolerante a la contaminación atmosférica por lo cual, se encuentra fácilmente tanto en sitios conservados como poco conservados.

Phycia alba (Fée) Müll.Arg

Talo folioso, ligeramente unido al sustrato, mide hasta 5 cm de diámetro; tiene lóbulos de planos a casi cóncavos, de 1,5 mm de ancho, pero generalmente más angostos, distintamente separados o algunas veces traslapados. La superficie superior es de gris blanquecina a amarillo tenue, sin gránulos de oxalato de calcio. No hay soledios, isidios ni máculas. Médula blanca. La superficie inferior es pálida y presenta rizinas. Los apotecios son abundantes, miden de 1 a 2 mm de diámetro; tiene un disco de color marrón sin gránulos de oxalato de calcio (pruina).

Reacciones químicas: La superficie reacciona ante el hidróxido de potasio tornándose amarillo (K⁺).

Hábitat y distribución: Crece sobre corteza de árboles, y a veces en rocas; en micrositos semiabiertos de bosques húmedos tropicales (senderos y vegetación secundaria) y en micrositos abiertos a semiabiertos en altitudes medias (vegetación secundaria, áreas de pastoreo y orillas de caminos).

Phycia americana G. Merr

Talo foliáceo lobulado, con lóbulos grandes de margen entero, ligeramente ramificados de manera dicotómica. Talo gris verdoso a gris pálido con el tiempo, con crecimiento en forma de roseta hacia la periferia. Centro de color verde oscuro y con presencia de estructuras con apariencia pulverulenta.. El ejemplar presenta características que recuerdan bastante a *Phycia aipolia*. Himenio hialino debajo, marrón arriba. Apotecio hialino o amarillento. Paráfisis simples o raramente ramificadas, capitadas.

Reacciones químicas: Médula K⁺.

Hábitat y distribución: Creciendo sobre corteza de árboles, de manera escasa, poco tolerante a la contaminación, con escaso desarrollo de apotecios y soredios. De hábito solitario creciendo en lugares con abundante luz.



Fuente: autores

Physcia caesia (Hoffm.) Hampe ex Fűrnr.

Talo foliáceo, lobulado, a menudo orbicular y formando rosetas definidas. Lóbulos sin cilios marginados, a veces hay ricinas que sobresalen, talos medianamente adheridos al sustrato. Lóbulos gris azulados, con máculas blancas representativas en condiciones de hidratación, cortex inferior prosoplectenquimático. Muy similar a *P. aipolia*, pero con numerosos soralios de hasta 2 mm de diámetro, blanquecinos a gris azulados, variables en su desarrollo, desde laminares a capitiformes o crateriformes, hasta situados en cortos lóbulos secundarios.

Margen entero o crenulado. Disco marrón-negro, a veces pruinoso. Himenio hialino debajo, marrón arriba. Hipotecio hialino o amarillento. Paráfisis simples o raramente ramificadas, capitadas. Ascosporas marrones, 1-septadas, tipo *Physcia*, 17-24 x 7-11 μm . Picnidias raras, cuando presentes pequeñas, hundidas, con un margen ligeramente levantado. Conidias subcilíndricas de 4-6 x 1 μm hialinas.

Reacciones químicas: corteza superior y médula K + amarillo, C-, KC-, P + amarillo, lo cual coincide con la información de Moberg 2002 y de Elvebakk & Moberg 2002.

Hábitat y distribución: Creciendo sobre todo tipo de sustratos eutrofizados incluyendo rocas, ampliamente distribuidos, en lugares con abundante luz, cosmopolita. Toxitolerantes a ambientes con aire moderadamente contaminado.

Physcia clementei (Sm.) Lyngé

Talo folioso costroso con la edad, de crecimiento orbicular a irregular, frágil, hasta 2 cm de diámetro a superficie, partes centrales a menudo cubiertas por pústulas

disueltas en lóbulos soredios granulados planos a cóncavos, de hasta 0.5 mm de ancho, raramente anchos, escasamente divididos; de borde truncado o crenulado, ocasionalmente ascendente, superficie superior blanquecina, raramente gris oscuro, generalmente con presencia de pústulas o isidios opacos. Superficie laminar con desarrollo de soredios de apariencia granular o en forma de cráteres que pueden fusionarse y cubrir todo el tallo del córtex. Tejido superficial paraplectenquimatoso, córtex inferior ligeramente prosoplectenquimatoso, superficie inferior pálida a marrón (partes internas), blanco en las puntas, más oscuro en las partes internas; presencia de rizinas escasas del mismo color de la superficie inferior. Presencia de apotecios frecuentes de hasta hasta 2 mm de diámetro, con margen crenulado. Ascosporas de color café marrón, con un septo.

Reacciones químicas: corteza superior y médula K + amarillo, C-, KC-, P + amarillo

Hábitat y distribución: crece principalmente en árboles, pero también en rocas en sitios abiertos. Distribución mundial conocida de localidades dispersas en el centro y sur de Europa, sur de California, centro y sur América.

***Physcia convexa* Nyl.**

Talo folioso, orbicular a irregular, firmemente adnado, a veces imbricado, hasta 3 cm a través de los lóbulos, convexo a plano, de hasta 1 mm de ancho, raramente superpuesto. Superficie lisa verde grisácea a gris blanquecina amarillenta con la edad. Lóbulos gris verdosos a blancos de bordes, tejido de la superficie paraplectenquimatoso. Médula inferior verde clara a gris clara formada por células de paredes gruesas. Presencia de abundantes apotecios de hasta 2 mm de diámetro, de margen grueso, discos de color marrón a negro y presencia de ascosporas de 16-19 x 9-11 μm .

Pruebas químicas: superficie de corteza y médula K + amarillo, C-, KC-, P + amarillo.

Hábitat y distribución: crece en rocas en expuestos a la luz solar. Distribución mundial conocida de Brasil, México, Paraguay, Perú y Uruguay. Esta especie es similar a *P. phaea* pero este último tiene lóbulos menos convexos y puntas crenuladas y ensanchadas en la corteza inferior.

Physcia manuelli

Talo folioso, con crecimiento irregular, se extiende alrededor de 4 cm de diámetro, coloración verde grisáceo a verde claro con la edad, lóbulos redondeados ligeramente ramificados, con el centro de aspecto polvoso. Adheridos al sustrato desde la parte central, con margen aéreo.

Ascosporas de color café marrón a negruzco, con un septo, de 16-23 x 7-10 μm según la literatura, 14-20 x 6-9 μm según nuestras medidas. Picnidios a veces abundantes y visibles como puntos negros.

Reacciones químicas: Corteza K + amarillo, médula K-. No es especialmente marítimo, común en las cortezas de los árboles, incluso dentro de las ciudades, igualmente abundante en rocas ricas en nutrientes y, a veces, en el cemento.

Hábitat y distribución: crece comúnmente sobre cortezas de árboles pero también en rocas en sitios abiertos. Distribución mundial conocida de localidades dispersas en el centro y sur de Europa, sur de California, centro y sur América.



Fuente: autores

Verrucaria

Verrucaria virens

Líquén costroso, de coloración café oscuro a negro, de aspecto semi granuloso o polvoriento que tiende a extenderse ampliamente y en la superficie adquiere la apariencia de terciopelo con cortadas que asimilan a madera quebradiza. Homómero, no presenta estructuras reproductivas. El fotobionte es un alga verde globular con ecología saxícola.

Pruebas químicas: KOH positivo en la superficie.

Hábitat y distribución: Puede crecer junto o sobre otros líquenes, es de amplia distribución en América y Europa.

Xanthoparmelia

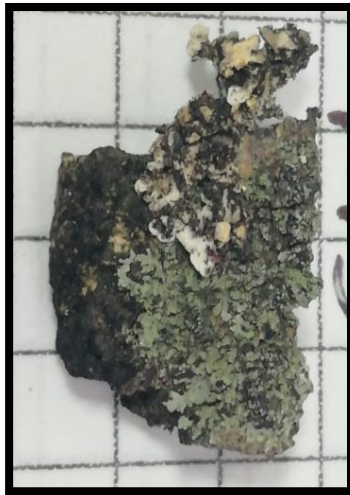
Xanthoparmelia substrigosa

Talo foliáceo, bastante pegado al sustrato, de hasta unos 6-10 cm de anchura. Los lóbulos suelen estar bastante solapados, aunque a veces no, son irregulares, de 1-2 mm de anchura, ramificados, a veces con lóbulos más finos que cubren la zona central. El color de la cara superior es amarillento verdoso, que pasa a verde

negruzco en las zonas viejas. Los márgenes de los lóbulos generalmente son negros. La cara inferior es lisa, negra, brillante, con rizinas (pelos de sujeción) densas o esparcidas. La médula es blanca. Carece de máculas y soralios. Los isidios aparecen de forma dispersa, son de casi globosos a cilíndricos o a veces levemente ramificados, de 0.04-0.08 mm de anchura, con los ápices intactos. Los apotecios miden hasta 6 mm de anchura, el disco es marrón o marrón oscuro y el margen generalmente ondulado, con isidios al madurar. Las ascosporas miden 7.5-8.5 x 5-6.5 micrómetros. Los picnidios son frecuentes, visibles como puntos negros y producen esporas de 4-6 x 0.5 micrómetros.

Reacciones químicas: Superficie del tejido superior K+ amarillo que pasa a rojo oscuro en la médula, C-, KC+ rojo. Contiene ácido úsnico, ácido salazínico y ácido consalazínico.

Hábitat y distribución: Aparece en las zonas cálidas o templadas y con periodos de sequía en todo el Hemisferio Norte, más raramente en zonas frías. Crece sobre rocas silíceas soleadas y sobre cortezas de consistencia duras de algunos árboles, puede convivir con otras especies de líquenes a su alrededor y tolera condiciones moderadas de contaminación aérea.



Fuente: autores

Xanthoparmelia conspersa (Ehrh. ex Ach.) Hale

Talo folioso. Con lóbulos redondeados que se extienden en forma de roseta a un diámetro de 4 a 12 cm, El talo puede ser comprimido al sustrato o puede estar unido libremente. Las rosetas pueden distribirse hasta formar agrupaciones y consorcios con otras especies de líquenes formando coberturas mayores. Los lóbulos están cercanamente unidos al sustrato, a veces solapados entre sí, miden de 2 a 4 mm de ancho y generalmente presentan los bordes engrosados. La cara de la superficie superior es amarilla grisácea, con numerosos isidios generalmente engrosados y globosos con la base más angosta, con tendencia a ser cilíndricos, a veces

ramificados y de aspecto coraloide en las partes más adultas. La cara inferior es negra, con rizinas no ramificadas. Presentan apotecios ondulados con la edad y los discos tienen coloración café rojiza. Presencia de ascosporas de 5-10 x 4-5.5 micrómetros

Reacciones químicas: K- y C-en el tejido del córtex, K+ con coloración amarillo-anaranjada

Hábitat y distribución: Crece en zonas templadas y montañas tropicales sobre rocas silíceas ricas en nutrientes y en superficies de troncos de árboles con corteza dura.



Fuente: autores

Xanthoria

Xanthoria parietina

Líquén de talo foliáceo, de color amarillo verdoso vivo y forma vagamente circular con márgenes lobulados. En el centro del talo aparecen en forma de pequeño disco o copa muy abierta los apotecios, los cuerpos fructíferos del hongo en donde se desarrollan las ascosporas.

Hábitat y distribución: crece con extensa superficie sobre la corteza de los árboles, sobre rocas, paredes, techumbres o en cualquier otra parte, pero especialmente en aquellos lugares donde el aire contenga polvo rico en sales minerales. Es muy sensible a la contaminación ambiental, por lo que un estudio de la abundancia o escasez de ejemplares, así como de las diferencias de tamaño que se producen en el talo puede emplearse para detectar variaciones en el grado de contaminación de la zona.

Listado de especies de líquenes encontrados en las áreas estudiadas:

Tabla 15. Listado liquénico.

ESPECIES DE LÍQUENES	ACOPI	ECA	LAS AMERICAS	MULALÓ
<i>Caloplaca obscurella</i>	X			
<i>Cocorcapia</i> sp. 1				X
<i>Collema</i> sp. 1			X	X
<i>Collema</i> sp. 2				X
<i>Endocarpun pallidulum</i>	X			
<i>Flavoparmenia capereta</i>			X	
<i>Heterodermia</i> sp. 1				X
<i>Physcia aipoila</i>	X	X	X	X
<i>Physcia alba</i>		X		
<i>Physcia americana</i>				X
<i>Physcia caesia</i>		X	X	X
<i>Physcia clementei</i>		X		X
<i>Physcia convexa</i>				X
<i>Physcia manuelli</i>				X
<i>Physcia strigosa</i>	X			
<i>Physcia</i> sp. 1		X		

<i>Physcia</i> sp. 2		X		
<i>Phyllopsora confusa</i>				X
<i>Verrucaria virens</i>	X			
<i>Xanthoparmelia substrigosa</i>			X	X
<i>Xanthoparmelia conspersa</i>			X	
<i>Xanthoparmelia</i> sp. 1		X		X
<i>Xanthoria parietina</i>		X		X

Fuente: autores

Factor de resistencia:

Se determinó el factor de resistencia por especie liquénica, donde determina la sensibilidad de cada especie frente a la contaminación a la que se encuentra expuesta, aplicando la siguiente formula; este parámetro se tiene en cuenta para la aplicación del índice de pureza atmosférica.

$$Q_i = \sum \frac{A_j - 1}{E_j}$$

Donde:

Qi: Factor de resistencia de la especie i.

Aj: Número de especies presentes en cada estación donde se encuentre i.

Ej: Número de estaciones donde se halle i.

De acuerdo con los datos obtenidos, las especies más tolerantes son *Caloplaca obscurella*, *Physcia strigosa*, *Endocarpon palidulum*, *Verrucaria virens*, estas especies arrojaron un valor de resistencia de 4, ya que entre más pequeño sea el valor más resistente es la especie, estas especies se presentaron en el área de estudio de ACOPI.

En el área de estudio de Las Américas también se presentaron dos especies tolerantes, *Flavoparmelia capereta* y *Xanthoparmelia conspersa*, con un nivel de resistencia de 5.

Por otro lado, las especies con un nivel de resistencia más pequeño son *Physcia americana*, *Physcia manuelli*, *Phyllospora confusa*, *Cocorcapia sp.1*, *Collema sp.2* y *Physcia convexa*, estas especies se presentaron en el área de estudio de Mulalo, la cual se determinó como la zona de conservación.

- *Physcia aipolia*:

$$Qi = \sum \frac{30 - 1}{4}$$

$$Qi = 7.25$$

- *Physcia strigosa*:

$$Qi = \sum \frac{5 - 1}{1}$$

$$Qi = 4$$

- *Endocarpon palidulum*:

$$Qi = \sum \frac{5 - 1}{1}$$

$$Qi = 4$$

- *Verrucaria virens*:

$$Qi = \sum \frac{5 - 1}{1}$$

$$Qi = 4$$

- *Caloplaca obscurella*:

$$Qi = \sum \frac{5 - 1}{1}$$

$$Qi = 4$$

- *Xanthoria parietina*:

$$Qi = \sum \frac{21 - 1}{2}$$

$$Qi = 10$$

- *Physcia sp.1*:

$$Qi = \sum \frac{8 - 1}{1}$$

$$Qi = 7$$

- *Physcia alba*:

$$Qi = \sum \frac{8 - 1}{1}$$

$$Qi = 7$$

- *Physcia caesia*:

$$Qi = \sum \frac{26 - 1}{3}$$

$$Qi = 8.33$$

- *Physcia clementei*:

$$Qi = \sum \frac{21 - 1}{2}$$

$$Qi = 10$$

- *Physcia* sp.4:

$$Qi = \sum \frac{8 - 1}{1}$$

$$Qi = 7$$

- *Xanthoparmelia* sp.1:

$$Qi = \sum \frac{21 - 1}{2}$$

$$Qi = 10$$

- *Flavoparmenia capereta*:

$$Qi = \sum \frac{6 - 1}{1}$$

$$Qi = 5$$

- *Collema* sp.1:

$$Qi = \sum \frac{19 - 1}{2}$$

$$Qi = 9$$

- *Xanthoparmelia substrigosa*:

$$Qi = \sum \frac{19 - 1}{2}$$

$$Qi = 9$$

- *Xanthoparmelia conspersa*:

$$Qi = \sum \frac{6 - 1}{1}$$

$$Qi = 5$$

- *Physcia americana*:

$$Qi = \sum \frac{14 - 1}{1}$$

$$Qi = 13$$

- *Physcia manuelli*:

$$Qi = \sum \frac{14 - 1}{1}$$

$$Qi = 13$$

- *Phyllopsora confusa*:

$$Qi = \sum \frac{14 - 1}{1}$$

$$Qi = 13$$

- *Heterodecmia* sp.1:

$$Qi = \sum \frac{14 - 1}{1}$$

$$Qi = 13$$

- *Coccorcapia* sp.1:

$$Q_i = \sum_{Q_i = 13}^{14-1} \frac{1}{1}$$

- *Collema* sp.2:

$$Q_i = \sum_{Q_i = 13}^{14-1} \frac{1}{1}$$

- *Phycia convexa*:

$$Q_i = \sum_{Q_i = 13}^{14-1} \frac{1}{1}$$

Índice de pureza atmosférica (IPA):

El índice de pureza atmosférica indicó que los niveles de contaminación más altos se alcanzaron en la estación de ACOPI, siendo considerado como la estación de máxima contaminación, coincidiendo con la baja cobertura líquénica con la que cuenta esta área.

Por otro lado, el índice de pureza atmosférica en el área de conservación (Mulalo), probó que presenta un nivel de contaminación moderada. Ver tablas 15.

Tabla 16. Índice de pureza atmosférica

ESTACION ACOPI										
ESPECIE	TOTAL ESPECIES DE LIQUENES	NUMERO DE FOROFITOS EN EL QUE SE ENCUE NTRA LA ESPECIE	COBERTURA cm ²	% DE COBERTURA	MORFOLOGIA	ESCALA DE COBERTURA	ESCALA DE FRECUENCIA	ESTACIONES EN LA QUE SE ENCUE NTRA LA ESPECIE	FACTOR DE RESISTENCIA	IPA
<i>Physcia aipolia</i>	5	6	164	27,333333	Folioso	3	4	4	7,25	1,380952381
<i>Physcia strigosa</i>	5	1	41	6,833333	Folioso	2	1	1	4	0,285714286
<i>Endocarpon</i>	5	1	11,5	1,9166667	costroso	1	1	1	4	0,571428571

<i>pallidulum</i>										
<i>verrucaria virens</i>	5	1	11	1,833333	costroso	1	1	1	4	0,571428571
<i>Caloplaca obscurella</i>	5	1	4,5	0,75	costroso	1	1	1	4	0,571428571
total de forofitos censados	7		232							3,380952381
CATEGORIZACION SEGÚN LOS RESULTADOS DEL IPA			Maxima contaminacion							
ESTACION ECA										
ESPECIE	TOTAL ESPECIES DE LIQUENES	NUMERO DE FOROFITOS EN EL QUE SE ENCUE NTRA LA ESPECIE	COBERTURA	% DE COBERTURA	MORFOLOGIA	ESCALA DE COBERTURA	ESCALA DE FRECUENCIA	ESTACIONES EN LA QUE SE ENCUE NTRA LA ESPECIE	FACTOR DE RESISTENCIA	IPA
<i>Physcia aipolia</i>	8	4	194,95	32,491667	folioso	3	4	4	7,25	1,380952381
<i>Xanthoria parietina</i>	8	1	9	1,5	folioso	1	1	2	10	1,428571429
<i>Physcia sp1</i>	8	2	37,8	6,3	folioso	2	1	2	7	0,5

<i>Phyiscia alba</i>	8	1	2	0,333333	folioso	1	1	1	7	1
<i>Phyiscia caesia</i>	8	1	42	7	folioso	2	1	3	8,33	0,595
<i>Phyiscia clementei</i>	8	1	35,25	5,875	folioso	2	1	2	10	0,714285714
<i>Phyiscia sp2</i>	8	1	37	6,16666667	folioso	2	1	1	7	0,5
<i>Xanthoparmelia sp1</i>	8	1	20	3,33333333	folioso	1	1	2	10	1,428571429
Total de forofitos censados	7		378	63						7,547380952
CATEGORIZACION SEGÚN LOS RESULTADOS DEL IPA			Contaminación alta							
ESTACION LAS AMERICAS										
ESPECIE	TOTAL ESPECIES DE LIQUENES	NUMERO DE FOROFITOS EN EL QUE SE ENCUE NTRA LA ESPECIE	COBERTURA	% DE COBERTURA	MORFOLOGIA	ESCALA DE COBERTURA	ESCALA DE FRECUENCIA	ESTACIONES EN LA QUE SE ENCUE NTRA LA ESPECIE	FACTOR DE RESISTENCIA	IPA

<i>Flavoparmelia capereta</i>	6	1	5	0,833333	folioso	1	1	1	5	0,714285714
<i>Physcia caesia</i>	6	1	14	2,333333	folioso	1	1	3	8,33	1,19
<i>Collema sp1</i>	6	1	10	1,666666	folioso	1	1	2	9	1,285714286
<i>Xanthoparmelia substrigosa</i>	6	1	7	1,166666	folioso	1	1	2	9	1,285714286
<i>Xanthoparmelia conspersa</i>	6	1	2	0,333333	folioso	1	1	1	5	0,714285714
<i>Physcia aipolia</i>	6	3	20	3,333333	folioso	1	1	4	7,25	1,035714286
Total de forofitos censados	7		58	9,666666						6,225714286
CATEGORIZACION SEGÚN LOS RESULTADOS DEL IPA			Contaminación alta							
MULALO										
ESPECIE	TOTAL ESPECIES DE LIQUENES	NUMERO DE FOROFITOS EN EL QUE SE ENCUENTRA	COBERTURA	% DE COBERTURA	MORFOLOGIA	ESCALA DE COBERTURA	ESCALA DE FRECUENCIA	ESTACIONES EN LA QUE SE ENCUENTRA	FACTOR DE RESISTENCIA	IPA

		LA ESPECI E						ESPECI E		
<i>Physcia americana</i>	14	3	140	23,3333 33	folioso	2	4	1	13	1,73333 3333
<i>Xanthoria parietina</i>	14	3	120	20	folioso	2	4	2	10	1,33333 3333
<i>Physcia caesia</i>	14	4	129	21,5	folioso	2	4	3	8,33	1,11066 6667
<i>Xanthoparmelia substrigosa</i>	14	5	131	21,8333 33	folioso	2	4	2	9	1,2
<i>Xanthoparmelia sp.1</i>	14	1	23,5	3,91666 67	folioso	1	2	2	10	1,33333 3333
<i>Physcia manuelli</i>	14	2	93	15,5	folioso	2	3	1	13	1,3
<i>Phyllospora confusa</i>	14	2	121	20,1666 67	folioso	2	3	1	13	1,3
<i>Heterodermia sp.1</i>	14	1	21	3,5	folioso	1	1	1	13	0,86666 6667
<i>Coccocarpia sp1</i>	14	1	29	4,83333 33	folioso	1	1	1	13	0,86666 6667
<i>Collema sp1</i>	14	1	7	1,16666 67	folioso	1	1	2	9	0,6

<i>Collema sp2</i>	14	1	19	3,16666 67	folioso	1	1	1	13	0,86666 6667
<i>Physcia convexa</i>	14	1	6	1	folioso	1	1	1	13	0,86666 6667
<i>Physcia aipolia</i>	14	3	128	21,3333 33	folioso	2	4	4	7,25	0,96666 6667
<i>Physcia clementei</i>	14	1	26	4,33333 33	folioso	1	2	2	10	1,33333 3333
Total de forofitos censados	15		993,5	165,583 33						15,6773 3333
CATEGORIZACION SEGÚN LOS RESULTADOS DEL IPA			Contaminación media							

Fuente: autores

Factor de clasificación ambiental (FCA):

Conforme a los resultados del factor de clasificación ambiental, se debe de tener en cuenta que la abundancia de foliosos disminuye el FCA, al igual que la abundancia de los costrosos, pero estos a una mayor escala.

Tabla 17. Factor de clasificación ambiental

FACTOR DE CLASIFICACION AMBIENTAL							
AREAS DE ESTUDIO	COBERTURA MORFOLÓGICA			SUMATORIA	IPA	FCA	
	Costroso (Mc)	Foliosa (Mfo)	Fruticosa (Mfr)			resultado	Categorización
ACOPI	9	8	0	17	3,4	0,6	Máxima contaminación
ECA	0	4	0	4	7,5	0,3	Máxima contaminación
LAS AMERICAS	0	10	0	10	6,2	0,6	Máxima contaminación
MULALO	0	2	0	2	15,7	0,6	Máxima contaminación

Fuente: autores, elaborado a partir del trabajo de grado Determinación de la calidad del aire por medio de líquenes como bioindicadores en el área urbana del municipio de Tuluá, Valle del Cauca.

Categorización de la calidad del aire y comparación de los cálculos del IPA y FCA entre las zonas de estudio: se determinaron los colores de acuerdo a lo establecido en la metodología presentada.

Tabla 18. Categorización de la calidad del aire

ESTACION	IPA	FCA
ACOPI	Máxima contaminación	Máxima contaminación
ECA Yumbo	Contaminación alta	Máxima contaminación
Las américas	Contaminación alta	Máxima contaminación
Mulalo	Contaminación media	Máxima contaminación

Fuente: autores

A pesar de que Mulalo se estableció de acuerdo a observaciones preliminares como un área conservada debido a la presencia de varios elementos arbóreos, diversidad líquénica y coberturas más altas que la zona de influencia industrial y alto flujo vehicular, se puede observar claramente que de acuerdo al resultado del IPA se categoriza como una zona de contaminación media. Una posible causa de este resultado del IPA y del FCA puede ser por la existencia de una cantera de material pétreo en el área de estudio y su cercanía a una vía primaria (vía panorama). Sin embargo, en comparación con las otras zonas, en Mulalo se presenta la convivencia de varias especies líquénicas en un mismo forofito y con otros grupos de organismos.

La parte taxonómica fue de gran utilidad en el momento de la categorización ya que se presentaron especies con coloraciones más claras y consistencias más secas en la zona con mayor intervención, mientras la zona más conservada presentó líquenes con colores más definidos. Además, se observó que las áreas menos conservadas presentaron los forofitos más dispersos.

También se pudo evidenciar la presencia de especies líquénicas solitarias en los sitios menos conservados; una posible explicación a esta observación es que las zonas con más influencia de actividades antrópicas, debido a la escasez de forofitos, tenían menos disponibilidad en la fuente de nutrientes y como estaban más expuestas al aire contaminado, esta situación no hacía posible la convivencia entre varias especies por efectos de competencia por recursos y por sensibilidad a la toxicidad de los componentes del aire.

CONCLUSIONES

Se logró evidenciar que la calidad del aire en Yumbo no se encuentra categorizada adecuadamente como lo indican las mediciones de las estaciones de monitoreo convencionales ya que a través de esta investigación se demostró que la calidad del aire se categoriza como contaminada de acuerdo a los niveles máximos permisibles por la resolución 2254 de 2017.

Se determinaron taxonómicamente mediante la caracterización morfológica 23 especies de líquenes en las áreas de estudio pertenecientes al municipio de Yumbo, las cuales están comprendidas en los géneros *Physcia*, *Xanthoria*, *Xanthoparmelia*, *Endocarpon*, *Verrucaria*, *Flavoparmelia*, *Hederodermia*, *Collema*, *Caloplaca*, *Phyllospora* y *Coccocarpia*.

Se calculó exitosamente el índice de pureza atmosférica y el factor de clasificación ambiental para cada sitio de muestreo, siendo ACOPI el más contaminado con un valor de 3.4 y siendo Mulaló el menos contaminado con un valor de 15.7.

Se logró comparar los valores del índice de pureza atmosférica y el factor de clasificación ambiental entre la zona afectada por la contaminación y una zona conservada del municipio de Yumbo a través de la metodología planteada, coincidiendo todas las áreas estudiadas con una categorización según el FCA de máxima contaminación y según la categorización del IPA, ACOPI resulta siendo el área de máxima contaminación en contraste con Mulaló la cual se categoriza como un área de contaminación media.

Este trabajo representa una contribución importante para el campo científico y para el conocimiento de la biodiversidad líquénica, ya que varias de las especies determinadas no se habían registrado para el departamento Valle del Cauca.

RECOMENDACIONES

Este trabajo representa el primer esfuerzo para comenzar una colección de material vegetal de la UCEVA que va a servir como punto de partida para futuras investigaciones científicas y aplicación de los líquenes en diferentes disciplinas.

Seguir estudiando las nuevas especies encontradas para el Valle del Cauca e investigar si estas especies se encuentran presentes en otros municipios del departamento.

Se recomienda aplicar esta metodología para áreas cercanas al municipio de Yumbo y estudiar la posibilidad de la influencia de los vientos que arrastran los contaminantes.

Se recomienda que en el momento de realizar los muestreos sean realizados en grupos de trabajo, debido a la complejidad de la recolección de los datos.

Tener precaución en el momento de seleccionar la metodología para el cumplimiento de los objetivos que se planteen (formulas del IPA y el FCA).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahti, T. 2000. Cladoniaceae. New York. New York Botanical Garden Press.
- ALCALDIA DE YUMBO. Datos generales. [en línea]. <http://www.yumbo.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>. Marzo 2019.
- Alonso J.C; Ariza Y.J; Serrano E; Hoyos C; Urbano C.2019. Informe sobre el seguimiento epidemiológico de la frecuencia de eventos en salud potencialmente atribuibles a la quema de caña de azúcar.
- Álvarez, A & Ordoñez, P. 2018. Determinación de la calidad del aire por medio de líquenes como bioindicadores en el área urbana del municipio de Tuluá, Valle del Cauca. Tesis para optar el título de Ingeniera Ambiental: Unidad Central del Valle del Cauca. 2018. 57 – 69 p.
- Barreno E. & Pérez-ortega S. 2003. Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Austrias.
- Banco Mundial. La contaminación atmosférica le cuesta USD 225 mil millones a la economía mundial. 8 de septiembre del 2016. [en línea]. <http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2016/09/08/air-pollution-deaths-cost-global-economy-225-billion>. Marzo 2019
- Beauregard, Luis. La Ciudad de México se ahoga. [en línea]. EL PAIS. Mayo, 2016. Disponible en https://elpais.com/internacional/2016/03/03/mexico/1457040820_632100.html. Marzo 2019.
- Carreño P. Líquenes, Bioindicadores de contaminación. 2018. Disponible en internet <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/ambiente/23238-liquenes-bioindicadores-contaminacion>.
- Chávez C. Air Visual Ranking 2018 ciudades más contaminadas: de Chile en Latinoamérica y de India, Pakistán y China en Asia. Marzo 2019. Disponible en internet <https://prensarte.com/2019/03/14/air-visual-ranking-2018-ciudades-mas-contaminadas-de-chile-en-latinoamerica-y-de-india-pakistan-y-china-en-asia/>. Septiembre 2019.
- Coca L.F & Sanin D. 2010. *Coccocarpia* Pers. (Peltigerales-Ascomicetes liquenizados) en Colombia. Tropical Bryology . 32:19-38
- Colprensa. La contaminación de aire es el mayor problema ambiental en Colombia, encuesta. En: EL PAIS. Febrero, 2018. Disponible en

<https://www.elpais.com.co/colombia/la-contaminacion-del-aire-es-el-mayor-problema-ambiental-en-colombia-encuesta.html>. Marzo 2019.

Colprensa. Medellín se sigue rajando en calidad del aire. [en línea]. EL COLOMBIANO. Marzo, 2018. Disponible en <http://www.elcolombiano.com/antioquia/contaminacion-del-aire-en-medellin-y-colombia-KC9015851>. Marzo 2019.

Comisión federal para la protección contra riesgos sanitarios. 2017. La OMS estima que la contaminación atmosférica exterior en 2012 se produjo 3,7 millones de muertes a causa de fuentes urbanas y rurales en todo el mundo. Diciembre 2017. [en línea]. <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/3-efectos-a-la-salud-por-la-contaminacion-del-aire-ambiente>. Septiembre 2019.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. INFORMES CALIDAD DEL AIRE. [en línea]. <https://sites.google.com/site/cvcccalidadaire/informes-calidad-de-aire>. Marzo 2019.

Díaz, David. 2018 Líquenes cortícolas como indicadores ambientales en los alrededores de la mina de azufre el vinagre (Cauca). Tesis para optar el título de biólogo. Universidad del Valle. 29 – 30 pp.

Ecured. Acacia. <https://www.ecured.cu/Acacia>

Ecured. Carbonero. https://www.ecured.cu/%C3%89bano_carbonero

Ecured. Ficus. <https://www.ecured.cu/Ficus>

Ecured. Ceiba. <https://www.ecured.cu/Ceiba>

Ecured. Guacimo. <https://www.ecured.cu/Gu%C3%A1cimo>

Ecured. Leucaena. <https://www.ecured.cu/Leucaena>

Ecured. Guanabano. <https://www.ecured.cu/Guan%C3%A1bana>

En el Valle la contaminación es hecha en Yumbo. [en línea]. SEMANA. SEPTIEMBRE, 2017. Disponible en <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/en-el-valle-la-contaminacion-es-hecha-en-yumbo/38652>. Marzo 2019

Elix, J. A. & T. H. Nash III. 1992. A Synopsis of the Lichen Genus *Psiloparmelia* (Ascomycotina, Parmeliaceae). *The Bryologist*, 95 (4): 377-391 p.

Hawksworth D. L., T. Iturriaga, A. Crespo. 2005. Líquenes como indicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Rev. Iberoam. Micol.* 22: 71 – 82p.

Hernandez A.M; Bohorquez A.V; Pinzon F.M; Guzman L.E; Moreno Y.A. 2010. Informe del estado de la calidad del aire en Colombia. IDEAM. Disponible en internet <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/68521396/5.+Informe+del+estado+de+la+calidad+del+aire+2007-2010.pdf/52d841b0-afd0-4b8e-83e5-444c3d17ed29?version=1.0>. Página 27.

Hestmark, G.; J. Miadlikowska; F. Kauff; E. Franker; K. Molnar & F. Lutzoni. 2011. Single origin and sub-sequent diversification of central Andean endemic Umbilicaria species. *Mycologia*, 103(1): 45 – 56p.

IDEAM. Calidad del aire. (no presenta fecha de publicación). Disponible en internet: <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>. Marzo 2019.

Lucking R. y E. Rivas P. 2008. Clave y Guía Ilustrada para Géneros de Graphidaceae. *Glialia* 1(1): 1 – 39.

Llarens, L. B. 2002. Taxonomía de Coccocarpiaceae (Ascomycetes liquenizados) para el NE de Argentina y regiones limítrofes de Paraguay y Brasil. Instituto de Botánica del Nordeste (IBONE). Disponible en internet: <http://www1.unne.edu.ar/cyt/2002/06-Biologicas/B-009.pdf>

Mapa Yumbo. [en línea]. <https://www.google.com/maps/place/Yumbo,+Valle+del+Cauca/@3.5453343,-76.5650676,12z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e30aa49a2424267:0xeffb31cae81bea000!8m2!3d3.545337!4d-76.495026>. Marzo 2019.

Marino E.M. 2016. Determinación de la diversidad de líquenes Saxícolas de tres sitios arqueológicos de Cajamarca. Cajamarca-Perú. Página 9. Universidad Nacional de Cajamarca. Programa de maestría. Disponible en internet <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1305/Determinacion%20de%20liques.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Septiembre 2019.

Mejía, L.F.. DNP Departamento Nacional de Planeación. DNP revela que 51% de los colombianos percibe la contaminación del aire como el mayor problema ambiental. 14 de febrero del 2018. [en línea]. <https://www.dnp.gov.co/Paginas/DNP-revela-que-51-de-los-colombianos-percibe-la-contaminaci%C3%B3n-del-aire-como-el-mayor-problema-ambiental.aspx>. Marzo 2019.

Ministerio de Ambiente. 2015. Calidad del aire del ayuntamiento de Madrid. Contaminación atmosférica [en línea]. Disponible en internet <http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calair/ContAtmosferica/Concepto.html>. Septiembre 2019.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Normatividad Ambiental. [en línea]. <https://www.minambiente.gov.co/index.php>. 2019.

Ministerio de Ambiente. Normatividad vigente respecto a vedas de especímenes y productos forestales y de la flora silvestre. Disponible en internet https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad_Gnl/Vedas%20en%20Colombia.pdf. Septiembre 2019.

MONGES, Carmen. Líquenes, bioindicadores de contaminación por excelencia [en línea]. Disponible en internet <https://cienciadelsur.com/2018/03/21/liquenes-bioindicadores-por-excelencia/>. Fecha de consulta: 21 de marzo del 2014.

Mostacedo B., Fredericksen T. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Ed. BOLFOR. Santa Cruz. 4-8 p. Disponible en internet: <http://www.bio-nica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf>

Ochoa, D. Cueva, A. Prieto, M. Aragon, G. Benites, A. Cambios en la composición de líquenes epifitos relacionados con la calidad del aire en la ciudad de Loja, Ecuador. 2015. [en línea]. Disponible en internet: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/rt/prinFRIENDLY/53867/53929>

Organización Mundial de la Salud. Calidad del aire y salud. [en línea]. 2 de mayo del 2018. Disponible en internet: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>. Marzo 2019.

Organización Mundial de la Salud. La OMS publica estimaciones sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud. [en línea]. 27 de septiembre del 2016. Disponible en internet: <http://www.who.int/es/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>. Marzo 2019.

Organización Mundial de la Salud. 7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica. [en línea], 25 de marzo del 2014. Disponible en internet: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/>. Marzo 2019.

Organización Mundial de la Salud. Programa internacional de seguridad de las sustancias químicas. Contaminación del aire. [en línea]. https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/air_pollution/es/. Septiembre 2019.

Organización mundial de la salud. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre del 2005. [en línea]. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=4C031EB411B944866083C3817E049781?sequence=1. Marzo 2019

Organización mundial de la salud. Departamento de salud pública, medio ambiente y determinantes sociales de la salud. [en línea].

https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/health_impacts/es/.
Mayo 2019

Ramírez, A. & A. Cano. 2005. Líquenes de Pueblo Libre, una localidad andina en la Cordillera Negra (Huaylas, Ancash, Perú). *Rev. Per. Biol.*, 12 (3): 383 – 396p.

Redacción VIVIR. Más de US \$1.000 millones cuesta la contaminación del aire en Bogotá. En: *EL ESPECTADOR*. Agosto, 2017. Disponible en internet: <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/mas-de-us-1000-millones-cuesta-la-contaminacion-del-aire-en-bogota-articulo-710878>. Marzo 2019.

Parmasto, E. 1978. The genus *Dictyonema* (“*Thelephorolichenes*”). *Nova Hedwigia* 29: 99-144.

Poelt, J. 1974. Zur Kenntnis der Flechtenfamilie *Candelariaceae*. *Phyton*, 16: 189 – 210p.

Purvis W. 2000. *Lichens*. Smithsonian Institution Press. & The Natural History Museum. 112 p.

Semana sostenible. En el Valle la contaminación es “hecha en Yumbo”. Septiembre 2017. En: semana sostenible. Disponible en internet <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/en-el-valle-la-contaminacion-es-hecha-en-yumbo/38652>. Septiembre 2019.

Senatore, S & Borzino, D. “Los líquenes detectores de la contaminación atmosférica”. Un alga y un hongo, se necesitan para crear esta maravilla de la naturaleza. Noviembre, 2014. Disponible en internet: <https://www.oei.es/historico/congreso2014/memoriactei/86.pdf>. Marzo 2019.

Siano A. Los Bioindicadores y su importancia en el estudio del medio ambiente. Marzo 2015. Disponible en internet <http://planificacionyambiente.blogspot.com/2015/03/los-bioindicadores-y-su-importancia-en.html>. Septiembre 2019.

Sipman HJM. Identification key and literature guide to the genera of Lichenized Fungi (Lichens) in the Neotropics. Botanic Garden & Botanical Museum Berlin-Dahlem, Free University of Berlin. 2005. Disponible en internet: <http://www.bgbm.org/sipman/keys/primary>

Sipman HJM, Aguirre J. Contribución al conocimiento de los líquenes de Colombia I. Clave genérica para los líquenes foliosos y fruticosos de los páramos colombianos. *Caldasia*. 1982;13(64), 603-634. Disponible en internet: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/34843>

Sipman HJM, Aguirre J, Rangel-CH O. Líquenes, En J. O. Rangel-Ch (ed.) Colombia. Diversidad biótica, III, Unibiblos, Bogotá. 2000; 379-434. Disponible en internet:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000111&pid=S0120-548X200900030001200031&lng=en

Sipman, H. 2005a. Identification Key and Literature Guide to the Genera of Lichenized Fungi (Lichens) in the Neotropics. En línea. Disponible en: <https://archive.bgbm.org/sipman/keys/neokeyA.htm>

Sipman, H. 2005b. Mason Hale's key to Parmotrema, revised edition: key to wide-lobed parmelioid species occurring in Tropical America (genera Canomaculina, Parmotrema, Rimelia, Rimeliella). En líneas. Disponible en: <https://archive.bgbm.org/sipman/keys/Neoparmo.htm>

Sipman, H. 2002. Key to the Stereocaulon species in the Neotropics. En línea. Disponible: <https://archive.bgbm.org/sipman/keys/Neostereo.htm>

Sipman, H. 1998. Revised key to Hypotrachyna (Parmeliaceae) in Tropical America. En línea. Disponible en : <https://archive.bgbm.org/sipman/keys/>

Stork N. E. y M. J. Samways. Inventoring and Monitoring. In Heywood VH (Ed.) Global biodiversity assessment. 1995. Cambridge, Cambridge University Press. Pp.453 – 543. Mayo 2019.

Torres, Gabriela. ¿Cuál es la sorprendente “ciudad más contaminada” de América latina? En: BBC Mundo. Mayo, 2016. [en línea]. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/05/160513_ciencia_ciudad_mas_contaminada_america_latina_gtg. Marzo 2019.

Umaña, L. y H. Sipman. 2002. Líquenes de Costa Rica. Editorial INBio. 156 p. Costa Rica.

Universidad de Buenos Aires. Contaminación atmosférica. [en línea]. <https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Atmosfera/contatmosf.pdf>. Página 1. Septiembre 2019.

Universidad de los Andes, University College London. Marco teórico de contaminación atmosférica en Colombia. Abril 2013. Disponible en Internet <https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wp-content/uploads/Caracterizaci%C3%B3n-de-la-contaminaci%C3%B3n-atmosf%C3%A9rica-en-Colombia1.pdf>. Septiembre 2019.

ANEXOS

Anexo 1. Información geográfica de Mulalo

MULALO			
ESTACION # 1			
NOMBRE DEL ARBOL	DAP (cm)	CORDENADAS	
Acacia	65	3°38'9.20" N	76°29'2.60" O
ESTACION # 2			
Acacia	90	3°38'9.30" N	76°29'2.50" O
ESTACION # 3			
Ficus	167	3°38'8.90" N	76°29'3.70" O
ESTACION # 4			
Carbonero	57	3°38'7.80" N	76°29'2.90" O
ESTACION # 5			
Carbonero	48	3°38'7.50" N	76°29'0.70" O
ESTACION # 6			
Carbonero	45	3°38'8.60" N	76°28'58.50" O
ESTACION # 7			
Carbonero	73	3°38'9.40" N	76°28'58.80" O
ESTACION # 8			
Carbonero	44	3°38'20.70" N	76°29'8.60" O
ESTACION # 9			
Carbonero	47	3°38'21.40" N	76°29'9.80" O
ESTACION # 10			
Guanabano	74	3°38'15.90" N	76°28'56.50" O
ESTACION # 11			
Guanabano	46	3°38'15.30" N	76°28'56.60" O
ESTACION # 12			
Guanabano	54	3°38'15.70" N	76°28'56.70" O
ESTACION # 13			
Acacia	66	3°38'11.70" N	76°28'48.70" O
ESTACION # 14			
Guanabano	77	3°38'11.90" N	76°28'48.70" O
ESTACION # 15			
Guanabano	91	3°38'8.20" N	76°28'43.50" O

Fuente: autores

Anexo 2. Información geográfica ECA Yumbo

ECA Yumbo			
ESTACION # 1			
NOMBRE DEL ARBOL	DAP (cm)	CORDENADAS	
Acacia	145	3°34'46.10" N	76°29'22.00" O
ESTACION # 2			
Carbonero	64	3°34'46.30" N	76°29'19.60" O
ESTACION # 3			
Carbonero	56	3°34'46.30" N	76°29'19.40" O
ESTACION # 4			
Carbonero	72	3°34'43.50" N	76°29'19.90" O
ESTACION # 5			
Carbonero	69	3°34'42.80" N	76°29'21.20" O
ESTACION # 6			
Ceiba	196	3°34'43.10" N	76°29'21.80" O
ESTACION # 7			
Carbonero	90	3°34'43.80" N	76°29'21.90" O

Fuente: autores

Anexo 3. Información geográfica ACOPI

ACOPI			
ESTACION # 1			
NOMBRE DEL ARBOL	DAP (cm ²)	CORDENADAS	
Leucaena	135	3°30'7.00" N	76°30'19.40" O
ESTACION # 2			
Acacia	75	3°30'6.20" N	76°30'20.70" O
ESTACION # 3			
Carbonero	94	3°30'7.00" N	76°30'23.10" O
ESTACION # 4			
Guacimo	46	3°31'1.40" N	76°30'0.90" O
ESTACION # 5			
Acacia	43	3°31'2.40" N	76°30'1.00" O
ESTACION # 6			
Acacia	51	3°31'3.60" N	76°30'0.20" O
ESTACION # 7			
Acacia	40	3°31'5.20" N	76°29'59.90" O

Fuente: autores

Anexo 4. Información geográfica Las Américas

LAS AMERICAS			
ESTACION # 1			
NOMBRE DEL ARBOL	DAP (cm ²)	CORDENADAS	
Carbonero	51	3°33'49.99 N	76°29'05.94"
ESTACION # 2			
Carbonero	70	3°33'49.00" N	76°29'7.30" O
ESTACION # 3			
Carbonero	93	3°33'50.90" N	76°29'15.10" O
ESTACION # 4			
Ficus	58	3°33'47.39" N	76°29'25.59" O
ESTACION # 5			
Ficus	57	3°33'48.20" N	76°29'24.10" O
ESTACION # 6			
Ficus	119	3°33'45.20" N	76°29'36.70" O
ESTACION # 7			
Ceiba	117	3°33'44.10" N	76°29'36.50" O

Fuente: autores