

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE POR MEDIO DE LÍQUENES  
COMO BIOINDICADORES EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE  
TULUÁ, VALLE DEL CAUCA**

**ANGIE DANIELA ALVAREZ HERRERA  
PAULA ANDREA ORDOÑEZ ZAPATA**

**UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
TULUÁ – VALLE DEL CAUCA**

**2018**

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE POR MEDIO DE LÍQUENES  
COMO BIOINDICADORES EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE  
TULUÁ, VALLE DEL CAUCA**

**ANGIE DANIELA ALVAREZ HERRERA  
PAULA ANDREA ORDOÑEZ ZAPATA**

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

**EDIER ALBERTO SOTO MEDINA, Ph.D.  
DIRECTOR**

**UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
TULUÁ – VALLE DEL CAUCA**

**2018**

## DEDICATORIA

*A mi familia, en especial a mi madre María Eugenia, mi hermana Camila, mi tía Patricia y mis abuelas Saturia y Herminia, porque fueron mi apoyo y motor durante el transcurso de mi formación académica y por seguir creyendo en mí en el inicio de esta nueva etapa, a ellas dedico todo mi esfuerzo y entrego cada uno de mis logros.*

*Paula A.*

*Quiero dedicar este trabajo de grado a mis padres, mi hermano, mi novio y a mi familia en general, por sus consejos, por su infinita paciencia, por su apoyo incondicional y por motivarme diariamente a cumplir mis metas propuestas. La mujer que hoy soy se lo debo a ellos.*

*Angie*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer primero a Dios por la vida, la salud, por la oportunidad de estudiar y ser mi guía. A mi familia por su apoyo incondicional y a pesar de los obstáculos siempre me han apoyado y brindado su amor.

A mi mejor amiga y compañera de trabajo de grado, quien siempre ha estado acompañándome, motivándome y soportándome durante el desarrollo de este proyecto.

A nuestro director Edier Soto, por brindarnos su dedicación, conocimiento, apoyo y paciencia, los cuales fueron de gran ayuda para culminar este proyecto. Además, quiero agradecer a cada uno de los profesores que directa e indirectamente fueron una guía para visualizar y enfocar este proyecto.

Paula A.

A Dios principalmente, por darme sabiduría y paciencia, por todos los días hacerme una mejor persona, además de la mano de Él pude culminar este ciclo tan importante en mi vida profesional y personal. A mi familia por ayudarme a formarme ante todo como persona y por guiarme hacia el camino que considero fue el correcto.

A la UCEVA y los profesores porque con el apoyo incondicional que ellos nos brindaron en nuestra formación académica y personal logramos finalizar esta etapa de nuestras vidas. A Edier Soto, el cual fue nuestro director de trabajo de grado y nos aportó sus conocimientos para la culminación de este proyecto.

A mis compañeros de estudio y en especial a Paula, quien me tuvo mucha paciencia durante este proceso de formación y a quien considero mi amiga incondicional.

Angie

## RESUMEN

En la presente investigación se estudió el uso de líquenes en la zona urbana de la ciudad de Tuluá - Valle del Cauca, para determinar el nivel de contaminación atmosférica entre cinco de sus comunas aportada por el crecimiento vehicular e industrial; esto con el fin de presentar el monitoreo de calidad del aire mediante bioindicadores, como una alternativa viable y de bajo costo que permita realizar acciones de control y prevención oportuna disminuyendo así el impacto ambiental y social.

Para lograr lo anterior, se seleccionaron cinco comunas, las cuales se han nombrado según la influencia en cada sector como estaciones de alto flujo vehicular, industrial, de transición y transición 2 (flujo vehicular moderado); y de fondo. En cada comuna se muestrearon nueve forófitos de *Acacia rubinea* (Leguminosae), en los cuales se recolectaron e identificaron los líquenes presentes en un área de 20 cm x 30 cm ubicada a 1.3 m de altura. Se encontraron 29 especies con morfología costrosa y foliosa. Para determinar el efecto de la contaminación, se estableció el índice de pureza ambiental (IPA) y el factor de clasificación ambiental FCA. La comuna cinco obtuvo el valor más bajo del IPA, indicando un nivel de contaminación alto, seguido de la comuna cuatro, la comuna seis, la comuna siete y por último la comuna nueve, catalogadas como de contaminación media; por otro lado, el FCA sugiere que todas las comunas estudiadas se catalogaron como de máxima contaminación.

Finalmente, la investigación logró demostrar a los líquenes como una alternativa viable para la detección oportuna de la contaminación atmosférica, en el caso del municipio de Tuluá, se logró determinar que se encuentra altamente influenciado por la intensidad del parque automotor, ya que es motor del comercio por su ubicación en el centro del departamento.

**Palabras clave:** Líquenes, Bioindicadores, Calidad del Aire, Índice de Pureza Atmosférica, Factor de Clasificación Ambiental.

## CONTENIDO

### INTRODUCCIÓN

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	20
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	23
2. JUSTIFICACIÓN .....	27
3. OBJETIVOS .....	29
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	29
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
4. MARCO REFERENCIAL.....	30
4.1. MARCO TEÓRICO .....	30
4.1.1. Calidad del aire .....	30
4.1.2. Calidad del aire en Colombia .....	31
4.1.3. Contaminación del aire.....	32
4.1.4. Efectos de la contaminación del aire en la salud .....	33
4.1.5. Importancia de los bioindicadores .....	33
4.1.6. Biología de los líquenes en Colombia .....	35
4.1.7. Importancia ecológica de los líquenes.....	36
4.1.8. Identificación de los líquenes .....	37
4.1.9. Los líquenes como bioindicadores .....	38
4.1.10. Métodos para medir la calidad de aire mediante líquenes.....	39
4.2. MARCO CONCEPTUAL .....	41
4.3. MARCO LEGAL.....	43
4.4. ESTADO DEL ARTE .....	48
4.4.1. Nivel internacional .....	48
4.4.2. Nivel nacional.....	51

5. METODOLOGÍA .....	57
5.1. FASE 1: DETERMINACIÓN TAXONÓMICA DE LAS ESPECIES DE LÍQUENES CON SU FRECUENCIA Y COBERTURA EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE TULUÁ.....	57
5.1.1. Área de estudio .....	57
5.1.2. Elección del forófito (árbol) a muestrear .....	60
5.1.3. Establecimiento de puntos de muestreo.....	61
5.1.4. Frecuencia y cobertura liquénica.....	61
5.1.5. Reconocimiento de especies.....	63
5.2. FASE 2: ESTABLECIMIENTO DEL ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA (IPA), Y EL FACTOR DE CLASIFICACIÓN AMBIENTAL PARA LA ZONA DE ESTUDIO.....	64
5.2.1. El Factor de Resistencia.....	64
5.2.2. Índice de pureza atmosférica (IPA) .....	65
5.2.3. Factor de clasificación ambiental.....	66
5.3. FASE 3: COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE ESPECIES DE LÍQUENES Y CATEGORIZACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE PRESENTE EN LA ZONA DE ESTUDIO. ....	67
5.3.1. Comparación de la composición de especies de líquenes entre las cinco comunas de estudio. ....	67
5.3.2. Categorización de la calidad el aire de cada una de las comunas a partir del IPA y el Factor de Clasificación Ambiental. ....	68
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	70
6.1. Elección del forófito .....	70
6.2. Puntos de muestreo.....	71
6.3. Frecuencia y cobertura liquénica .....	73
6.4. Cálculo y comparación del IPA y FCA entre las comunas de estudio. ....	77
6.5. Coeficiente de similitud de Jaccard y análisis clúster.....	84

6.6. Categorización de la calidad el aire de cada una de las comunas a partir del IPA y el FCA.....	88
7. CONCLUSIONES .....	90
8. RECOMENDACIONES .....	92
9. REFERENCIAS.....	93
ANEXOS .....	101



## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de la calidad de aire por contaminante en Colombia entre los años 2011 y 2015.....	21
Cuadro 2. Decreto 2811 de 1974.....	43
Cuadro 3. Ley 9 de 1979. ....	43
Cuadro 4. Ley 99 de 1993. ....	44
Cuadro 5. Decreto 1076 de 2015.....	44
Cuadro 6. Resolución 0610 del 2010.....	45
Cuadro 7. Resolución 2154 de 2010.....	45
Cuadro 8. Resolución 2153 de 2010.....	46
Cuadro 9. Resolución 0910 de 2008.....	46
Cuadro 10. Resolución 0909 de 2008.....	47
Cuadro 11. Política de prevención y control de la contaminación del aire en el año 2010. ....	47
Cuadro 12. Escala de coberturas.....	65
Cuadro 13. Escala de cobertura según tipo de morfología.....	67
Cuadro 14. Clasificación para identificar zonas de contaminación atmosférica por medio de bioindicadores.....	69
Cuadro 15. líquenes presentes en el área de estudio.....	74
Cuadro 16. Valores del IPA, frecuencia, cobertura, especies acompañantes y factor de resistencia para las comunas de estudio.....	79
Cuadro 17. Valores del FCA con base al IPA y los porcentajes de cobertura líquénica en base a una escala establecida de rangos. ....	83
Cuadro 18. Coeficiente de similitud de Jaccard. ....	85

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del perímetro urbano del municipio de Tuluá. .	24
Figura 2. Delimitación del área de estudio* .....	58
Figura 3. Ubicación de la cuadrícula para muestreo de líquenes. ....	62
Figura 4. Ubicación de los 45 forófitos donde se realizó el muestreo de líquenes. ....	72
Figura 5. Dendrograma basado en el análisis clúster entre las cinco comunas. ....	86
Figura 6. Categorización de las comunas de estudio según el IPA y FCA. ....	89

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Concentración máxima de SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> y O <sub>3</sub> en el área urbana de Tuluá. .....	25
Gráfica 2. Concentración máxima de PM10 en el área urbana de Tuluá. ....	26
Gráfica 3. Cobertura de las morfologías según el crecimiento del talo.....	73
Gráfica 4. Cobertura por cada especie de liquen en cada una de las estaciones. .....	76

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Muestreo y recolección de datos. ....	71
---	----

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Registro fotográfico.....	62
Anexo B. Recolección de datos en los sitios de muestreo.....	63

## GLOSARIO

El siguiente glosario está basado en el Artículo 1 de la resolución 0610 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, publicada en el año 2010, la cual se establece como “la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión para todo el territorio nacional”, y otros términos abordados dentro de la presente investigación.

**AIRE:** fluido que forma la atmósfera de la Tierra, compuesto por una mezcla gaseosa de aproximadamente 20% de oxígeno, 77% de nitrógeno, gases inertes y vapor de agua.

**APOTECIO:** estructura reproductiva sexual, en los líquenes se presentan en forma de plato o copa y con el himenio (zona donde se producen las esporas) expuesto al exterior.

**ATMÓSFERA:** capa gaseosa que rodea la tierra.

**BIOINDICADOR:** son aquellos organismos vivos que responden a alteraciones ambientales.

**CALIDAD DEL AIRE:** es un indicador que muestra que tan contaminado se encuentra el aire y, por lo tanto, que tan apto es para ser respirado.

**CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA:** es la acumulación o concentración de contaminantes en el aire.

**DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>):** gas incoloro, no inflamable que posee un fuerte olor en altas concentraciones, producto principalmente de la combustión de carbón, petróleo crudo y diésel.

**DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>2</sub>):** gas de color pardo rojizo fuertemente tóxico cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se utiliza en los procesos de combustión en los vehículos y fábricas.

**EMISIÓN:** descarga de una sustancia sólida, líquida o gaseosa al aire, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil.

**FACTOR DE CLASIFICACIÓN AMBIENTAL:** es la corrección del Índice de Pureza Atmosférica, teniendo en cuenta la morfología (costrosa, foliosa y fruticosa) del líquen.

**FILIDIOS:** estructuras aplanadas dorsiventralmente para la reproducción vegetativa. Generalmente se encuentran en el punto de adherencia al talo del líquen.

**FORÓFITO:** árbol portador de líquenes.

**FUENTE FIJA:** fuente de emisión situada en un lugar determinado, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

**FUENTE MÓVIL:** es la fuente de emisión capaz de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza.

**INDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA:** es un indicador de la calidad del aire, a través de la presencia/ausencia, frecuencia y cobertura de especies de líquenes en un área.

**INMISIÓN:** transferencia de contaminantes de la atmósfera a un “receptor”.

**ISIDIOS:** estructuras de reproducción vegetativa que se forman en la superficie del talo, conservando la corteza. En los líquenes se identifican como unas protuberancias muy pequeñas.

LÍQUEN: está formado por la simbiosis entre las algas verdes o cianobacterias y un hongo, obteniendo una relación en la que ambos organismos se benefician.

LÍQUEN COSTROSO: es aquel con aspecto de costra delgada, adherido sobre el sustrato.

LÍQUEN FOLIOSO: está formado por lóbulos planos con simetría semejante a una hoja y está unido parcialmente al sustrato.

LIQUEN FRUTICULOSO: tiene el talo en forma de arbusto o ramificado, fijándose al sustrato mediante una base muy estrecha.

MONÓXIDO DE CARBONO (CO): gas inflamable, incoloro e insípido que se produce por la combustión de combustibles fósiles.

OZONO (O<sub>3</sub>): gas azul pálido que, en las capas bajas de la atmósfera, se origina como consecuencia de las reacciones entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos (gases compuestos de carbono e hidrógeno principalmente) en presencia de la luz solar.

PERITECIO: estructura reproductiva sexual, en los líquenes se presentan con cuerpo cerrado en forma de botella y el himenio solo se comunica al exterior a través de un ostiolo (poro) por el cual se dispersa las esporas.

PM10: material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros nominales.

PM2.5: material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5 micrómetros nominales.



SOREDIOS: estructuras de reproducción vegetativa, compuestos por unas hifas del hongo y algunas células del alga, sin corteza. En los líquenes se presentan con apariencia grumosa a polvorosa, y se emiten a través de los soralios.

## INTRODUCCIÓN

El deterioro de la calidad del aire es uno de los principales problemas ambientales en las zonas urbanas a nivel mundial, debido al crecimiento poblacional y a sus actividades diarias, principalmente el incremento del transporte, industria, manufactura y el uso doméstico de carbón o leña para calefacción y cocción. Estas actividades emiten a la atmósfera contaminantes como SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, PM10 y PM2.5, los cuales a mediano o largo plazo causan afecciones en la salud, no solo humana sino también a la salud animal y vegetal, estimándose que a nivel mundial es causante de aproximadamente 4,2 millones de muertes prematuras por año, por lo tanto, monitorear y controlar la contaminación atmosférica es fundamental para evitar situaciones que afecten directamente la salud<sup>1</sup>.

Por su parte, Colombia cuenta con estaciones que se encargan de monitorear la calidad del aire en diferentes regiones del territorio nacional por medio del uso de equipos de alto costo, lo que explica que en las pequeñas ciudades y municipios no se cuente con una estación de monitoreo continuo, como es el caso de la zona urbana de Tuluá - Valle del Cauca, situación que dio origen al problema de investigación. Teniendo en cuenta lo anterior, el estudio pretende presentar el uso de bioindicadores, los líquenes, como una alternativa útil y económicamente viable para determinar la calidad del aire, para lo cual se ha desarrollado una investigación a través de una metodología científicamente comprobada, sencilla y aplicada por varios investigadores a nivel internacional, nacional y a nivel regional solamente en la ciudad de Cali.

Inicialmente, se encuentra, la descripción de la problemática generada a partir de la falta de un monitoreo de calidad del aire continuo en el municipio, el cual refleje el estado de contaminación atmosférica y permita que la entidad ambiental competente realice acciones de control y prevención oportuna. Este problema se hace más complejo debido a la vocación principalmente comercial

---

<sup>1</sup> EL COLOMBIANO, “Mala calidad del aire mató 4,2 millones de personas en el mundo: estudio” (2017). Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.elcolombiano.com/medio-ambiente/muertes-por-contaminacion-del-aire-enelmundo-FK5936531>>.

del municipio, la cual ha permitido el aumento del parque automotor, convirtiéndose en el principal emisor de contaminación atmosférica.

Posteriormente, se presentan los objetivos con los que se busca definir el alcance del estudio, los cuales se refieren a determinar taxonómicamente las especies de líquenes con su frecuencia y cobertura, establecer el índice de pureza atmosférica, el factor de clasificación ambiental, índice de similitud de Jaccard y el análisis clúster, lo cual permitió categorizar la calidad de aire presente en cinco comunas del municipio.

La metodología con la cual se alcanzaron los objetivos propuestos fue la siguiente: Primero, se realizó la recopilación de información, elección del forófito, puntos de muestreo y toma de muestras de cobertura y frecuencia liquénica. Segundo, se obtuvo el Índice de Pureza Atmosférica y el Factor de Clasificación Ambiental con su respectivo análisis a través de fórmulas ya establecidas y, por último, se logró clasificar las comunas de acuerdo a su nivel de contaminación por medio de los índices obtenidos y se comparó por medio de los índices de Jaccard y el análisis clúster, la similitud de la composición de especies de cada comuna.

Finalmente, aparecen los resultados, las conclusiones y las recomendaciones. De los resultados, se puede decir que el municipio se clasificó como zona de mediana y máxima contaminación según resultados del IPA y del FCA respectivamente. Esto se evidenció en la disminución de la frecuencia, cobertura y composición de las especies de líquenes encontradas.

En síntesis, con el desarrollo de esta investigación se demostró que es viable utilizar los líquenes como un método de detección rápida de contaminación atmosférica, además, servirá de ejemplo para realizar y ampliar los estudios sobre este tema, en especial en las pequeñas ciudades y municipios que no cuentan con los recursos y la tecnología para el monitoreo continuo de calidad del aire.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial, el cual se refleja en la morbilidad y mortalidad de la población<sup>2</sup>. Principalmente, esta contaminación es el resultado de la quema de combustibles fósiles, y las fuentes más importantes son los sectores de transporte, industria y manufactura, la generación de energía y el uso doméstico de combustible para calefacción/refrigeración y cocción<sup>3</sup>. A nivel mundial, 4,2 millones de personas mueren a causa de la contaminación atmosférica, donde China e India, con 1,1 millones de muertes prematuras en el 2015, fueron los países más afectados por la contaminación del aire y entre los dos sumaron más de la mitad de defunciones del mundo<sup>4</sup>.

En Colombia, según el Centro de Estudios Urbanos de la Universidad del Rosario<sup>5</sup>, el 74% de la población en Colombia en el 2010 se encontraba en las ciudades, lo cual resulta alarmante pues el promedio internacional para ese año estaba en el 51,3%, es decir el país se encontraba por encima del promedio y con tendencia a aumentar, aportando al crecimiento industrial y vehicular que directamente afecta la calidad del aire a través de la emisión de contaminantes criterio como: Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), ozono troposférico (O<sub>3</sub>), monóxido de carbono (CO), material particulado menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>) y material particulado menor a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>), descritos en la Resolución 0610 de 2010 la cual establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión. En el Cuadro 1 se presenta la clasificación de la calidad de aire para cada uno de estos contaminantes entre los años 2011 y 2015 en Colombia:

---

<sup>2</sup> IDEAM, Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011-2015 Bogotá, D.C., 2016.

<sup>3</sup> CLEAN AIR INSTITUTE. La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica. Washington D.C. 2013. 2p.

<sup>4</sup> EL COLOMBIANO. Op.cit., p.1.

<sup>5</sup> MINISTERIO DE EDUCACIÓN (2012), El 74% de la población colombiana habita en zonas urbanas. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <[http:// www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/w3-article-300919.html](http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/w3-article-300919.html)>.

Cuadro 1. Clasificación de la calidad de aire por contaminante en Colombia entre los años 2011 y 2015.

Contaminante	Clasificación de la calidad de aire
PM <sub>10</sub>	Moderada y en ocasiones dañina a la salud para grupos sensibles
PM <sub>2.5</sub>	Moderada y dañina a la salud
O <sub>3</sub>	Entre buena y moderada
CO	Entre buena y moderada
SO <sub>2</sub>	Entre buena y moderada

Fuente: Autoras, adaptado de IDEAM, Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011-2015 Bogotá, D.C., 2016.

\*El NO<sub>2</sub> no aplicó para la clasificación debido a los bajos niveles de concentración monitoreados.

Como se puede observar, la calidad del aire para estos contaminantes está catalogada entre buena, moderada y dañina, lo que resulta un problema para la salud. En el caso del SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y CO, se les atribuye la irritación de las vías aéreas de los pulmones, empeorando los síntomas de aquellas personas que sufren enfermedades pulmonares o cardíacas<sup>6</sup>. Por otro lado, para el material particulado, “se estima que los índices de mortalidad diaria van a aumentar entre 0,2 y 0,6% por cada 10µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub>. Respecto a exposición prolongada a PM<sub>2.5</sub>, se considera un aumento en los índices de mortalidad cardiopulmonar entre 6-13% por cada 10 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>2.5</sub>. Se estima que aproximadamente 3% de las muertes por causas cardiopulmonares y 5% de las muertes por cáncer de pulmón son atribuibles al material particulado. Además, la exposición a PM<sub>2.5</sub> reduce la esperanza de vida en promedio de 8,6 meses de acuerdo con estudios realizados por APHEKOM (Organización dedicada a la investigación y estudio de calidad del aire en Europa)<sup>7</sup>”. Adicionalmente, los niveles de contaminación que se encuentra en la atmósfera, afecta a las plantas, las cuales acumulan principalmente gases y partículas en sus estomas que se incorporan a ellas por medio de la respiración y bienes materiales (como

<sup>6</sup> CLEAN AIR INSTITUTE. Op.cit., p.3.

<sup>7</sup> IDEAM, Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011-2015 Bogotá, D.C., 2016.

construcciones, esculturas, etc.) que son deteriorados a causa de esta contaminación. Es por esto que, en Colombia el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en ese entonces, estableció la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire en el año 2010 que impulsa la gestión de la calidad del aire mediante actividades con el fin de alcanzar los niveles de calidad del aire adecuados para proteger la salud y el bienestar humano.

Es importante tener en cuenta que la contaminación atmosférica es uno de los mayores generadores de costos sociales en Colombia después de la contaminación del agua y de los desastres naturales. En el 2015, estos costos representaban 15,4 billones de pesos anuales y están relacionados con efectos sobre la salud pública, mortalidad y morbilidad<sup>8</sup>.

Según el ministro de ambiente, Luis Gilberto Murillo, “en Colombia hay alrededor de 5.000 muertes atribuibles a la calidad del aire”, debido a que la contaminación atmosférica no ha recibido la atención requerida por las autoridades ambientales y es preocupante que en ciudades como Riohacha (Guajira), Cartagena (Bolívar), Sincelejo (Sucre), Barrancabermeja (Santander), Villavicencio (Meta), Buga, Palmira y Tuluá (Valle del Cauca) y Florencia (Caquetá), entre otras, no cuenten con un monitoreo de calidad del aire, por lo que su población podría estar en riesgo y no sería posible emprender ningún tipo de acción debido a la falta de datos<sup>9</sup>.

Tradicionalmente, la medición de la calidad del aire se hace por medio de métodos fisicoquímicos establecidos como los High Volume (Alto Volumen)<sup>10</sup>, los cuales permiten establecer el nivel de la contaminación atmosférica, a

---

<sup>8</sup> DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2017). “Los costos en la salud asociados a la degradación ambiental en Colombia ascienden a \$20,7 billones”. Revisión [En línea]. Disponible en: <[https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-\\$20,7-billones-.aspx](https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-$20,7-billones-.aspx)>.

<sup>9</sup> REVISTA SEMANA SOSTENIBLE. (2016). "Baja calidad del aire ocasionaría 5.000 muertes en Colombia". Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://sostenibilidad.semana.com/medioambiente/articulo/calidaddelaireencolombiaocasionaria-5000-muertes/36540>>.

<sup>10</sup> CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. (2011). Estudio de calidad de aire del Valle del Cauca utilizando muestreadores pasivos. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<https://sites.google.com/site/cvccalidadaire/estudios-y-proyectos>>.

través de las concentraciones de contaminantes criterio. Por otra parte, muchos investigadores han optado por utilizar bioindicadores que de una forma rápida, económica y eficaz logran determinar la calidad del aire a través de la respuesta de organismos vivos como frente a los contaminantes que se encuentran en la atmósfera<sup>11</sup>. Teniendo en cuenta lo anterior, muchas veces las ciudades pequeñas como Tuluá, no cuentan con un monitoreo constante de la calidad del aire debido a que no cuenta con los recursos suficientes para la dotación de equipos fijos y su mantenimiento; resultando el uso de bioindicadores una manera útil y económica para evaluarla.

Los líquenes tienen un gran valor como bioindicadores debido a su sensibilidad a cambios ambientales y esto ha sido corroborado con gran cantidad de estudios a nivel mundial. Desde 1977 en Colombia se han realizado estudios sobre el potencial de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire<sup>12</sup>. En ciudades a nivel nacional como Cali (Rubiano, 1987), Medellín, Tunja, Bogotá y Quibdó ya han realizado estudios sobre el tema mientras que a nivel departamental solo se han realizado en la Ciudad de Cali<sup>13</sup>, por lo que realizar este estudio permitiría que Tuluá aporte información sobre los líquenes como bioindicadores a nivel departamental.

## 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema de contaminación atmosférica no solamente se ve en las grandes ciudades; por ejemplo, Tuluá es un municipio del Valle del Cauca, ubicado en

---

<sup>11</sup> FIGUEROA, E., & MÉNDEZ, A. (2015). Evaluación de la calidad del aire en 8 zonas de la ciudad de Bogotá utilizando los líquenes como bioindicadores. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>>.

<sup>12</sup> RUBIANO, L. J., y CHAPARRO DE VALENCIA, M. (2006). Delimitación de áreas de isocontaminación atmosférica en el campus de la universidad nacional de Colombia mediante el análisis de bioindicadores (líquenes epifitos). Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s0120548x2006000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0120548x2006000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)>.

<sup>13</sup> SIMIJACA, D. (2015). Alcances y desafíos del uso de líquenes como indicadores de la calidad del aire en Colombia. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1255.7845>>.

la zona centro del departamento, al sur-occidente de Colombia con una población aproximada de 211.588 mil habitantes, con una altura sobre el nivel del mar de 1.025m (zona plana), temperatura promedio de 24°C a 28°C, latitud norte de 4° 5' 16" y longitud oeste meridiano Greenwich de 76° 12' 03"<sup>14</sup> (figura 2). El municipio tiene una vocación principalmente comercial y muy poca industrial<sup>15</sup>, por tal motivo el parque automotor se ha convertido en el principal emisor de contaminación atmosférica. Según un estudio de la Universidad De San Buenaventura en el 2009 sobre la relación de la calidad del aire y las enfermedades respiratorias en Tuluá, el municipio presentaba un alto crecimiento anual vehicular, siendo las motocicletas el predominante con un 67.19% en el año 2007<sup>16</sup>.

Figura 1. Ubicación geográfica del perímetro urbano del municipio de Tuluá.



Fuente: Alcaldía de Tuluá, mapa perímetro urbano de Tuluá (2015)<sup>17</sup>.

<sup>14</sup> ALCALDIA DE TULUÁ. Datos geográficos y poblacional, (2015). Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.tuluá.gov.co/datos-geograficos-poblacional/>>.

<sup>15</sup> -----, "Usos del suelo Urbano y de Expansión", (2015). Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <[http://www.tuluá.gov.co/plan-ordenamiento-territorial/?drawer=POT\\*Fichas](http://www.tuluá.gov.co/plan-ordenamiento-territorial/?drawer=POT*Fichas)>

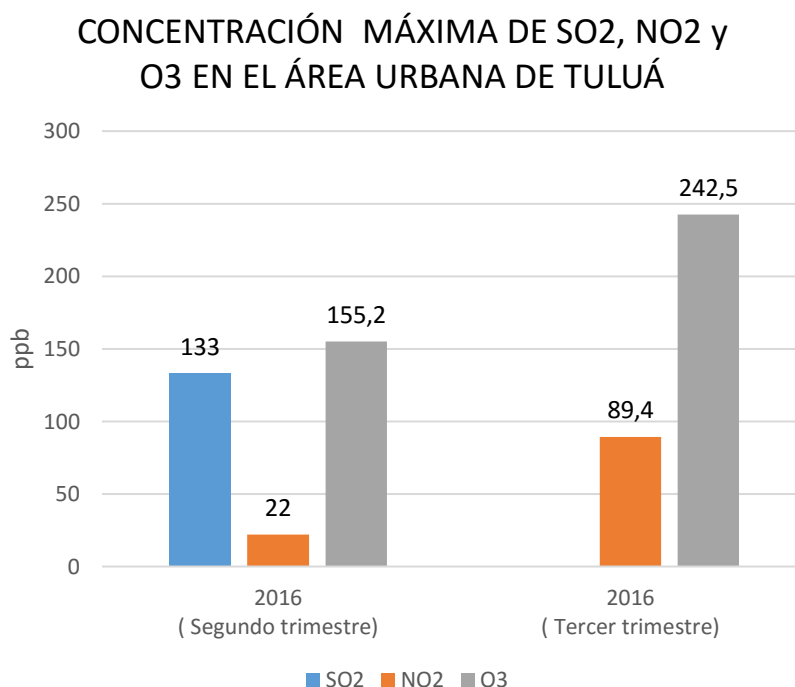
<sup>16</sup> ARIAS, S., & DAZA, E. (2009). Propuesta Metodológica para Correlacionar la Calidad del Aire y las Enfermedades Respiratorias en un Municipio Intermedio Colombiano: Caso de Tuluá Valle del Cauca. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <[http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/871/1/Propuesta\\_Enfermedades\\_Cauca\\_Arias\\_2009.pdf](http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/871/1/Propuesta_Enfermedades_Cauca_Arias_2009.pdf)>.

<sup>17</sup> Alcaldía de Tuluá. Mapa perímetro urbano de Tuluá, (2015). Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<https://www.tuluá.gov.co/mapa-perimetro-urbano/>>.



Tuluá cuenta con una estación móvil de calidad del aire en la zona urbana, la cual se ubica en la Corporación Autónoma Regional (CVC). Al realizar un análisis de los informes de calidad del aire de la CVC en los años 2008 – 2016 para la zona urbana de Tuluá se obtuvo las siguientes concentraciones de contaminantes (gráficas 1 y 2):

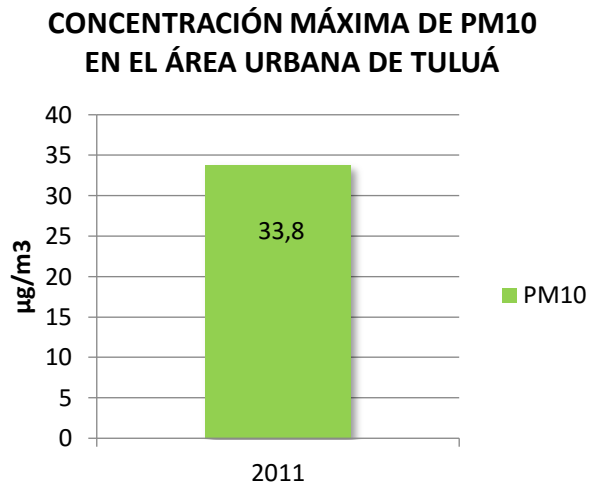
Gráfica 1. Concentración máxima de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> en el área urbana de Tuluá.



Fuente: Autoras, elaborado con base a los informes de la calidad del aire para el Valle del Cauca.

Durante el segundo trimestre del 2016 las concentraciones de gases (gráfica 1) exceden el límite máximo permisible horario (61ppb) para el O<sub>3</sub> en el área urbana de Tuluá y al igual que durante el tercer trimestre. En cuanto a las concentraciones de PM<sub>10</sub> (gráfica 2) durante el periodo de diciembre 12 de 2010 a enero 21 de 2011 en el sector urbano del municipio de Tuluá cumplen con la norma de calidad horaria (100 µg/m<sup>3</sup>).

Gráfica 2. Concentración máxima de PM10 en el área urbana de Tuluá.



Fuente: Autoras, elaborado con base a los informes de la calidad del aire para el Valle del Cauca.

Teniendo en cuenta lo anterior, la zona urbana de Tuluá no cuenta con un monitoreo de calidad del aire continuo el cual refleje el estado de contaminación atmosférica actual en el municipio y su comportamiento histórico; el municipio de Tuluá según el Plan de Ordenamiento Territorial<sup>18</sup>, cuenta con una clasificación de diez comunas en la zona urbana del municipio, dentro de estas comunas se encuentran varias zonas de alto flujo vehicular (lo cual significa mayor presencia de contaminación atmosférica por gases, partículas y ruido), zonas de flujo vehicular moderado, zonas de bajo flujo vehicular y presencia de algunas industrias. Debido a ello, es probable que varias comunas presenten diferentes niveles de contaminación atmosférica, por lo que no se puede establecer una comparación de las alteraciones y consecuencias de la contaminación atmosférica dentro de cada una de ellas, esto puede provocar un desconocimiento de la magnitud del problema, impidiendo acciones de control y prevención oportuna frente a esta contaminación.

---

<sup>18</sup> CONCEJO MUNICIPAL DE TULUÁ (2000). Acuerdo N° 30 “Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Tuluá”. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <http://www.tulua.gov.co/planes-y-programas/>.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Considerando los efectos negativos de la contaminación atmosférica proveniente principalmente del crecimiento vehicular e industrial, la cual a través de los contaminantes criterio ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ ) amenazan directamente la salud de la población, afectan las plantas y bienes materiales (como construcciones, esculturas, etc.), y la situación de la zona urbana del municipio de Tuluá, la cual carece de un monitoreo continuo de calidad del aire (informes de la calidad del aire del Valle del Cauca, 2008-2016) por lo que no se tiene un conocimiento real en cuanto a contaminación atmosférica se refiere, se hace evidente la necesidad de brindar alternativas que permitan monitorear eficazmente la calidad del aire y sea económicamente viable para hacer frente a este problema.

Una de estas alternativas es el uso de bioindicadores, como es el caso de los líquenes, tema que se desarrollará en el presente trabajo, en la actualidad se utilizan métodos fisicoquímicos establecidos como los High Volume para medir la calidad del aire, sin embargo, estos métodos suelen ser muy costosos lo que explica que en las pequeñas ciudades y municipios no se cuente con una estación de monitoreo continuo.

Por otro lado, los líquenes tienen las características necesarias para actuar como un bioindicador<sup>19</sup> ya que tienen escasa movilidad, una interacción mínima con el sustrato, carecen de una cutícula (protección) frente al exterior; por lo que sus talos están en estrecha relación con el ambiente y adquieren gran parte de sus nutrientes del aire, reaccionan frente a pequeñas variaciones en el ambiente como el pH, gases, aerosoles, partículas, entre muchas otras. Teniendo en cuenta lo anterior, los líquenes son una opción eficaz, de bajo

---

<sup>19</sup> BARRENO, E., & PÉREZ-ORTEGA, S. (2003). Los líquenes y el medio. Consejería de Medio Ambiente Ordenación Del Territorio E Infraestructuras Del Principado de Asturias, 83–112. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <[http://www.uv.es/barreno/Medio\\_y\\_bioindicadores.pdf](http://www.uv.es/barreno/Medio_y_bioindicadores.pdf)>.

costo, sustentable, compatible con el ambiente para implementar y ampliar estudios sobre la calidad del aire a nivel local ya que estos son monitores continuos e integradores de las condiciones ambientales y sus cambios.

La contribución de esta investigación es utilizar una metodología científicamente comprobada y sencilla, para medir la calidad del aire en el área de estudio con el fin de utilizar la información para complementar o ampliar los resultados que se obtienen mediante mediciones que se realizan con métodos físico-químicos y de esta forma se pueden tomar decisiones para el control de la contaminación del aire en el área urbana. Este estudio va a permitir determinar la calidad del aire en zonas de alto flujo vehicular, industrial, de transición (flujo vehicular moderado) y por último una zona de fondo (poco flujo vehicular, no hay presencia de industria); además permitirá establecer una comparación entre dichas zonas para categorizar los niveles de contaminación.

En cuanto al componente social, el estudio tiene un significativo impacto, en este caso sobre la población del municipio de Tuluá, Valle del Cauca, la cual desconoce el grado de contaminación atmosférica a la cual se ve expuesta diariamente e impidiendo que la entidad ambiental competente realice acciones de control y prevención oportuna frente a esta contaminación. Adicionalmente, servirá de ejemplo para realizar más estudios sobre este tema en especial en las pequeñas ciudades y municipios que no cuenten con los recursos y la tecnología para el monitoreo continuo de calidad del aire, evitando situaciones que afecten directamente la salud, como las mencionadas anteriormente en el planteamiento del problema, debido a las altas concentraciones de contaminantes en la atmósfera.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

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

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar taxonómicamente las especies de líquenes con su frecuencia y cobertura en la zona urbana de la ciudad de Tuluá.
- Establecer el Índice de Pureza Atmosférica (IPA), y el Factor de Clasificación Ambiental (FCA) para la zona de estudio.
- Comparar la composición de especies de líquenes y categorizar la calidad de aire presente en la zona de estudio.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1. MARCO TEÓRICO

#### 4.1.1. Calidad del aire

La calidad del aire es el estado de la contaminación atmosférica, es decir, un indicador que muestra que tan contaminado se encuentra el aire y por lo tanto, que tan apto es para ser respirado<sup>20</sup>.

En los últimos años, la calidad del aire se ha visto afectada debido al incremento en la emisión de compuestos tóxicos, que han aumentado su peligrosidad, lo que puede verse reflejado en efectos que se producen en algunos organismos vivos que, de esta manera, reflejan las características y variaciones existentes en su medio ambiente<sup>21</sup>.

Las dinámicas de crecimiento demográfico que enfrentan las ciudades representan una seria amenaza para el medio ambiente, así como para la salud y la calidad de vida de sus habitantes. Dicho crecimiento genera nuevos procesos económicos y está generalmente acompañado de un incremento en las actividades industriales, mayores tasas de motorización, superior consumo de combustible y por ende la generación de mayores emisiones de contaminantes del aire. Es así como la mala calidad del aire en centros urbanos de países de economías en desarrollo es un fenómeno que se encuentra en constante crecimiento<sup>22</sup>, además tiene un impacto negativo en el

---

<sup>20</sup> IDEAM, Op. Cit., p. 26.

<sup>21</sup> CANSECO, Angela, ANZE, Rafael, y FRANKEN, Margot. 2006. "Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de la paz, Bolivia". Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.ucbcba.edu.bo/Publicaciones/revistas/actanova/documentos/v3n2/v3.n2.Canseco.pdf>>.

<sup>22</sup> FRANCO R., Juan Felipe. "Contaminación atmosférica en centros urbanos. desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá". Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.scielo.org.co/pdf/ean/n72/n72a13.pdf>>.

desarrollo social y económico, afectando la competitividad económica de los países<sup>23</sup>.

#### **4.1.2. Calidad del aire en Colombia**

El notable deterioro de la calidad del aire en Bogotá ha generado una creciente preocupación por parte de autoridades ambientales y de salud pública de la ciudad. A pesar de los esfuerzos realizados en años recientes, el problema de contaminación atmosférica es cada vez más severo. Esta situación se explica, en parte, por el acelerado crecimiento económico que se ha presentado en Bogotá. Dicho crecimiento se ve manifestado en una mayor demanda de energía, así como en un acelerado consumo de combustibles fósiles<sup>24</sup>. Bogotá es una de las más grandes ciudades de América Latina, no ha sido ajena a esta condición y ha sido catalogada como una de los centros urbanos con mayor contaminación atmosférica<sup>25</sup>.

Medellín y otros nueve municipios vecinos conforman un área metropolitana densamente poblada concentrada en un hábitat geográficamente estrecho y poco ventilado. Las múltiples actividades industriales y de transporte que se realizan en la ciudad arrojan a la atmósfera cantidades de contaminantes que podrían estar afectando desfavorablemente la calidad del aire que respiran sus habitantes<sup>26</sup>.

Santiago de Cali es una ciudad influenciada por las emisiones de las industrias en cuanto a fuentes fijas se refiere, pero también es influenciada en el caso de las fuentes móviles, por aproximadamente 500.000 vehículos que circulan por

---

<sup>23</sup> CLEAN AIR INSTITUTE, Op. Cit. p. 2.

<sup>24</sup> GAITÁN, Mauricio, CANCINO, Juliana, BEHRENTZ, Eduardo (2007). “Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá”. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n26/n26a11.pdf>>.

<sup>25</sup> FRANCO. Op. Cit., p. 193

<sup>26</sup> BEDOYA, Julián, MARTINEZ, Elkin (2008). “Calidad del aire en el valle de Aburrá Antioquia-Colombia”. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n158/a01v76n158.pdf>>.

las vías; esto se ve reflejado en la alta carga contaminante que presenta la ciudad además de las enfermedades respiratorias en la población<sup>27</sup>.

#### **4.1.3. Contaminación del aire**

La contaminación del aire es el fenómeno de acumulación o concentración de contaminantes en el aire en un tiempo determinado como resultado de actividades humanas o procesos naturales, que causan molestias o daños para la salud de las personas y otros seres vivos, así como a diversos materiales<sup>28</sup>. Esto constituye un tema de preocupación mundial que obedece al continuo crecimiento de la población y a las deficiencias estructurales en el desarrollo sostenible industrial y del sector transporte en los principales centros urbanos<sup>29</sup>.

La contaminación del aire es actualmente uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial. Está presente en todas las sociedades, independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico<sup>30</sup>, y es una de las principales preocupaciones sobre la contaminación del aire ya que se asocia con los efectos en la salud humana a corto y a largo plazo; de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS)<sup>31</sup>.

---

<sup>27</sup> DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE, DAGMA. "Sistema de vigilancia de calidad de aire para el municipio de Santiago de Cali" Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://grupogesp.org/joomla/docs/svigilancia.pdf>>.

<sup>28</sup> IDEAM, Op. Cit., p. 26.

<sup>29</sup> *Ibíd.*, p. 39.

<sup>30</sup> ROMERO, Manuel, DIEGO, Francisca, ALVAREZ, Mireya, (2006). "La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud". Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.edalyc.org/pdf/2232/223214848008.pdf>>.

<sup>31</sup> IDEAM, Op. Cit., p.19.



#### **4.1.4. Efectos de la contaminación del aire en la salud**

Los efectos adversos en la salud humana dependen, por una parte, de la concentración y la duración de la exposición y por otra, de la susceptibilidad de las personas expuestas<sup>32</sup>, algunas de las afectaciones son: irritación de las vías respiratorias, inhabilitación del transporte de oxígeno hacia las células, bronquitis, neumonía, reducción de la función pulmonar, etc.; los efectos de la contaminación del aire sobre los ecosistemas son por ejemplo la lluvia ácida<sup>33</sup>.

En cuanto a Colombia, recientemente el programa “Bogotá Cómo Vamos”, con una de sus encuestas de percepción anual dejó claro que el problema de calidad del aire está afectando de manera importante a los ciudadanos. Cuando se les preguntó a las personas, cuál de los problemas ambientales está afectando más la salud de los bogotanos, cerca del 75% de los encuestados identificaron la contaminación atmosférica como principal problemática. Aunque ha disminuido la contaminación del aire en los últimos años y se ha aumentado los estudios para combatirla, aún es una de las principales causas de muertes prematuras y enfermedades.<sup>34</sup> La importancia del estudio y control de la contaminación atmosférica está sustentada en la evidencia sobre su impacto negativo en la salud respiratoria y cardiovascular de las personas, así como con el deterioro de su calidad de vida<sup>35</sup>.

#### **4.1.5. Importancia de los bioindicadores**

Un organismo bioindicador o indicador biológico, en su sentido amplio, es aquél cuyas funciones vitales se relacionan con efectos en el ambiente, tanto naturales como antropogénicos, de tal manera que pueden manifestar

---

<sup>32</sup> OYARZÚN, Manuel. “Contaminación aérea y sus efectos en la salud”. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.scielo.cl/pdf/rcher/v26n1/art04.pdf>>.

<sup>33</sup> SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES DE MÉXICO, (2013). “Calidad del aire: una práctica de vida”. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>>.

<sup>34</sup> FRANCO. Op. Cit., P. 199.

<sup>35</sup> -----, Op. Cit., P. 193.

síntomas particulares en respuesta a esos efectos, generalmente de manera cuantitativa<sup>36</sup>. En el caso de los bioindicadores de contaminación atmosférica, su utilidad radica en permitir medir directamente el impacto de los contaminantes sobre organismos vivos, en donde la vegetación ha aportado variados bioindicadores, incluyendo desde las cortezas y hojas de árboles, musgos, líquenes, acículas de pino, entre otros<sup>37</sup>.

Los bioindicadores son aquellos organismos o comunidades que responden a alteraciones ambientales. Complementan y superan la medición directa del contaminante porque guardan memoria de la emisión tóxica. Además, muchos son bioacumuladores, lo que permite detectar el contaminante con más facilidad que en el medio y aún después que el tóxico haya desaparecido del ambiente<sup>38</sup>.

-Ventajas de los Bioindicadores Respecto a los Indicadores Físico-Químicos<sup>39</sup>.

- Los indicadores biológicos permiten conocer si la realidad físico-química tiene un reflejo en la realidad biótica y los efectos de los contaminantes sobre los organismos presentes.
- Brindan información sobre la cantidad de contaminantes que en realidad entran en contacto con los organismos.
- También permiten obtener datos sobre la exposición de los contaminantes durante un período largo de tiempo a diferencia de las medidas físico-químicas que solo aportan información en el instante que son tomadas las muestras.

---

<sup>36</sup> HAWKSWORTH, D. L., ITURRIAGA, T., y CRESPO, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <[http://www.academia.edu/9695826/L%C3%ADque nes\\_como\\_bioindicadores\\_inmediatos\\_de\\_contaminaci%C3%B3n\\_y\\_cambios\\_medioambientales\\_en\\_los\\_tr%C3%B3picos](http://www.academia.edu/9695826/L%C3%ADque nes_como_bioindicadores_inmediatos_de_contaminaci%C3%B3n_y_cambios_medioambientales_en_los_tr%C3%B3picos)>.

<sup>37</sup>RIQUELME, F. S. (2008). Evaluación del uso de líquenes como indicadores biológicos de contaminación atmosférica en la quebrada de la plata, región metropolitana. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <[http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/riquelme\\_f/sources/riquelme\\_f.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/riquelme_f/sources/riquelme_f.pdf)>.

<sup>38</sup>SEGURA, S. (2013). Caracterización de la contaminación atmosférica en seis parques recreacionales del distrito metropolitano de quito mediante el uso de bioindicadores. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/678/1/T-UCE-0012-145.pdf>>.

<sup>39</sup> Ibíd., p. 13.

- Otra de las ventajas que se pueden citar es la de carácter económico; la mayoría de los mecanismos de uso de bioindicadores no suelen ser caros ni requieren instrumentación sofisticada.

#### 4.1.6. Biología de los líquenes en Colombia

Los hongos liquenizados o comúnmente llamados líquenes, son muy particulares, debido a que están formados por dos organismos diferentes: algas verdes o cianobacterias (fotobionte) y un hongo (micobionte), obteniendo una relación llamada simbiosis en la que ambos organismos se benefician. El alga convierte la luz y el carbono en hidratos de carbono y azúcares para alimentar al hongo, mientras que el hongo se encarga de proteger el alga de la desecación, facilitando agua y sales minerales<sup>40</sup>. Los líquenes son organismos perennes, de lento crecimiento, que se encuentran distribuidos por todo el mundo, desde las tundras hasta los desiertos y desde las costas hasta las altas montañas tropicales<sup>41</sup>. Crecen sobre una variedad de sustrato y reciben el nombre de acuerdo a estos como: terrícolas (suelo), folícolas o epífilos (hojas), cortícolas (corteza), lignícolas (madera), muscícolas (briofitos) y saxícolas (sobre rocas), sin embargo, dependen del ambiente para su nutrición<sup>42</sup>.

Según su apariencia, los líquenes se pueden clasificar en tres grupos: crustáceos o costrosos (aquellos con aspecto de costra delgadas adheridos sobre el sustrato), foliosos (talos laminares, lóbulos y divisiones variables, unidas parcialmente al sustrato) y fruticosos (con un talo de apariencia

---

<sup>40</sup> CAMPOS-S., L.V., J. URIBE-M. & J. AGUIRRE-C. Santa María, Líquenes, Hepáticas y Musgos. Serie de guías de campo del Instituto de Ciencias Naturales No. 3. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D. C., Colombia. 144 p.

<sup>41</sup> CUESTA, H. V., y MOSQUERA-PALACIOS, Y. (2014). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Quibdó, Chocó, Colombia. Revista Biodiversidad Neotropical. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<https://doi.org/10.18636/BIONEOTROPICAL.V411.178.G106>>.

<sup>42</sup> SOTO MEDINA, E., y BOLAÑOS R., A. C. (2010). Diversidad de líquenes cortícolas en el bosque subandino de la finca Zíngara (Cali, Valle del Cauca). Revista de Ciencias, 14(12), 35–44. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <[https://www.researchgate.net/publication/259082266\\_Diversidad\\_de\\_Liquenes\\_Corticolas\\_en\\_el\\_Bosque\\_Premontano\\_de\\_la\\_Finca\\_Zingara\\_Cali\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/259082266_Diversidad_de_Liquenes_Corticolas_en_el_Bosque_Premontano_de_la_Finca_Zingara_Cali_Colombia)>.

ramificada)<sup>43</sup>. Los crustáceos, crecen fuertemente unidos al sustrato y no pueden ser removidos sin dañarlos; los foliosos, están formados por lóbulos planos con simetría dorsiventral semejantes a las hojas y están unidos parcialmente al sustrato; y los fruticosos, presentan ramas cilíndricas o planas<sup>44</sup>. Anatómicamente, pueden ser homómeros (sin estratificación) como los crustáceos y heterómeros (estratificados) como los foliosos y los fruticosos.

La reproducción en los líquenes puede ser de tipo asexual o por diásporas vegetativas (presencia de estructuras como isidios, soledios, filidios, entre otras) y de tipo sexual (presencia de estructuras como peritecio, apotecio, entre otras) por esporas<sup>45</sup>.

Colombia, es uno de los países con mayor riqueza de líquenes en el mundo, en la región neotropical, se conocían para el 2009 aproximadamente 1.520 especies, 70 familias, 220 géneros y 15 órdenes de grupos de líquenes, la mayoría de biotipo foliosos y fruticosos. Sin mencionar que se han realizado pocos trabajos en todo el país y el biotipo crustáceo ha sido escasamente estudiado<sup>46</sup>.

#### **4.1.7. Importancia ecológica de los líquenes**

Los líquenes son de gran importancia en la colonización del suelo ya que tienen la capacidad de colonizar la roca desnuda e incorporar materia y energía a un sistema emergente. Degradan la roca y son pioneros en la formación de suelo<sup>47</sup>. Algunas sustancias liquénicas como las depsinas y depsidonas pueden combinarse con minerales de las rocas creando complejos, que hacen a la roca un poco más soluble, lo que acelera el proceso de intemperización, que es la

---

<sup>43</sup> CUESTA y MOSQUERA. Op.cit., p.8.

<sup>44</sup> SOTO MEDINA y BOLAÑOS. Op.cit., p.36.

<sup>45</sup> RAMÍREZ MORÁN, A. N. (2009). Evaluación de las comunidades liquénicas en dos bosques con diferente historia de uso, de la reserva biológica "Encenillo", Colombia. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8586/tesis547.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

<sup>46</sup> *Ibíd.*, p.10.

<sup>47</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA. El rol de los líquenes en el ecosistema. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<http://www.efn.uncor.edu/departamentos/divbioeco/divveg1/micologia/clases%20micologia%202013/liquenes%202.pdf>>

descomposición, desgaste, desintegración y destrucción de las rocas, como respuesta a su exposición a los agentes de la intemperie (ej. agua, aire, variaciones de temperatura, acción de organismos)<sup>48</sup>, causado por el congelamiento y calentamiento, y por las alteraciones químicas naturales. Además son muy importantes para preservar la humedad del suelo, reflejar el calor, agregar materia orgánica y atrapar semillas<sup>49</sup>.

Los líquenes colonizan suelos árticos-boreales y regiones alpinas, en donde participan en las cadenas tróficas como productores primarios<sup>50</sup>. Muchos líquenes contienen cianobacterias que fijan nitrógeno de la atmósfera con el que forman aminoácidos y proteínas. Cuando los talos caen al suelo y se descomponen, se libera amonio y nitrato, que se vuelven disponibles para árboles y hierbas. Hay especies de líquenes que sirven como alimento para algunos herbívoros en bosques boreales y tundra ártica.<sup>51</sup>

#### **4.1.8. Identificación de los líquenes**

Para determinar una especie líquénica existe varios métodos de identificación, algunos de estos son<sup>52</sup>:

- Comparación con especímenes previamente identificados de un herbario.
- Cortes histológicos (cortes muy finos) a mano alzada para conocer la forma y tamaño de las esporas, talo, grosor del himenio en los apotecios, entre otras estructuras.
- Identificación de sustancias líquénicas a través de la aplicación de reactivos químicos (solución acuosa de hidróxido de potasio al 30-40% (K) o de hipoclorito de sodio (C)) sobre la médula del talo líquénico, produciendo un

---

<sup>48</sup> CABALLERO, Cecilia. INTEMPERISMO. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/cursos/34b-Intemperism.pdf>>

<sup>49</sup> COHN-BERGER, G., & QUEZADA, M. (2016). Líquenes como bioindicadores de contaminación aérea en el corredor metropolitano de la ciudad de Guatemala. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5607516>>.

<sup>50</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA. Op. Cit. p. 8

<sup>51</sup> COHN-BERGER, G., & QUEZADA, M. (2016). Op. Cit. p. 18

<sup>52</sup> RIQUELME ACEVEDO. Op.cit., p. 5.

cambio de color, para diferenciar dos especies próximas entre sí<sup>53</sup>; o por medio de cromatografía (separación de líquidos a través de la capilaridad en un papel adsorbente) en capa fina<sup>54</sup>.

Además, es importante conocer el género o familia a la que pertenece la muestra, el uso de claves taxonómicas y guías de campo, como, por ejemplo: guía de Santa María, líquenes, hepáticas y musgos (2008)<sup>55</sup>, los géneros de líquenes del neotrópico de Sipman (2005)<sup>56</sup>, identificación de géneros de Barreno y Pérez (2003)<sup>57</sup>, guía de Denison (1973)<sup>58</sup>, entre otras, ya que estas claves pueden variar dependiendo la distribución geográfica de las especies y géneros de líquenes.

#### 4.1.9. Los líquenes como bioindicadores

Muchos bioindicadores pueden responder a la contaminación atmosférica por alteración de su fisiología o su capacidad para acumular elementos o sustancias, dentro de estos se encuentran los líquenes; los cuales reciben la mayor parte de los nutrientes a partir de la atmósfera, por eso son más susceptibles a los factores atmosféricos y, por lo tanto, constituyen sustratos ideales para ser utilizados como bioindicadores<sup>59</sup>.

---

<sup>53</sup> MANRIQUE REOL, E. (1989). Aplicación de técnicas analíticas e interpretación de las variaciones químicas en líquenes. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: < [http://www.rjb.csic.es/jardinbotanico/ficheros/documentos/pdf/anales/1989/Anales\\_46\(1\)\\_249\\_257.pdf](http://www.rjb.csic.es/jardinbotanico/ficheros/documentos/pdf/anales/1989/Anales_46(1)_249_257.pdf)>.

<sup>54</sup> RIQUELME ACEVEDO. Op.cit., p. 5.

<sup>55</sup> CAMPOS-S., L.V., J. URIBE-M. Y J. AGUIRRE-C. Op.cit., p. 19-54.

<sup>56</sup> SIPMAN H, (2005). Clave de identificación y guía de literatura para los géneros de hongos liquenizados (líquenes) en el neotrópico. Revisión [En Línea]. Disponible en internet:< <http://www.bgbm.fu-berlin.de/sipman/keys/neokeya.htm#primary>>.

<sup>57</sup> BARRENO, E., y PÉREZ-ORTEGA, S. Capítulo 9 (2003). Claves para la identificación de los géneros. consejería de medio ambiente ordenación del territorio e infraestructuras del principado de Asturias, 83–112. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <[https://www.uv.es/barreno/Clave\\_de\\_generos\\_y\\_especies.pdf](https://www.uv.es/barreno/Clave_de_generos_y_especies.pdf)>.

<sup>58</sup> DENISON, W. (1973). A guide to air quality monitoring with lichens. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: < <http://gis.nacse.org/lichenair/doc/Denison.pdf> >.

<sup>59</sup> LIJTEROFF, R., Lima, L., y PRIERI, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 25(2), 111–120. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992009000200006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000200006).

Los líquenes presentan unas características biológicas que han permitido su participación y éxito en la evaluación y análisis de la contaminación atmosférica, las cuales se mencionan a continuación<sup>60</sup>:

- Concentran y acumulan los diferentes compuestos o contaminantes.
- No poseen una cutícula protectora y absorben nutrientes y contaminantes a través de gran parte de su superficie.
- Su naturaleza simbiótica, ya que, si cualquiera de los simbioses se ve afectado por algo, ambos organismos mueren.
- Son relativamente longevos, permaneciendo expuestos al efecto nocivo por largos períodos, por lo que proporcionan una imagen de estados crónicos y no de variaciones puntuales del medio ambiente.
- Son organismos perennes que pueden ser muestreados durante todo el año.

Además, carecen de raíz y sistemas de conducción, lo que los hace depender completamente de la atmósfera y del sustrato en el que viven para su metabolismo y no tienen estructuras selectivas o protectoras del medio externo (epidermis o cutícula) que actúen como barrera protectora ante las sustancias del ambiente (por esto, los procesos de absorción de aerosoles y gases ocurren sobre toda la superficie de sus talos)<sup>61</sup>.

#### **4.1.10. Métodos para medir la calidad de aire mediante líquenes**

Existen numerosos estudios acerca del uso de líquenes como bioindicadores para medir y correlacionar la contaminación del aire. Sin embargo, los métodos utilizados son generalmente dos<sup>62</sup>:

- El Índice de Pureza Atmosférica (IPA o IAP):

---

<sup>60</sup> HAWKSWORTH, ITURRIAGA y CRESPO. Op.cit., p.72.

<sup>61</sup> FIGUEROA y MÉNDEZ. Op.cit., p.11.

<sup>62</sup> NEUROHR, E. (2010). Líquenes como bioindicadores de la contaminación atmosférica en la zona urbana de San José, 1–47. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<http://www.uned.ac.cr/ecologiaurbana/?p=424>>.

Se basa en un análisis de presencia/ausencia de especies sensibles o tolerantes propuesto por LeBlanc<sup>63</sup> en 1972 para establecer un nivel integral de calidad del aire y zonificar el área de estudio en diferentes niveles de contaminación. Este índice es conocido ampliamente y se han realizado variaciones con el fin de mejorar su precisión por autores como Rubiano y recientemente Kaffër, la cual incluyó al IPA el factor de clasificación ambiental (FCA o EFC)<sup>64</sup>.

- Trasplante de especies y medición de contaminantes que se acumulan en sus talos:

Mediante este método se realiza el trasplante de muestras de líquenes a zonas donde no hay líquenes, a causa del alto grado de contaminación, de este modo se evalúa la respuesta de estas especies en el nuevo ambiente. Además, se toman muestra de las concentraciones de contaminantes presentes en el líquen<sup>65</sup>. Autores como LeBlanc y Rao (1970), Carreias (1998), Gonzalez y Pignata (200), Hawksworth y Rose (1976), Loppi y Frati (2006), y Toscano (Colombia, 1999) han utilizado este método<sup>66</sup>.

---

<sup>63</sup> FIGUEROA y MÉNDEZ. Op.cit., p.11.

<sup>64</sup> DÍAZ, D. (2012). Líquenes cortícolas como indicadores ambientales en los alrededores de la mina de azufre el vinagre (cauca). Trabajo de Grado (Biólogo). Universidad del Valle, sede Santiago de Cali. Facultad de ciencias naturales. Programa académico de biología. p. 30.

<sup>65</sup> FIGUEROA y MÉNDEZ. Op.cit., p.12.

<sup>66</sup>RINCON, J. (2012). Líquenes Como Bioindicadores En El Monitoreo De La Calidad Del Aire, 65. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<http://repositorio.uis.edu.co/jsp/ui/bitstream/123456789/7011/2/145091.pdf>>.



## 4.2. MARCO CONCEPTUAL

La calidad del aire durante muchos años se ha visto afectada por el crecimiento exponencial de la población y por las actividades diarias que realiza el ser humano para su desarrollo. Esto durante los últimos años se ha vuelto un tema de preocupación a nivel mundial debido a que estas actividades emiten al aire compuestos tóxicos que a mediano o largo plazo causan afecciones en la salud, no sólo humana sino también a la salud animal y vegetal, además es una de las principales causas de mortalidad en el mundo.

Las principales fuentes antropogénicas que generan emisiones al aire causando su constante deterioro son la industria y el sector transporte, debido a que son utilizadas como desarrollo socioeconómico, pero se utilizan de una manera insostenible ya que años atrás se desconocía los efectos que tenían sobre el ambiente. Si bien es necesario el desarrollo socioeconómico en cada país, este debe ir acompañado de acciones que disminuyan las emisiones contaminantes, además se debe realizar constantemente un monitoreo y control para tomar medidas con respecto a las emisiones generadas que causan un impacto negativo en la salud y calidad de vida de las personas.

Por lo anteriormente planteado, se ha buscado la manera de prevenir y controlar la contaminación atmosférica a través de diferentes métodos para su identificación; ya sea por medio de métodos físico-químicos o biológicos (bioindicadores). El uso de los bioindicadores ha tenido gran éxito debido a que directamente se puede observar el estado de salud física de los organismos vivos frente a la contaminación e incluso determinar por medio de pruebas químicas si poseen acumulación de contaminantes atmosféricos en su interior, sin mencionar que los costos para aplicar los bioindicadores son menores con respecto a los físico-químicos.

Los líquenes reciben la mayor parte de los nutrientes a partir de la atmósfera y del sustrato donde se encuentren, esto los hace más susceptibles a los factores atmosféricos, por lo tanto, son los más aptos para ser utilizados como bioindicadores de contaminación atmosférica y han sido utilizados por muchos

investigadores a nivel internacional y nacional. Sin embargo, es necesario seguir aumentando las investigaciones ya que, para cada país, región, ciudad o pueblo la metodología empleada varía o es adaptada de acuerdo a información que se tiene en cuanto a clima, viento, concentraciones de contaminantes, especies de líquenes y su distribución, entre otros.

En Colombia, a pesar de tener muchos trabajos sobre la importancia, diversidad y distribución de líquenes, aún falta realizar más estudios, en especial en las pequeñas ciudades, con respecto a la respuesta de los líquenes frente a la contaminación atmosférica. Por esto, este proyecto busca determinar la calidad del aire usando los líquenes, a través de una metodología basada en índices y factores ecológicos ya establecidos, logrando que sirva de ejemplo y guía para ciudades pequeñas que no cuentan con una estación de monitoreo de calidad del aire y ampliar las investigaciones sobre el uso de líquenes como bioindicadores en Colombia. Además, el uso de estos bioindicadores permite tomar acciones inmediatas para prevenir futuras emisiones de concentraciones de contaminantes y si ya hay presencia de contaminación buscar soluciones para controlarla o eliminarla.

### 4.3. MARCO LEGAL

Las normas presentadas a continuación fueron verificadas en la página web de la alcaldía de Bogotá en el mes de abril del 2017. Con el fin de brindar una información actualizada de las normas relacionadas y aplicadas a la calidad del aire y/o contaminación atmosférica.

- **Normatividad general**

Cuadro 2. Decreto 2811 de 1974.

<b>Decreto 2811 de 1974</b>	<b>El presidente de la república de Colombia</b>
Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	
<b>MEDIO AMBIENTE</b>	
Artículo 1°	El ambiente es patrimonio común. El Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social.
Artículo 8°	Se consideran factores que deterioran el ambiente, entre otros: La contaminación del aire, de las aguas, del suelo y de los demás recursos naturales renovables.
<b>DE LA ATMÓSFERA Y EL ESPACIO AÉREO</b>	
Artículo 74°	Se prohibirá la descarga, en la atmósfera de emanaciones de sustancias de cualquier naturaleza que puedan causar enfermedad, daño o molestias a la comunidad o a sus integrantes, cuando sobrepasen los grados o niveles fijados.

Fuente: Autoras.

Cuadro 3. Ley 9 de 1979.

<b>Ley 9 de 1979</b>	<b>El congreso de Colombia</b>
Por la cual se dictan medidas sanitarias.	
<b>DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS</b>	
Artículo 44°	Se prohíbe descargar en el aire contaminantes en concentraciones y cantidades superiores a las establecidas en las normas que se establezcan al respecto.

Artículo 45°	Cuando las emisiones a la atmósfera de una fuente sobrepasen o puedan sobrepasar los límites establecidos en las normas, se procederá a aplicar los sistemas de tratamiento que le permitan cumplirlos.
--------------	---

Fuente: Autoras.

Cuadro 4. Ley 99 de 1993.

<b>Ley 99 de 1993</b>		<b>El congreso de Colombia</b>
Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.		
<b>FUNDAMENTOS DE LA POLÍTICA AMBIENTAL COLOMBIANA</b>		
Artículo 1°	Principios Generales Ambientales.	
<b>DE LAS RENTAS DE LAS CORPORACIONES AUTÓNOMAS REGIONALES</b>		
Artículo 42°	La utilización directa o indirecta de la atmósfera, el 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 lucrativas, se sujetará al pago de tasas retributivas por las consecuencias nocivas de las actividades expresadas.	

Fuente: Autoras.

- **Normatividad sobre calidad del aire**

Cuadro 5. Decreto 1076 de 2015.

<b>Decreto 1076 de 2015</b>	<b>El presidente de la república de Colombia</b>
Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible	
<b>TÍTULO 5. PROTECCIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE</b>	
Sección I	Definiciones
Sección II	Normas de calidad del aire, niveles de contaminación y emisiones contaminantes.
Sección III	Sobre emisiones contaminantes.

Sección IV	Emisiones contaminantes de fuentes móviles.
Sección VI	Funciones de las autoridades ambientales en relación con la calidad y el control de la contaminación del aire.
Sección VIII	Mecanismos de evaluación y certificación para fuentes móviles.
Sección IX	Medidas para la atención de episodios de contaminación y plan de contingencia para emisiones atmosféricas.
Sección X	Vigilancia y control del cumplimiento de las normas para fuentes fijas.

Fuente: Autoras.

Cuadro 6. Resolución 0610 del 2010

<b>Resolución 0610 del 2010</b>	<b>El ministro de ambiente, vivienda y desarrollo territorial</b>
Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006	
<b>CALIDAD DEL AIRE</b>	
Todo	Definiciones, Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes Criterio, Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes No Convencionales con Efectos Carcinogénicos, Procedimientos de Medición de la Calidad del Aire y mediciones por parte de las autoridades ambientales, Niveles de Prevención, Alerta y Emergencia por Contaminación del Aire.

Fuente: Autoras.

Cuadro 7. Resolución 2154 de 2010.

<b>Resolución 2154 de 2010</b>	<b>El ministro de ambiente, vivienda y desarrollo territorial</b>
Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones.	
<b>MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE</b>	
-Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire. -Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire.	

Fuente: Autoras.

Cuadro 8. Resolución 2153 de 2010.

<b>Resolución 2153 de 2010</b>	<b>El ministro de ambiente, vivienda y desarrollo territorial</b>
Por la cual se ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y se adoptan otras disposiciones.	
<b>CONTROL Y VIGILANCIA PARA FUENTES FIJAS</b>	
Procedimiento de medición de emisiones atmosféricas, estudios de emisiones, monitoreo, determinación de la altura de descarga, sistemas y dispositivos de control y plan de contingencia.	

Fuente: Autoras.

Cuadro 9. Resolución 0910 de 2008

<b>Resolución 0910 de 2008</b>	<b>El Ministro De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial</b>
Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta 1995 y se adoptan otras disposiciones	
<b>FUENTES MÓVILES</b>	
Capítulo II	Límites máximos de emisión permisibles para fuentes móviles en prueba estática.
Capítulo III	Certificación inicial de las emisiones contaminantes de las fuentes móviles.
Capítulo IV	Vigilancia y control de las fuentes móviles.
Capítulo V	Clasificación de las fuentes móviles.

Fuente: Autoras.

Cuadro 10. Resolución 0909 de 2008.

<b>Resolución 0909 de 2008</b>	<b>El Ministro De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial</b>
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.	
<b>FUENTES FIJAS PUNTUALES</b>	
Artículo 4°	Estándares de emisión admisibles para actividades industriales.
Artículo 68°.	Control a emisiones molestas para establecimientos de comercio y de servicio.
Capítulo XVIII	Medición de emisiones para fuentes fijas.
Capítulo XIX	Sistemas de control de emisiones.
Capítulo XX	Convenios de reconversión a tecnologías limpias.

Fuente: Autoras.

Cuadro 11. Política de prevención y control de la contaminación del aire en el año 2010.

<b>Política de prevención y control de la contaminación del aire en el año 2010.</b>	<b>El Ministro De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial</b>
<p>El objetivo de la política es impulsar la gestión de la calidad del aire en el corto, mediano y largo plazo, con el fin de alcanzar los niveles de calidad del aire adecuados para proteger la salud y el bienestar humano, en el marco del desarrollo sostenible.</p> <p>El contenido es: Antecedentes, diagnóstico nacional de la situación actual (contaminación del aire en Colombia, avances en la prevención y control de la contaminación del aire en Colombia, marco institucional para la gestión de la calidad del aire y situación actual), justificación, alcances, objetivos, plan de acción, seguimiento y financiación de la política.</p>	

Fuente: Autoras.

#### 4.4. ESTADO DEL ARTE

Los proyectos presentados a continuación se desarrollaron teniendo en cuenta: Título, autores, año, problema abordado, metodología, resultados y los aportes que brinda a la investigación.

##### 4.4.1. Nivel internacional

- *Título:* Líquenes como bioindicadores de contaminación aérea en el corredor metropolitano de la ciudad de Guatemala. *Autores:* Gretchen Cohn-Berger y Maura Quezada. *Año:* 2016<sup>67</sup>

En la ciudad de Guatemala se presenta un alto crecimiento poblacional, y es una importante área de paso que recibe la emisión de más de 1,000,000 de vehículos que circulan diariamente, generando altos niveles de contaminación y hasta el momento no existen normas que regulen la concentración de contaminantes en el aire y las emisiones de las fuentes. Aunque se realizan en ocasiones métodos físico-químicos, no se conoce los efectos que las concentraciones de contaminantes tienen sobre los seres vivos.

Para resolver el problema, se tomaron 32 puntos de muestreo a lo largo de un corredor urbano que recorre la ciudad de norte a sur, con un área de 0.5 km<sup>2</sup> cada uno, en cada punto se muestrearon 4 árboles y para obtener datos del IPA se utilizó un acetato de 50 cm de largo x 20 cm de ancho dividido en 10 cuadros de 10 x 10 cm en el área del árbol más propensa a recibir emisiones y se dibujó la silueta de cada especie con un marcador, para medir la cobertura de cada especie de líquen en cada árbol. Las muestras obtenidas durante el muestreo fueron identificadas mediante la utilización de diferentes claves

---

<sup>67</sup>COHN-BERGER, G., & QUEZADA, M. (2016). Op. Cit.



taxonómicas propuestas por una variedad de autores, dentro de los cuales se incluye a Sipman. Además del IPA, se calculó la diversidad, el índice ecológico de resistencia de la especie y el factor de clasificación ambiental (FCA) como un factor de corrección del IPA a través de la cobertura de cada forma de crecimiento de los líquenes encontrados. Los datos obtenidos de los índices se clasificaron en las categorías establecidas por Le Blanc y De Sloover en 1970.

Como resultado de la investigación, las áreas clasificadas como pobres en líquenes se encontraron en los puntos más transitados, tales como avenidas principales, áreas comerciales, y pocas áreas residenciales y a pesar de que se incluyen cinco parques municipales se puede observar que éstos se ven afectados por el tránsito vehicular intenso a su alrededor y el área con mejor calidad de aire se encuentra en la zona de clasificación de “área de transición”, lo cual indica el alto grado de contaminación presente en la ciudad de Guatemala. El FCA indicó que no se presentaron líquenes fruticosos, ya que son los primeros en desaparecer de un ecosistema urbano como consecuencia de la contaminación atmosférica según estudios anteriores.

Esta investigación aporta al proyecto una metodología basada en índices ecológicos como el índice de pureza atmosférica, índice de resistencia de la especie y el factor de clasificación ambiental, este último es aplicado en investigaciones recientes debido a la influencia que tiene la morfología del líquen en su sensibilidad y resistencia a la contaminación atmosférica. Además, los resultados obtenidos sugieren que los líquenes pueden utilizarse en donde no existen estaciones de mediciones físico-químicas de calidad del aire y pueden indicar áreas con problemas ambientales que necesiten investigación instrumental.

- *Título:* Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. *Autor:* Angela Canseco, Rafael Anze, Margot Franken. *Año:* 2006<sup>68</sup>

Los últimos años en la ciudad de La Paz se han incrementado los estudios de la calidad del aire, utilizando bioindicadores y biomonitoreo, con los cuales se analizan los efectos de la contaminación sobre la comunidad de líquenes con el fin de realizar una zonificación de la ciudad.

El proyecto consistió en la evaluación de la calidad del aire por cartografía de líquenes y el cálculo del Índice de Pureza Atmosférica. Se efectuaron estudios taxonómicos para la identificación de los líquenes que se encuentran en la ciudad de La Paz, se seleccionaron forófitos con un diámetro mínimo de 50 cm y de corteza rugosa; se seleccionaron los lugares de muestreo teniendo en cuenta que se encontrara la especie del forófito escogido, el establecimiento de un trayecto determinado por vías de alto tráfico vehicular que es la principal fuente de contaminación en la ciudad; los parámetros medidos en cada forófito, fueron: frecuencia, cobertura, presencia de la especie en los árboles estudiados. La zonificación de la ciudad se realizó en la siguiente clasificación: contaminación muy alta, contaminación alta, contaminación media, contaminación baja, contaminación muy baja y sin contaminación.

Se puede observar que la intensidad vehicular es alta en avenidas y calles con poca área verde, por lo que las especies de líquenes se encuentran más expuestas a los contaminantes provenientes del alto tráfico vehicular. Los líquenes de tipo morfológico costroso, se encuentran en todos los lugares, no obstante, su frecuencia es menor a la observada en los foliosos. Finalmente, los líquenes fruticosos son los de menor frecuencia y sólo están presentes en lugares de condición climática favorable y baja intensidad de tráfico vehicular.

La articulación de esta investigación con el proyecto se centra principalmente en la selección de los lugares para la realización del muestreo de líquenes, que

---

<sup>68</sup> CANSECO, ANZE y FRANKEN. Op. Cit., p. 286-307.

se basa en establecer un trayecto por las vías de alto tráfico vehicular siendo este la principal fuente de contaminación atmosférica en la ciudad de Tuluá.

#### 4.4.2. Nivel nacional

- *Título:* Evaluación de la calidad del aire en 8 zonas de la ciudad de Bogotá utilizando los líquenes como bioindicadores. *Autor:* Figueroa Eгна Vanessa, Méndez Montoya Adriana Paola. *Año:* 2015<sup>69</sup>

En Bogotá se ha registrado un incremento de enfermedades respiratorias debido a la alta contaminación atmosférica relacionada con la emisión principalmente de material particulado, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión del carbón y del petróleo, de la industria metalmecánica y de otras industrias, siendo lo anterior la principal causa de morbilidad y mortalidad para la población vulnerable, niños menores de cinco años y adultos menores. Aunque Bogotá cuenta con una red de monitoreo de calidad de aire, compuesta por 13 estaciones fijas y una móvil, éstas no son suficientes para el monitoreo de la contaminación atmosférica. Esto es debido a que los elevados costos de los equipos que monitorean, la infraestructura y los criterios con los que se diseña una red, no permiten ubicarlas en diferentes sitios. Por ello el objetivo general de esta investigación fue evaluar la calidad de aire usando los líquenes como bioindicadores, a partir de la relación de la riqueza y abundancia de líquenes con los contaminantes atmosféricos. Para la realización del proyecto se dividió en cuatro fases:

1. Revisión literaria: aquí se realizó la consulta bibliográfica pertinente acerca de los líquenes.
2. Reconocimiento y caracterización de las zonas de estudio: Se visitaron las 13 estaciones de monitoreo que hacen parte de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) y se hizo un reconocimiento en un radio de 500 metros alrededor de cada estación (distancia mínima

---

<sup>69</sup> FIGUEROA y MÉNDEZ. Op.cit., p. 1- 62.

avenidas) la cual se denomina zona de estudio. Se evaluó si dicha zona contaba con la presencia mínima de por lo menos 8 árboles, registro de datos mensuales tomados por la estación de monitores de concentraciones de material particulado (PM10) y gases contaminantes (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO) publicados en la página web de la RMCAB. Teniendo en cuenta lo anterior se eligieron ocho zonas de estudio.

3. Recopilación de datos y recolección de muestras: En cada zona de estudio se realizaron dos visitas, el primer día se eligieron los 8 árboles, se midieron los parámetros ambientales y se clasificaron las avenidas de acuerdo al tipo de avenida y al flujo vehicular. Para registrar la presencia de líquenes y su cobertura, en cada árbol se usó una cuadrícula de 50x20cm (largo x ancho), dividida en diez cuadros cada uno de 10x10cm. Para cada zona de estudio la riqueza de líquenes fue tomada como el número de especies presentes. Para determinar la cobertura de cada especie de líquen por árbol, se calculó el área (centímetros cuadrados) ocupada por cada especie dentro del área de la cuadrícula y se sumaron los datos obtenidos en las cuatro caras del árbol.
4. Cálculos y análisis de datos: Se utilizó el índice de Shannon, índice de pureza atmosférica para cada zona de estudio, relación de la riqueza y el porcentaje de cobertura líquénica con las concentraciones de gases contaminantes, comparación de la riqueza y el porcentaje de cobertura líquénica entre las ocho zonas de estudio: coeficiente de similitud de Jaccard y análisis de clúster, comparación del índice de Shannon entre las ocho zonas de estudio.

Como resultado de la investigación, se encontró que el hábito de crecimiento de líquenes folioso fue el más representativo con siete morfoespecies, mientras que los hábitos fruticoso y costroso presentaron una sola morfoespecie. Las ocho zonas estudiadas presentaron diferencias en su composición líquénica. El haber encontrado más líquenes de hábito folioso (siete morfoespecies) durante este estudio se explica por la ubicación en la que está la ciudad de Bogotá, localizada sobre la región Andina muestra buena representación de este hábito de crecimiento. Los líquenes foliosos suelen ser muy sensibles a los factores

atmosféricos, porque en ellos, la unión al sustrato no es muy pronunciada, lo cual los hace más dependientes del aire.

La anterior investigación se articula, nuevamente, porque refleja cómo se utilizan los líquenes como bioindicadores. La metodología aplicada es similar a la investigación anterior, sin embargo; en esta última se aplicó la comparación entre los resultados aportados de los índices con las concentraciones de la estación de monitoreo y la comparación de calidad de aire entre las zonas estudiadas, aproximándose un poco más a la manera en que se desarrolla el tema de los líquenes y la contaminación atmosférica en Colombia.

- *Título:* Uso de organismos vegetales no vasculares como indicadores de contaminación atmosférica urbana (Tunja, Boyacá, Colombia). *Autores:* Diego Fernando Simijaca-Salcedo, Diana Lucia Vargas-Rojas y Maria Eugenia Morales-Puentes. *Año:* 2014<sup>70</sup>

Debido a la disminución de zonas verdes en la ciudad de Tunja, la contaminación ha incrementado exponencialmente en la ciudad obteniendo el deterioro de la salud de la ciudadanía, la reducción de los hábitats y poblaciones de las plantas. Los líquenes resultan ser muy efectivos como sistemas de alerta, ya que permiten detectar tempranamente signos de cambio ambiental debido a que reciben la mayor parte de nutrientes directamente de la atmósfera.

Para resolver el problema, se seleccionaron 25 estaciones de muestreo correspondientes a las áreas verdes más representativas de la zona rural y urbana de la ciudad de Tunja, en cada estación se evaluaron y marcaron cuatro forófitos adultos de corteza consistente y diámetro >10 cm, se recolectaron

---

<sup>70</sup> SIMIJACA SALCEDO, D., VARGAS ROJAS, Lucia D y MORALES PUENTES, Eugenia. Uso de organismos vegetales no vasculares como indicadores de contaminación atmosférica urbana (Tunja, Boyacá, Colombia). Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<http://www.redalyc.org/pdf/3190/319030502010.pdf>>.

líquenes desde la base hasta los 2 metros utilizando una grilla de 27 x 21 cm obteniendo la abundancia y distribución de las especies. Además, se registró la posición del vástago o talo liquénico, su estado general, coloración y presencia/ausencia de estructuras reproductivas.

Se realizó el análisis de los datos utilizando el índice de pureza atmosférica (IPA), La identificación de las zonas de isocontaminación, se realizó a partir de la marcación de polígonos sobre el mapa de la ciudad, que agrupa zonas con similitud en la influencia de los contaminantes, La representación cartográfica se digitalizó con el software ArcGis versión 9.3, ubicando las estaciones georeferenciadas y a partir de las cuales se generaron los polígonos de áreas de isocontaminación.

Como resultado de la investigación, la ciudad de Tunja presenta seis zonas principales de isocontaminación, desde contaminación máxima con 8,53 de IPA, hasta mínima con 52,2196 de IPA y desiertos liquénicos en algunos sectores. Dichas zonas de isocontaminación se distribuyen de manera continua y muestran un patrón donde la contaminación aumenta hacia el centro de la ciudad y disminuye hacia las zonas rurales y periféricas; lo que confirma el crecimiento de la contaminación atmosférica en la ciudad y la necesidad de buscar alternativas de reducción de emisiones al aire.

La anterior investigación se articula con el proyecto, ya que brinda ciertas directrices sobre cómo se puede realizar una metodología para utilizar los líquenes como bioindicadores de la contaminación atmosférica, La metodología empleada ya ha sido estudiada y aplicada en investigaciones anteriores, utilizando el índice de pureza del aire (IPA) modificado por Rubiano y Chaparro (2006) donde se tiene en cuenta la presencia/ausencia de las especies de líquenes en determinado punto y de esta manera conocer qué puntos se encuentran con la mayor contaminación. Generalmente la investigación ayuda al cómo se puede utilizar los líquenes como bioindicadores, y constituye una guía inicial para establecer una que se ajuste a las condiciones de la Ciudad de Tuluá y a los conocimientos de las investigadoras.

- *Título:* Calidad del aire en Quibdó mediante bioindicadores. *Autor:* Rosmary Mena. *Año:* 2012<sup>71</sup>

La ciudad de Quibdó es un área en constante expansión debido a los procesos de crecimiento de la población y el desplazamiento forzado lo que ha generado grandes problemas de contaminación atmosférica en el casco urbano de la ciudad. Teniendo en cuenta que no siempre se cuenta con redes de monitoreo de calidad del aire en ciudades pequeñas, un método útil y económico para evaluar la calidad es a través de bioindicadores, como los líquenes.

Para resolver el problema, se realizó la ubicación de las estaciones de muestreo, dividiendo el mapa del casco urbano de Quibdó en cuadrículas de 0,5 km x 0,5 km, que incluye las comunas o barrios presentes en el perímetro urbano, resultando 32 cuadrículas, De las 32 cuadrículas iniciales se eliminaron aquellas que no cumplían con las condiciones requeridas como presencia de forófitos, diámetro mayor a 20 cm, fácil acceso, daños en el tronco, entre otros, quedando 21 estaciones apropiadas para realizar el muestreo. La abundancia se cuantificó midiendo la cobertura en el árbol, mediante una plantilla transparente con cuadrículas de 1 cm<sup>2</sup>. También se determinó su vitalidad, teniendo en cuenta su apariencia y su nivel de necrosamiento o muerte; utilizando una escala de 1 a 4 donde 1 equivale a excelente apariencia y 4 a necrosamiento total del líquen. La identificación taxonómica se realizó utilizando claves dicotómicas por especialistas en plantas no vasculares, se realizó la determinación del Índice de Pureza Atmosférica a través de la fórmula modificada por Rubiano (1984) además del IPA máximo teórico ( $S^2 - S$ ). Para la clasificación de zonas de contaminación se procedió como en la investigación anterior en agrupar los valores del IPA en rangos, por último Para delimitar gráficamente las isóneas en el mapa se utilizó el programa ArcGis.

Como resultado de la investigación, con los resultados del IPA, se identificaron cinco zonas de características diferentes de calidad de aire en el área de

---

<sup>71</sup> GIRALDO CAÑAS, D., RENTERÍA, Marisol L., RENTERÍA, Ariel C., MOSQUERA BLANDÓN, Moisés E. y Associated. (2012). Revista Bioetnia, Volumen 9 N° 2 julio-diciembre. p. 215. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<http://iiap.org.co/documents/6c71786ff4630ab11074d66bb42f7bd5.pdf>>.

estudio (en el documento original se encuentran detalladas). Los resultados obtenidos permitieron evaluar y analizar la razón de la degradación de la calidad del aire en el casco urbano de Quibdó, en las diferentes zonas, siendo el incremento del parque automotor y el tráfico vehicular la fuente principal de contaminación en las zonas donde se presentaba baja diversidad y frecuencia de líquenes.

La articulación de esta investigación con el proyecto se centra principalmente en cómo se puede llevar a cabo una metodología en cuanto al muestreo y la relación de los índices obtenidos con la contaminación atmosférica.



## 5. METODOLOGÍA

Para la determinación la calidad del aire por medio de líquenes en el área urbana del municipio de Tuluá., se desarrollaron tres fases que lograron el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos ya planteados.

### 5.1. FASE 1: DETERMINACIÓN TAXONÓMICA DE LAS ESPECIES DE LÍQUENES CON SU FRECUENCIA Y COBERTURA EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE TULUÁ.

El objetivo principal de esta primera fase fue establecer los puntos de muestreo y diligenciar una serie de formatos de campo los cuales permitieron saber la frecuencia y cobertura de líquenes en forma cuantitativa. Para lograr el cumplimiento de esta fase, se llevó a cabo las siguientes actividades:

#### 5.1.1. Área de estudio

Para la selección de las comunas a muestrear se tuvo en cuenta los lugares influenciados por el alto flujo vehicular y la industria; además de lugares de transición (flujo vehicular moderado) y poco flujo vehicular, los cuales no se encuentran influenciados por la zona industrial. Estas comunas se ubican dentro de la zona urbana del municipio y se clasifican de la siguiente manera:

- Estación de fondo<sup>72</sup>: Se encuentra en la comuna 9 (Maracaibo, El Jardín, La Graciela, Villa Colombia, El Palmar, Riopaila, Portales del Río, Juan XXIII, Alameda I, Alameda II, El Bosquecito, Samán del Norte, Internacional, Siete de Agosto), es una zona que presenta muy poco flujo vehicular, además no está influenciada por la zona industrial.
- Estación de transición: Está conformada por la comuna 6 (Pueblo Nuevo, La Esperanza, Las Delicias, Bolívar, Playas, San Pedro Claver, Asoagrín Farfán, Progresar, La Ceiba, Marandua, El Pinar, Chilicote, 350 Años) y la

---

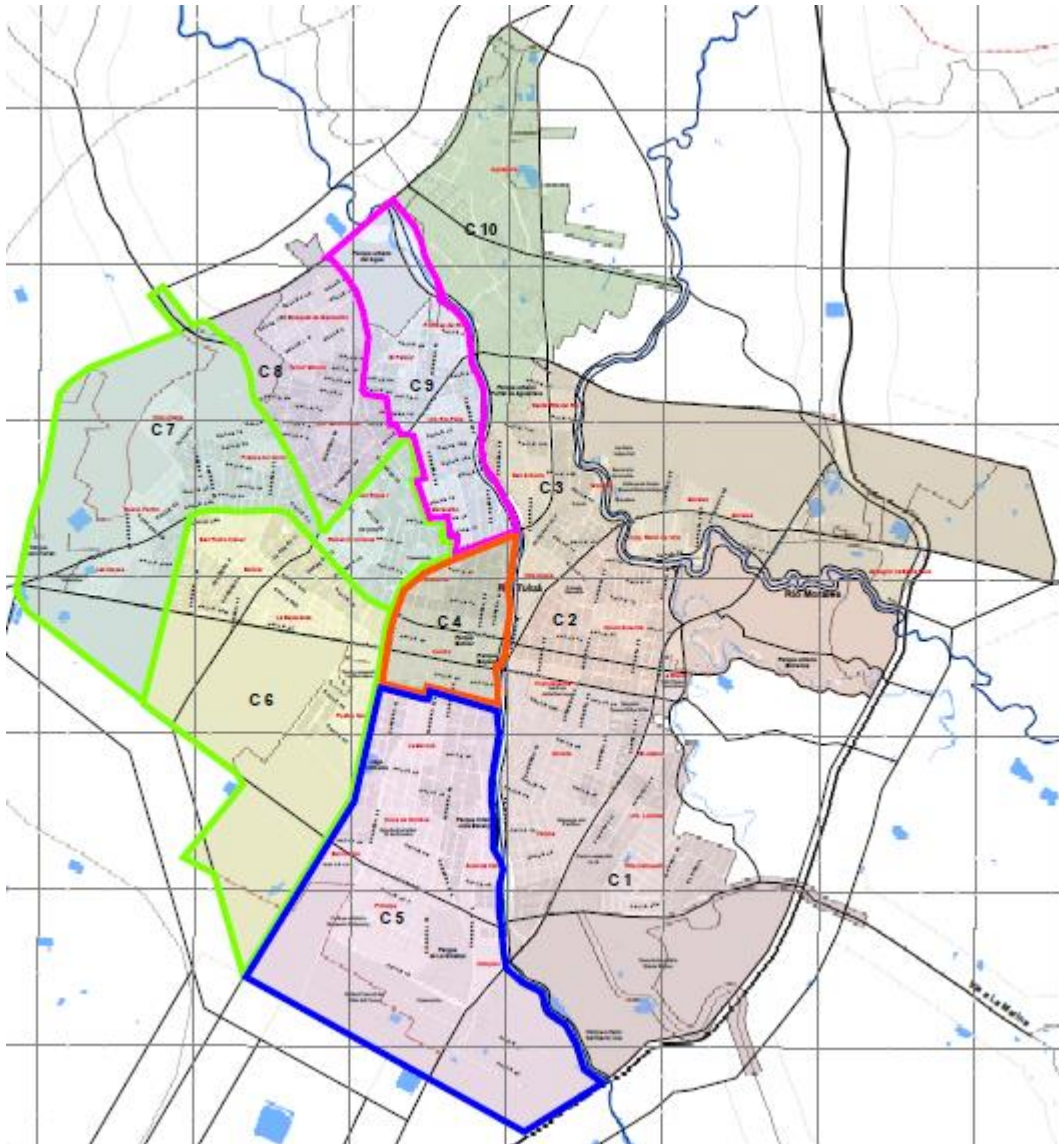
<sup>72</sup> FIGUEROA y MÉNDEZ. Op. Cit., p. 20.

comuna 7 (Barrio Rojas, Rubén Cruz Vélez, El Porvenir, Las Américas Farfán, Departamental, La Quinta, Nuevo Farfán, La Campiña, Laureles I, Laureles II, El Descanso, Villa del Sur, Guayacanes, Prados del Norte, Las Veraneras, José Antonio Galán, Los Olmos, Juan Lemos Aguirre, Los Tolues, Las Nieves, El Limonar, Villa Liliana), es una zona que a pesar de ser en gran parte residencial presenta flujo vehicular moderado debido a que se encuentra la Calle 25 que es un corredor vial comercial y de servicios según el Plan de Ordenamiento Territorial.

- Estación industrial: Se encuentra la comuna 5 (Sajonia, Salesianos, La Merced, Las Acacias, Lusitania, Doce de Octubre, El Príncipe, Avenida Cali, San Carlos, La Bastilla, El Lago, El Laguito), es una zona que presenta un flujo vehicular representativo debido a que se encuentran vías de acceso a la ciudad, además hay presencia de industrias en la comuna.
- Estación de alto flujo vehicular: Se encuentra la comuna 4 (Las olas, Escobar, Palobonito, Tomás Uribe, El centro), es la zona centro de la ciudad, donde se encuentra una gran parte del comercio municipal; por esta razón se encuentra influenciada por un alto flujo vehicular.

En la siguiente figura se encuentra la delimitación de las estaciones anteriormente mencionadas:

Figura 2. Delimitación del área de estudio\*



Fuente: Autoras, modificado con base a las fichas normativas de comunas del municipio de Tuluá.

\*Estación de fondo (comuna 9): área delimitada por líneas fucsias.

\*Estación de transición (comuna 6 y 7): área delimitada por líneas verdes.

\*Estación industrial (comuna 5): área delimitada por líneas azules.

\*Estación de alto flujo vehicular (comuna 4): área delimitada por líneas naranjas.

### 5.1.2. Elección del forófito (árbol) a muestrear

La elección del forófito se realizó teniendo en cuenta la distribución y frecuencia de individuos presentes en el área de estudio, para esto se utilizó la base de datos del censo arbóreo de TuluAseo S.A. E.S.P para el año 2016, la cual se encuentra en proceso de publicación y fue obtenida por medio del Biólogo y Docente de la Unidad Central del Valle del Cauca Wilson Devia Álvarez. Además, se realizó un recorrido previo para observar la abundancia y presencia de líquenes en el árbol seleccionado.

El motivo de elegir una especie en particular fue con el fin de estandarizar las unidades de muestreo; ya que las especies de líquenes dependen de las características de la corteza (pH, capacidad de almacenar agua, contenido de nutrientes), de esta manera se aseguró una menor variación entre los datos obtenidos en los puntos de muestreo.

Para la selección de los árboles en cada zona, se tuvo en cuenta los siguientes criterios<sup>73</sup>:

- 1) La inclinación del árbol no fue mayor a 20°.
- 2) Individuos con CAP (circunferencia a la altura del pecho) >20 cm
- 3) Los troncos de los árboles reciben radiación directa por lo menos una parte del día.
- 4) No presentan signos evidentes de alteración humana, como carteles y pinturas.
- 5) La distancia entre árboles fue aproximadamente 20 m con el fin de evitar la dependencia.

---

<sup>73</sup> FIGUEROA y MÉNDEZ. Op.cit., p. 24.

### **5.1.3. Establecimiento de puntos de muestreo**

El muestreo se realizó en espacios públicos como parques, zonas verdes y vías peatonales con plantación de árboles, ubicados dentro de cada comuna debido a que en ellos se encuentra una mayor cantidad de árboles (forófitos) en la ciudad de Tuluá, para dar facilidad a la hora del muestreo<sup>74</sup>. La selección de los puntos de muestreo se basó en la presencia del forófito seleccionado y el cumplimiento de los criterios descritos en el punto anterior.

En la comuna cuatro, representada en este trabajo como estación de alto flujo vehicular, sólo nueve de los forófitos que se encontraron de la especie seleccionada cumplieron con los criterios mencionados en el ítem anterior, por tal razón y para unificar el muestreo se decidió utilizar esta misma cantidad de forófitos en todas las comunas, con el fin de mantener una menor variación.

### **5.1.4. Frecuencia y cobertura líquénica.**

En cada comuna de estudio, se realizaron las recolecciones de muestras en el mes de agosto del 2017, en cinco salidas de campo. Las dos primeras se realizaron con el fin de elegir los forófitos que cumplen con los criterios descritos en la metodología; y las demás para realizar la recolección de muestras de líquenes. Es importante resaltar que la época en la cual se realizó el muestreo, fue seleccionada al azar, ya que los líquenes son resistentes a cambios climáticos moderados, por lo que pueden ser muestreados y estudiados durante todo el año<sup>75</sup>.

El método que se utilizó para estandarizar el muestreo de líquenes, fue el empleado por varios autores como Rubiano y Chaparro (2006), Segura (2013),

---

<sup>74</sup> TULUASEO (sin publicar). Proyecto censo arbóreo del municipio de Tuluá, Valle del Cauca. Base de datos 2016.

<sup>75</sup> RIVERA, E. (2008). Estudio de líquenes como indicadores de los niveles de contaminación en el pueblo de guayama, Puerto Rico. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <ut.suagm.edu/sites/default/files/...Estudios...06/.../4\_Rivera\_E\_Tesis\_UT\_2008.pdf>.

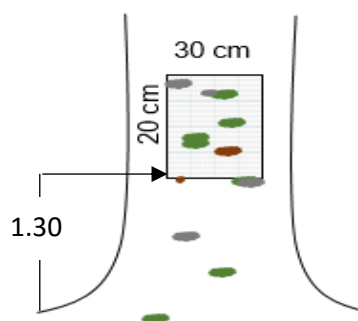
Canseco, et al., (2006) y Neurohr (2010), entre otros. En cada árbol se usó una cuadrícula de 20 cm x 30 cm en acetato la cual se dividió en cuadros de 1 cm<sup>2</sup> para medir la cobertura del líquen. La cuadrícula se ubicó a una altura de 1.3 m desde la base del tronco y con el fin de evitar que los factores climáticos (radiación solar, temperatura, humedad y viento) afectaran los resultados, se colocó la cuadrícula por la cara del forófito donde se presentó mayor cantidad de líquenes (figura 3).

La frecuencia se registró por medio del número de forófitos de la estación en la cual aparece la especie.

- Preservación de las muestras

Las muestras de líquenes fueron extraídas de cada forófito con ayuda de una navaja, secadas al aire libre para eliminar el exceso de humedad y posteriormente se guardaron en bolsas de papel de acuerdo a su género con el fin de evitar que las muestras se mezclaran, luego fueron enviadas y analizadas en el Herbario CUVC de la Universidad del Valle en la Ciudad de Cali a través del estereoscopio por el Biólogo Edier Alberto Soto Medina, para su posterior identificación al taxón de especie y se realizó el registro fotográfico de algunas especies (Anexo A).

Figura 3. Ubicación de la cuadrícula para muestreo de líquenes.



Fuente: Autoras.

Por cada forófito se utilizó mínimo tres bolsas de papel debidamente rotuladas teniendo en cuenta:

- Nombre de la estación
- Número de la comuna
- Número del forófito
- Tipo de morfología del liquen (costroso, folioso o fruticoso).
- Género del liquen

La información se registró en un formato teniendo en cuenta aspectos como: número de comuna, número de forófito (incluyendo su número de identificación (coordenadas) y la especie), estado del liquen, tipo de morfología con su cobertura y frecuencia (Anexo B). Adicionalmente, se recolectó material vegetal que no fue posible identificar en campo con el fin de reconocerlo en laboratorio.

#### **5.1.5. Reconocimiento de especies.**

Para la identificación taxonómica de líquenes se utilizaron claves taxonómicas para géneros del neotrópico de Sipman (2005)<sup>76</sup>, de will-wolf para la familia Physciaceae<sup>77</sup> (en proceso de publicación) y los conocimientos del Biólogo Edier Alberto Soto Medina, experto en líquenes de la Universidad del Valle, sede Cali. Para la aplicación de estas claves, se tuvo en cuenta: el grupo morfológico, color del talo, tamaño de los lóbulos, la presencia o ausencia de las estructuras reproductoras (además del color y la forma), entre otras. En el caso donde la identificación de una especie en particular fue muy difícil, se anotó como “sp.” Nombre del género.

Se registraron las especies de líquenes encontradas en cada sitio de muestreo, incluyendo su frecuencia, cobertura y número de especies acompañantes.

---

<sup>76</sup> SIPMAN H. Op. Cit., p. 1

<sup>77</sup> WILL-WOLF, S., APTROOT A., CHAVES, J., LÜCKING, R., SIPMAN, H., Y UMAÑA-TENORIO, L. (sin publicar). A first assessment of the Ticolichen biodiversity inventory in Costa Rica: The family Physciaceae (Lecanorales), excluding Buellia s.lat. and Rinodina. P. 1-6.

- **Herborización**

Las especies identificadas se encuentran en proceso de ser depositadas en el herbario CUVC de la Universidad del Valle en la Ciudad de Cali, como material de referencia para futuras investigaciones.

## **5.2. FASE 2: ESTABLECIMIENTO DEL ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA (IPA), Y EL FACTOR DE CLASIFICACIÓN AMBIENTAL PARA LA ZONA DE ESTUDIO.**

El objetivo principal de esta segunda fase fue analizar los datos obtenidos del muestreo en las cinco comunas por medio del índice de pureza del aire, este índice está basado en las alteraciones que produce la contaminación atmosférica sobre las comunidades de los líquenes a través de su frecuencia y cobertura. Para el cálculo de este índice se aplicó también el factor de resistencia de la especie.

### **5.2.1. El Factor de Resistencia<sup>78</sup>**

Este factor representa la tolerancia o sensibilidad de una especie ante la contaminación aérea, para un bajo Q las especies muestran alta tolerancia y para un alto Q es baja tolerancia:

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

Donde:

$Q_i$  = Factor de Resistencia de la especie  $i$ .

$A_j$  = Número de especies presentes en cada comuna donde se encuentra  $i$ .

$E_j$  = Número de comunas donde se encuentra  $i$ .

---

<sup>78</sup> RUBIANO, L. J. (1987). Delimitación de áreas de isocontaminación en Cali y Medellín utilizando líquenes como bioindicadores. *Perez-Arbelaezia*, 1(4-5), 7-41.



### 5.2.2. Índice de pureza atmosférica (IPA) <sup>79</sup>

Con los datos obtenidos se calculó el IPA para cada lugar de muestreo, utilizando la siguiente fórmula:

$$IPA = \sum \frac{Q_i * F_i}{n * C_i}$$

Donde:

IPA: Índice de pureza atmosférica en la comuna.

Q<sub>i</sub> = Factor de Resistencia de la especie i.

n = Número de forófitos censados en la comuna j.

C<sub>i</sub> = Cobertura estandarizada de la especie i en la comuna j. Se deduce dividiendo el valor de cobertura total de la especie i (sumatoria de sus coberturas en los árboles de la comuna) entre el máximo valor de cobertura total alcanzado en cualquier comuna y luego se utilizó la siguiente escala<sup>80</sup>:

Cuadro 12. Escala de coberturas

Escala	% de cobertura	Escala	% de cobertura
6	95-100 (alta)	3	25-50 (media)
5	75-95 (alta)	2	5-25 (baja)
4	50-75 (media)	1	0-5 (baja)

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

F<sub>i</sub> = Frecuencia de la especie i (número de forófitos de la comuna j en que aparece la especie i). Se utilizó una escala de frecuencia de 1 a 5, que varía de acuerdo al porcentaje de cobertura de las especies, de la siguiente forma<sup>81</sup>:

1- La especie se presenta hasta en dos forófitos y tiene un valor bajo de cobertura entre 0-25%.

<sup>79</sup> *Ibíd.*, p. 15 y 16.

<sup>80</sup> DÍAZ, D. Op. Cit., p. 96.

<sup>81</sup> DÍAZ, D. Op. Cit., p. 94.

- 2- La especie se presenta hasta cinco forófitos y tiene bajo valor de cobertura.
- 3- La especie se presenta hasta cinco forófitos y tiene medio grado de cobertura en algunos árboles entre 25.1 a 75%.
- 4- La especie se presenta entre seis y 9 forófitos y tiene alto grado de cobertura en algunos árboles entre 75,1 a 100%.
- 5- La especie se presenta en los 9 forófitos y tiene un grado de cobertura del 100%.

El índice de pureza atmosférica puede arrojar datos contradictorios de contaminación atmosférica ya que no se tiene en cuenta la forma de crecimiento del líquen. En muchos casos puede encontrarse abundancia de una especie y el IPA ser muy alto (baja contaminación) pero en realidad esa especie presenta una morfología tolerante lo que se traduce a una alta o media contaminación. Es por esto que se utilizó el Factor de clasificación ambiental como una corrección al IPA.

### 5.2.3. Factor de clasificación ambiental<sup>82</sup>

El Factor de Clasificación Ambiental (FCA) toma en cuenta la cobertura de los grupos morfológicos de acuerdo a la sensibilidad de éstos frente a los contaminantes, complementando de esta manera el índice de pureza atmosférica:

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

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)

---

<sup>82</sup> KÄFFER, M. I., MARTINS, S. M. D. A., ALVES, C., PEREIRA, V. C., FACHEL, J., & VARGAS, V. M. F. (2011). Corticolous lichens as environmental indicators in urban areas in southern Brazil. *Ecological Indicators*, 11(5), 1319–1332. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.02.006>>.

Para obtener los valores de la cobertura de cada tipo de morfología se utilizó la siguiente escala<sup>83</sup>:

Cuadro 13. Escala de cobertura según tipo de 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: Factor de Clasificación Ambiental para el IPA por Käffer.

### **5.3. FASE 3: COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE ESPECIES DE LÍQUENES Y CATEGORIZACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE PRESENTE EN LA ZONA DE ESTUDIO.**

#### **5.3.1. Comparación de la composición de especies de líquenes entre las cinco comunas de estudio.**

Para establecer una comparación entre los sitios de estudio en cuanto a la composición de líquenes, se calculó el coeficiente de similitud de Jaccard y luego con los datos obtenidos se aplicó el análisis clúster para obtener un dendrograma, el cual facilitó un análisis de la posible presencia de alteraciones entre las comunas de estudio y se relacionó estos datos con la categorización del IPA.

---

<sup>83</sup> *Ibíd.*, p. 1322.

### 5.3.1.1. Coeficiente de similitud de Jaccard<sup>84</sup> y análisis clúster

$$\text{Similitud de Jaccard} = \frac{c}{a + b + c}; 0 < SJ < 1$$

Donde:

a: número de especies exclusivas de la zona A.

b: número de especies exclusivas de la zona B.

c: número de especies comunes entre las zonas A y B.

Este índice tomó valores iguales a 1 en casos de similitud completa e iguales a 0 si las zonas son totalmente diferentes y no tienen especies en común. La obtención de este índice se resolvió con el apoyo de hojas de cálculo de Microsoft Excel©.

Luego, se realizó un análisis de clúster con los datos de presencia/ausencia de líquenes en las comunas y a partir de este análisis se obtuvo un dendrograma. Este análisis se realizó a través del programa PAST versión 3.18b (2017).<sup>85</sup>:

### 5.3.2. Categorización de la calidad el aire de cada una de las comunas a partir del IPA y el Factor de Clasificación Ambiental.

Una vez calculado el Índice de pureza atmosférica con su complemento (FCA), se agruparon los datos en zonas. Estas zonas fueron establecidas por LeBlanc<sup>86</sup>, Rubiano<sup>87</sup> y adoptadas por varios investigadores actuales para el IPA de acuerdo a su nivel de contaminación:

---






<sup>84</sup> FIGUEROA y MÉNDEZ. Op.cit., p. 29.

<sup>85</sup> *Ibíd.*, p.29 y 30.

<sup>86</sup> DÍAZ, D. Op. Cit., p. 30.

<sup>87</sup> RUBIANO. Op.cit., p. 17.

Cuadro 14. Clasificación para identificar zonas de contaminación atmosférica por medio de bioindicadores.

ZONAS	DESCRIPCIÓN	RANGO	CONTAMINACIÓN	COLOR
I	Desierto liquénico	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: Autoras, adaptado de LeBlanc (1972) y Rubiano (1987)

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Elección del forófito

Al realizar la revisión y análisis de la base de datos del censo arbóreo de Tuluá, se identificó que las especies de árboles más representativas en la zona urbana de la ciudad en su respectivo orden y portadoras de líquenes fueron: El Ébano (*Geoffroea spinosa* Jacq.), La Acacia Rubinea (*Caesalpinia pluviosa* var. *peltophoroides* (Benth.) G.P.Lewis), La Palma Manila (*Adonidia merrillii* (Becc.) Becc.), La Palma Botella (*Roystonea regia* (Kunth) O.F.Cook) y el Samán (*Albizia saman* (Jacq.) Merr.). Antes de continuar es pertinente aclarar que se descartaron las palmas inmediatamente debido a la dificultad para realizar la toma de muestras en su corteza según la sugerencia del Biólogo Edier Alberto Soto Medina.

Para elegir la especie adecuada se tuvo en cuenta los siguientes criterios:

- Empleo de la misma especie de árbol en todas las estaciones, la especie que no se encontró en totalidad debido a la poca frecuencia de árboles o individuos comunes en las cuatro estaciones de estudio, fue descartada como el caso del Ébano con el fin de brindar mayor confiabilidad en el cálculo y comparación de valores de IPA.
- Características morfológicas adecuadas, es decir, principalmente árboles adultos, sanos, Circunferencia a la altura del pecho >20 cm, Inclinación no mayor a 20° respecto a la vertical, corteza rugosa y no deben pertenecer a formaciones arbóreas excesivamente cerradas como fue el caso del Samán ya que no permiten una buena distribución de la radiación solar y humedad en el tronco disminuyendo el crecimiento de líquenes.
- Cumplimiento de los criterios descritos en la metodología sobre la elección de los forófitos en la mayoría de individuos de la especie a muestrear.

- Facilidad de acceso de la mayoría de individuos en el área donde se desarrolló el estudio.

Teniendo en cuenta lo anterior, se eligió la especie *Acacia Rubinea* (*Caesalpinia pluviosa* var. *peltophoroides* (Benth.) G.P.Lewis) perteneciente a la familia Leguminosae, la cual cumplió con todos los criterios.

## 6.2. Puntos de muestreo

Se muestrearon en total 45 puntos o forófitos (*Acacia Rubinea*) a lo largo del área de estudio (fotografía 1). En cada estación se seleccionaron 9 forófitos a excepción de la estación de transición, en la cual se seleccionaron 18 árboles repartidos en las dos comunas que la componen (Comuna 7 (transición) y comuna 6 (transición 2)).

Fotografía 1. Muestreo y recolección de datos.

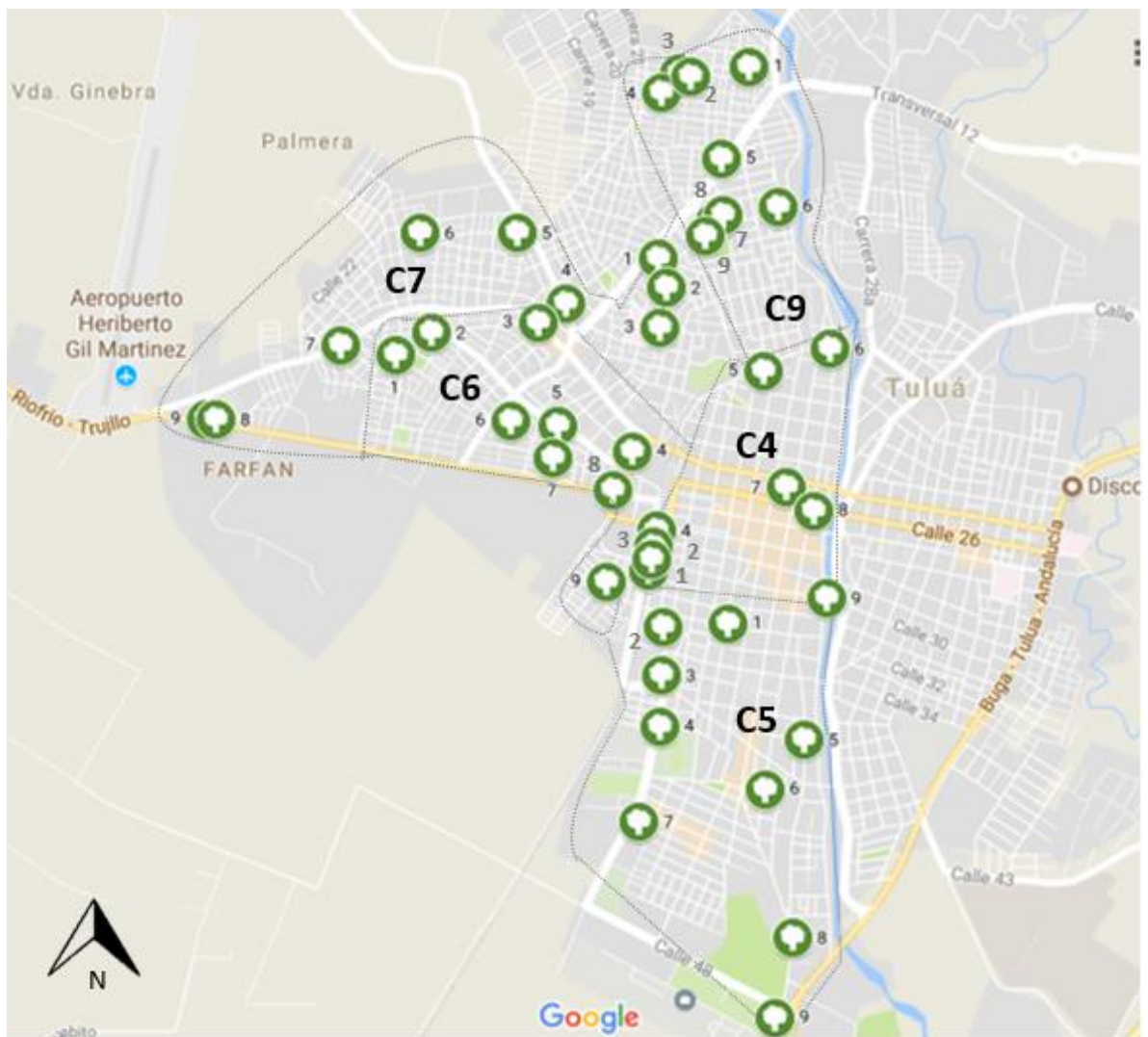


Fuente: Autoras.

Cada forófito seleccionado cumplió con los criterios descritos en la metodología, además se evitó seleccionar forófitos dentro de parques de gran área como el parque de la guadua y el cementerio los olivos para evitar muestreos en microambientes distintos y la única variación entre las diversas estaciones de muestreo sea la contaminación atmosférica.

A continuación, en la figura 4 se presenta la ubicación de los 45 forófitos donde se realizó el muestreo de líquenes:

Figura 4. Ubicación de los 45 forófitos donde se realizó el muestreo de líquenes.



Fuente: Autoras, modificado a través de Google Maps, 2017.

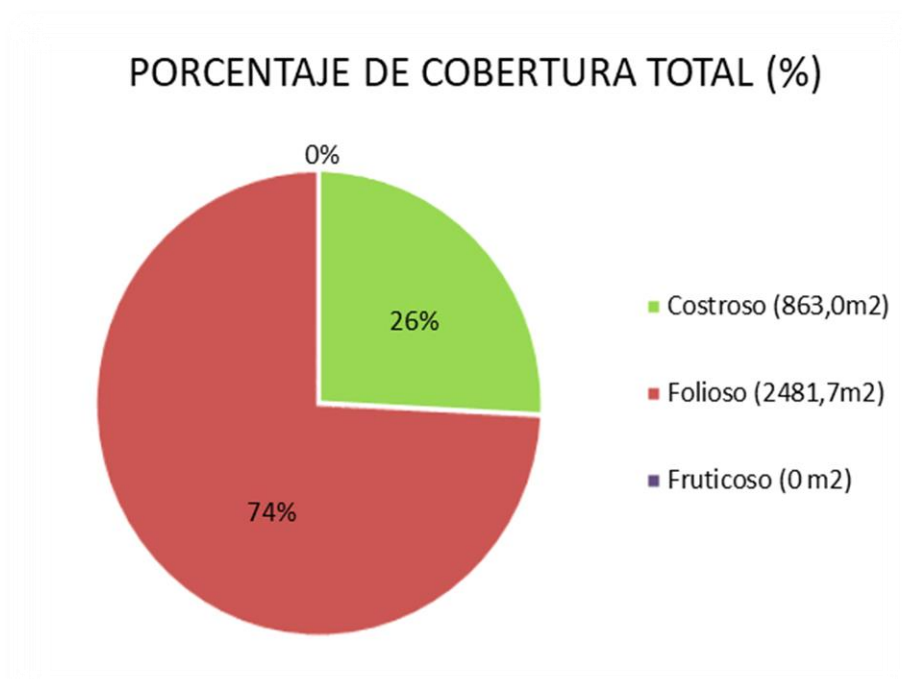


### 6.3. Frecuencia y cobertura liquénica

Se encontraron 29 especies (Anexo B) de líquenes en los 45 forófitos de las cinco comunas, de los cuales 17 fueron identificadas hasta especie, nueve hasta género y tres no fueron identificados debido a la ausencia de caracteres taxonómicos y la esterilidad de la muestra.

En cuanto a grupos morfológicos, el 74% pertenece a especies foliosas, el 26% corresponde a especies costrosas, y un 0 % de especies fruticosas (Gráfica 3).

Gráfica 3. Cobertura de las morfologías según el crecimiento del talo.



Fuente: Autoras.

Los géneros más representativos fueron *Physcia* con cinco especies, *Dirinaria* con cuatro especies y *Leptogium* con tres especies. Por otro lado, los géneros *Candelaria*, *Pyxine*, *Arthonia*, *Opegrapha*, *Hyperphyscia*, *Canomaculina*, *Stirtonia*, *Canoparmelia*, *Phaeophyscia*, *Parmotrema*, *Graphis*, *Caloplaca*, *Chrysothrix* y *Lecanora* presentaron una especie (Cuadro 15).

Las especies más frecuente fueron *Dirinaria applanata*, *Candelaria concolor*, *Pyxine cocoes*, *Arthonia* sp.1, *Physcia atrostriata*, presentes en las cinco

comunas de estudio, seguidas por *Parmotrema* sp.1 y *Physcia* sp.3 presentes en cuatro comunas (Cuadro 15).

Cuadro 15. Líquenes presentes en el área de estudio

GÉNERO	COMUNA CUATRO	COMUNA CINCO	COMUNA SEIS	COMUNA SIETE	COMUNA NUEVE
	Especies				
<i>Physcia</i>	<i>atrostriata</i> sp.3. <i>pachyphylla</i>	<i>Atrostriata</i>	<i>atrostriata</i> sp.3.	<i>atrostriata</i> sp.3.	<i>atrostriata</i> sp.3. <i>crispa</i> <i>tribacioides</i> <i>pachyphylla</i>
<i>Dirinaria</i>	<i>Applanata</i>	<i>applanata</i> <i>aspera</i>	<i>applanata</i> sp.4	<i>applanata</i> <i>aspera</i> sp.4	<i>applanata</i> <i>picta</i>
<i>Leptogium</i>	<i>Phyllocarpum</i>	<i>diaphanum</i>	-----	sp.1	sp.1
<i>Candelaria</i>	<i>Concolor</i>	<i>concolor</i>	<i>Concolor</i>	<i>concolor</i>	<i>Concolor</i>
<i>Pyxine</i>	<i>Cocoes</i>	<i>cocoes</i>	<i>Cocoes</i>	<i>Cocoes</i>	<i>Cocoes</i>
<i>Arthonia</i>	sp.1	sp.1	sp.1	sp.1	sp.1
<i>Opegrapha</i>	-----	sp.1	sp.1	-----	sp.1
<i>Hyperphyscia</i>	<i>Minor</i>	-----	<i>Minor</i>	-----	<i>Minor</i>
<i>Canomaculina</i>	sp.1	-----	-----	-----	-----
<i>Stirtonia</i>	sp.1	-----	-----	-----	sp.1
<i>Canoparmelia</i>	-----	-----	-----	-----	<i>Crozalsiana</i>
<i>Phaeophyscia</i>	-----	-----	<i>pusilloides</i>	<i>pusilloides</i>	<i>Pusilloides</i>
<i>Parmotrema</i>	-----	sp.1	sp.1	sp.1	sp.1
<i>Graphis</i>	-----	-----	-----	-----	sp.1
<i>Caloplaca</i>	-----	-----	-----	-----	<i>Citrina</i>
<i>Chrysothrix</i>	-----	-----	<i>candelaris</i>	<i>candelaris</i>	-----
<i>Lecanora</i>	<i>Argentata</i>	-----	-----	<i>argentata</i>	-----
Estéril	-----	-----	Estéril	Estéril	Estéril
No Determinado 1	-----	-----	-----	No Determinado 1	-----
No Determinado 2	-----	-----	-----	No Determinado 2	-----

Fuente: Autoras.

De las comunas de estudio, la que presentó mayor número de especies fue la Comuna nueve con 20, seguida por la Comuna siete con 16. La comuna cinco fue la que presentó menor cantidad de especies, con solamente nueve.

En cuanto a la cobertura, el área total muestreada fue de 5,400 cm<sup>2</sup>. Se observó que la Comuna nueve (935.70 cm<sup>2</sup>) y el Comuna cuatro (900.95 cm<sup>2</sup>) presentaron los mayores valores, mientras que la Comuna cinco (363.40 cm<sup>2</sup>) obtuvo el menor valor. La especie con la mayor cobertura fue *Physcia* sp. 3 (691.6 cm<sup>2</sup>) y las de menor cobertura fueron *Caloplaca citrina* y *Canomaculina* sp.1 (4 cm<sup>2</sup>).

De acuerdo a la gráfica 4, la comuna nueve (de Fondo) fue la que mayor cobertura (935.70 cm<sup>2</sup>) y diversidad liquénica presentó (20 especies). El tipo morfológico dominante para esta comuna fue el folioso, con la especie *Physcia* sp. 1.

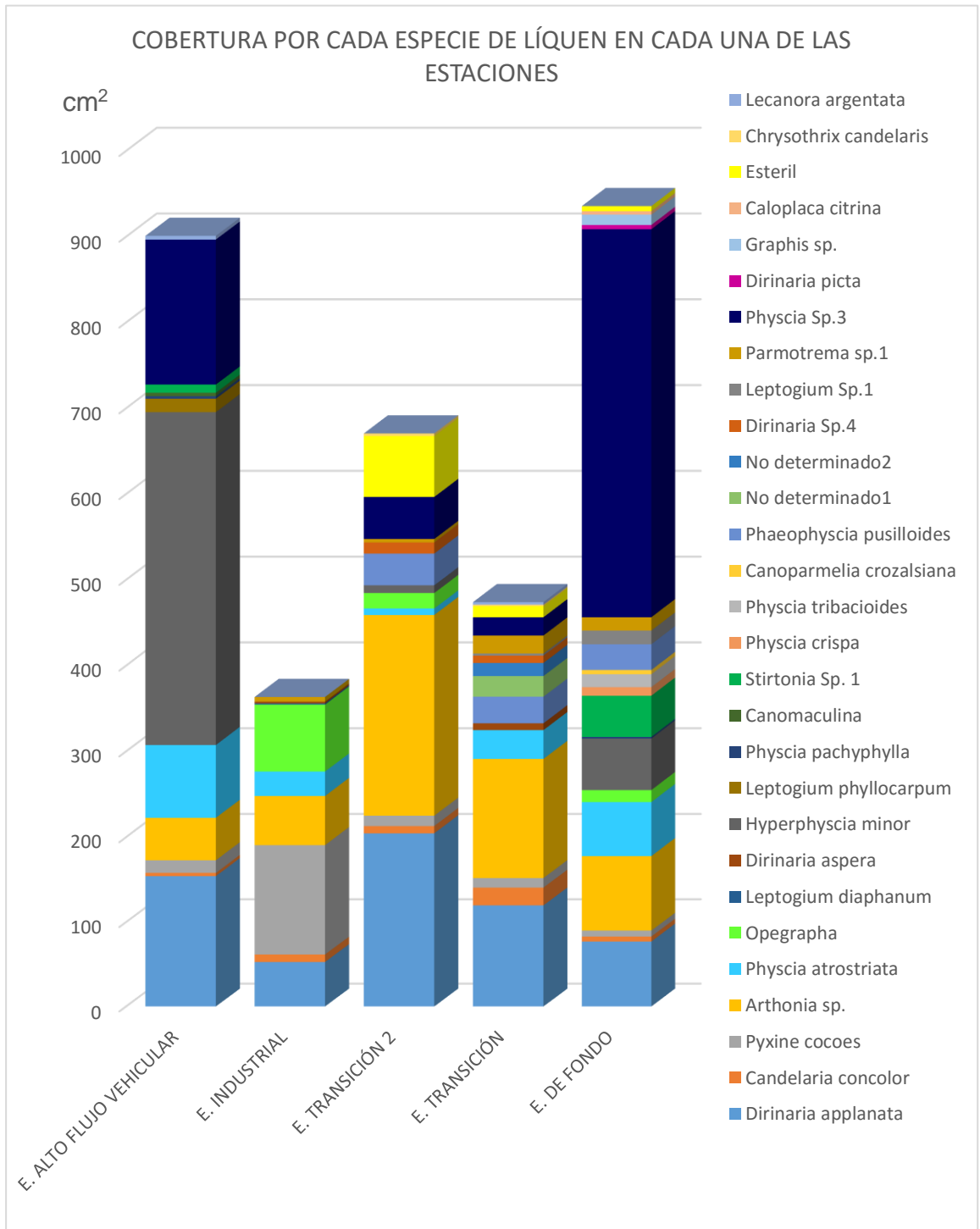
La comuna cuatro (alto flujo vehicular) a pesar de tener la segunda mayor cobertura de líquenes (900,95 cm<sup>2</sup>), presentó poca diversidad de especies (12). El tipo morfológico dominante para esta comuna fue el folioso, con la especie *Hyperphyscia minor*.

La comuna seis (transición 2) ocupó el tercer lugar en cuanto a cobertura (670,6 cm<sup>2</sup>) y diversidad de especies (13). El tipo morfológico dominante para esta comuna fue el costroso, con la especie *Arthonia* sp. 1.

La comuna siete (transición) obtuvo una de las más bajas coberturas liquénicas (470 cm<sup>2</sup>), pero a comparación de la comuna 6 presenta más diversidad de especies (16). El tipo morfológico dominante para esta comuna fue el costroso, con la especie *Arthonia* sp. 1.

Por último, la comuna cinco (industrial) fue la que presentó menor cobertura liquénica (363,4 cm<sup>2</sup>) y menor diversidad de especies (nueve). El tipo morfológico dominante para esta comuna fue el folioso, con la especie *Pyxine cocoes*.

Gráfica 4. Cobertura por cada especie de líquen en cada una de las estaciones.



Fuente: Autoras.

Teniendo en cuenta lo anterior, las cinco comunas estudiadas no presentaron grandes diferencias en la composición de líquenes, pero se puede distinguir que la Estación de fondo (comuna 9) fue la que obtuvo mayor diversidad

liquénica, debido a que esta estación presenta menos alteraciones antrópicas en el ambiente (menos flujo vehicular y ausencia de industria); contrario a esto, la estación industrial (comuna 5) es la que menos presenta diversidad liquénica, debido a que dicha estación se encuentra en una de las vías de ingreso a la ciudad, por lo tanto, tiene presencia de alto flujo vehicular y además, se encuentra ubicado el Parque Industrial y la Compañía Nacional de Levaduras “Levapan S.A.”, los cuales representan la industria Tulueña.

#### **6.4. Cálculo y comparación del IPA y FCA entre las comunas de estudio.**

El valor del factor de resistencia de la especie (Q) es uno de los parámetros que se tiene en cuenta para la obtención del IPA, el cual representa la tolerancia o sensibilidad de las especies frente a la contaminación, entre más alto sea el valor de Q mayor sensibilidad tienen las especies. Según lo anterior se obtuvo que la especie más tolerante fue *Leptogium diaphanum* (8.0), encontrándose únicamente en la Estación industrial (C5) y las especies más sensibles fueron *Physcia crista*, *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).

Con respecto a los valores del Índice de Pureza Atmosférica (IPA), en la estación Industrial se obtuvo un IPA de 14,5 indicando un nivel de contaminación alto, resultando una estación pobre en líquenes, seguido de la estación de alto flujo vehicular que obtuvo un IPA de 17,7; la estación de transición 2 con un IPA de 20,3; la estación de transición con un IPA de 30,7 y por último la estación de fondo con un IPA de 30,9 catalogándose estas cuatro estaciones como de contaminación media (Cuadro 16).

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede establecer que la Estación industrial es la que presenta mayor contaminación atmosférica debido a la presencia de industria y a la existencia de un alto flujo vehicular ya que se encuentra una de

las principales vías de acceso a la ciudad; sin embargo, los datos obtenidos de las demás estaciones no se encuentran muy alejados a este panorama. Por su parte, la Estación de fondo, a pesar de tener la mayor cobertura líquénica, diversidad y mayor composición de especies sensibles a la contaminación, no logró clasificar como una zona de baja contaminación, esto puede deberse a que toda la ciudad se encuentra influenciada por la intensidad del parque automotor. Así mismo, se observó pérdida de coloración en los líquenes presentes en la comuna cinco, seis y siete, y presencia de líquenes estériles en la comuna nueve, seis y siete. Esto se explica en otras investigaciones, donde indican que las estructuras reproductivas sexuales no se desarrollan en ambientes donde los líquenes están expuestos a contaminación<sup>88</sup>.

---

<sup>88</sup> COHN-BERGER y QUEZADA. Op.cit., p. 69

Cuadro 16. Valores del IPA, frecuencia, cobertura, especies acompañantes y factor de resistencia para las comunas de estudio.

ESTACIÓN INDUSTRIAL										
Género	Especie	Nº foróf.	Cob	E. F	E. Cob	Esp. acomp.	S <sub>spp acomp.</sub>	N <sub>est.</sub>	Qi	IPA
<i>Dirinaria</i>	<i>applanata</i>	7	8,8	2	2	8	65	5	13,0	1,4
<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	2	1,5	1	1	8	65	5	13,0	1,4
<i>Pyxine</i>	<i>cocoes</i>	9	21,5	3	2	8	65	5	13,0	2,2
<i>Arthonia</i>	<i>sp.1</i>	4	9,6	2	2	8	65	5	13,0	1,4
<i>Physcia</i>	<i>atrostriata</i>	5	4,8	2	1	8	65	5	13,0	2,9
<i>Parmotrema</i>	<i>sp.1</i>	1	0,9	1	1	8	54	4	13,5	1,5
<i>Opegrapha</i>	<i>sp.1</i>	4	13,0	2	2	8	39	3	13,0	1,4
<i>Dirinaria</i>	<i>aspera</i>	1	0,3	1	1	8	23	2	11,5	1,3
<i>Leptogium</i>	<i>diaphanum</i>	1	0,3	1	1	8	8	1	8,0	0,9
<b>Total especies : 9</b>		<b>34,0</b>	<b>60,6</b>	<b>15,0</b>	<b>13,0</b>					<b>14,5</b>
ESTACIÓN DE ALTO FLUJO VEHICULAR										
Género	Especie	Nº foróf.	Cob	E. F	E. Cob.	Esp. acomp.	S <sub>spp acomp.</sub>	N <sub>est.</sub>	Qi	IPA
<i>Dirinaria</i>	<i>applanata</i>	8	25,8	3	3	11	65	5	13,0	1,4
<i>Pyxine</i>	<i>cocoes</i>	6	2,5	2	1	11	65	5	13,0	2,9
<i>Arthonia</i>	<i>sp.1</i>	2	8,3	1	2	11	65	5	13,0	0,7
<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	8	0,6	1	1	11	65	5	13,0	1,4
<i>Physcia</i>	<i>atrostriata</i>	7	14,2	3	2	11	65	5	13,0	2,2
<i>Hyperphyscia</i>	<i>Minor</i>	2	64,7	2	4	11	42	3	14,0	0,8

<i>Lecanora</i>	<i>argentata</i>	3	0,7	1	1	11	26	2	13,0	1,4
<i>Leptogium</i>	<i>phyllocarpum</i>	1	2,6	1	1	11	11	1	11,0	1,2
<i>Physcia</i>	<i>pachyphylla</i>	1	0,5	1	1	11	30	2	15,0	1,7
<i>Physcia</i>	<i>sp.3</i>	5	28,2	2	3	11	57	4	14,3	1,1
<i>Canomaculina</i>	<i>sp.1</i>	2	0,7	1	1	11	11	1	11,0	1,2
<i>Stirtonia</i>	<i>sp.1</i>	1	1,6	1	1	11	30	2	15,0	1,7
<b>Total de especies: 12</b>		<b>46</b>	<b>150,2</b>	<b>19,0</b>	<b>21,0</b>					<b>17,7</b>
<b>ESTACIÓN DE FONDO</b>										
<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nº foróf.</b>	<b>Cob</b>	<b>E. F</b>	<b>E. Cob.</b>	<b>Esp. acomp.</b>	<b>S<sub>spp acomp.</sub></b>	<b>N<sub>est.</sub></b>	<b>Qi</b>	<b>IPA</b>
<i>Dirinaria</i>	<i>applanata</i>	8	12,8	2	2	19	65	5	13,0	1,4
<i>Physcia</i>	<i>sp.3</i>	8	75,4	4	5	19	57	4	14,3	1,3
<i>Physcia</i>	<i>atrostriata</i>	6	10,5	2	2	19	65	5	13,0	1,4
<i>Physcia</i>	<i>Crispa</i>	2	1,7	1	1	19	19	1	19,0	2,1
<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	6	1,0	1	1	19	65	5	13,0	1,4
<i>Physcia</i>	<i>tribacioides</i>	2	2,5	1	1	19	19	1	19,0	2,1
<i>Canoparmelia</i>	<i>crozalsiana</i>	1	0,8	1	1	19	19	1	19,0	2,1
<i>Phaeophyscia</i>	<i>pusilloides</i>	3	5,0	1	2	19	46	3	15,3	0,9
<i>Dirinaria</i>	<i>Picta</i>	1	0,8	1	1	19	19	1	19,0	2,1
<i>Graphis</i>	<i>sp.1</i>	2	2,0	1	1	19	19	1	19,0	2,1
<i>Physcia</i>	<i>pachyphylla</i>	1	0,3	1	1	19	30	2	15,0	1,7
<i>Hyperphyscia</i>	<i>Minor</i>	3	10,0	1	2	19	42	3	14,0	0,8
<i>Caloplaca</i>	<i>Citrina</i>	1	0,7	1	1	19	19	1	19,0	2,1
<i>Parmotrema</i>	<i>sp.1</i>	2	2,6	1	1	19	46	4	11,5	1,3
Estéril	<i>sp.1</i>	1	1,0	1	1	19	46	3	15,3	1,7



<i>Leptogium</i>	<i>sp.1</i>	1	2,7	1	1	19	34	2	17,0	1,9
<i>Opegrapha</i>	<i>sp.1</i>	1	2,3	1	1	19	39	3	13,0	1,4
<i>Arthonia</i>	<i>sp.1</i>	2	14,7	1	2	19	65	5	13,0	0,7
<i>Stirtonia</i>	<i>sp.1</i>	1	8,0	1	2	19	30	2	15,0	0,8
<i>Pyxine</i>	<i>cocoes</i>	1	1,2	1	1	19	65	5	13,0	1,4
<b>Total especies : 20</b>		<b>53,0</b>	<b>156,0</b>	<b>25,0</b>	<b>30,0</b>					<b>30,9</b>
<b>ESTACIÓN DE TRANSICIÓN</b>										
<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nº foróf.</b>	<b>C A</b>	<b>E. F</b>	<b>E. Cob.</b>	<b>Esp. acomp.</b>	<b>S spp acomp.</b>	<b>N est.</b>	<b>Qi</b>	<b>IPA</b>
<i>Arthonia</i>	<i>sp.1</i>	3	23,2	2	2	15	65	5	13,0	1,4
<i>Dirinaria</i>	<i>applanata</i>	9	20,0	2	2	15	65	5	13,0	1,4
<i>Parmotrema</i>	<i>sp.1</i>	4	3,5	2	1	15	54	4	13,5	3,0
<i>Chrysothrix</i>	<i>candelaris</i>	1	0,3	1	1	15	27	2	13,5	1,5
<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	6	3,5	2	1	15	65	5	13,0	2,9
<i>Physcia</i>	<i>sp.3</i>	4	3,6	2	1	15	57	4	14,3	3,2
<i>Physcia</i>	<i>atrostriata</i>	5	5,6	2	2	15	65	5	13,0	1,4
<i>Phaeophyscia</i>	<i>pusilloides</i>	1	5,2	1	2	15	46	3	15,3	0,9
<i>Lecanora</i>	<i>argentata</i>	2	0,5	1	1	15	26	2	13,0	1,4
<i>Pyxine</i>	<i>cocoes</i>	2	1,9	1	1	15	65	5	13,0	1,4
No determinado	1	2	4,0	1	1	15	15	1	15,0	1,7
<i>Dirinaria</i>	<i>sp.4</i>	3	1,4	2	1	15	27	2	13,5	3,0
No determinado	2	2	2,6	1	1	15	15	1	15,0	1,7
<i>Leptogium</i>	<i>sp.1</i>	2	0,4	1	1	15	34	2	17,0	1,9
Estéril	<i>sp.1</i>	1	2,2	1	1	15	46	3	15,3	1,7
<i>Dirinaria</i>	<i>aspera</i>	1	1,3	1	1	15	38	2	19,0	2,1

<b>Total especies : 16</b>		48	79,0	23,02	20,0					<b>30,7</b>
ESTACIÓN DE TRANSICIÓN 2										
Género	Especie	Nº foróf.	C. A.	E. F	E. Cob.	Esp. acomp.	S spp acomp.	N est.	Qi	IPA
<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	5	1,4	2	1	12	65	5	13,0	2,9
<i>Arthonia</i>	<i>sp.1</i>	5	39,0	3	3	12	65	5	13,0	1,4
<i>Hyperphyscia</i>	<i>minor</i>	1	1,5	1	1	12	42	3	14,0	1,6
<i>Dirinaria</i>	<i>applanata</i>	8	34,1	3	3	12	65	5	13,0	1,4
<i>Opegrapha</i>	<i>sp. 1</i>	2	3,0	1	1	12	39	3	13,0	1,4
<i>Pyxine</i>	<i>cocoes</i>	1	2,0	1	1	12	65	5	13,0	1,4
<i>Dirinaria</i>	<i>sp.4</i>	2	2,2	1	1	12	27	2	13,5	1,5
<i>Parmotrema</i>	<i>sp.1</i>	1	0,7	1	1	12	54	4	13,5	1,5
<i>Physcia</i>	<i>sp.3</i>	4	8,2	2	2	12	57	4	14,3	1,6
<i>Phaeophyscia</i>	<i>pusilloides</i>	4	6,2	2	2	12	46	3	15,3	1,7
<i>Physcia</i>	<i>atrostriata</i>	2	1,3	1	1	12	65	5	13,0	1,4
<i>Chrysothrix</i>	<i>candelaris</i>	1	0,5	1	1	12	27	2	13,5	1,5
Esteril	<i>sp. 1</i>	2	11,8	1	2	12	46	3	15,3	0,9
<b>Total de especies: 13</b>		38	111,8	<b>20,0</b>	<b>20,0</b>					<b>20,3</b>

Fuente: Autoras.

En relación a los valores del FCA obtenidos (entre 1.7 y 3.7), se pudo observar que en todas las comunas disminuyó el valor del IPA. Esta reducción se debe a que la abundancia de costrosos disminuye el FCA, al igual que la abundancia de foliosos pero en menor escala, ya que estas morfologías son comunes en zonas con algún tipo de contaminación o intervención y su efecto en la ecuación baja el valor del IPA<sup>89</sup>, Los valores obtenidos indicaron una escala muy baja; esto puede deberse, a que solamente se encontraron líquenes costrosos y líquenes foliosos representando un 26% y 74% respectivamente, clasificándolas como zona I – máxima contaminación (Desierto liquénico) (cuadro 17). Los líquenes fruticosos son los primeros en desaparecer de un ecosistema urbano como consecuencia de la contaminación atmosférica según estudios<sup>90</sup> , lo que se confirma con los datos obtenidos, ya que no se encontraron líquenes fruticosos.

Cuadro 17. Valores del FCA con base al IPA y los porcentajes de cobertura liquénica en base a una escala establecida de rangos.

Estación	Escalas			Suma	IPA		FCA	
	CMc	CMfo	CMfr					
Estación Industrial	7	4	1	12	14,5	Alta	1,7	Máxima contaminación
Estación de Alto Flujo Vehicular	9	2	1	12	17,7	Media	2,1	Máxima contaminación

<sup>89</sup> DÍAZ, D. Op. Cit., p. 82

<sup>90</sup> COHN-BERGER y QUEZADA. Op.cit., p. 68

Estación de Fondo	7	4	1	12	30,9	Media	3,7	Máxima contaminación
Estación de Transición	7	4	1	12	30,7	Media	3,7	Máxima contaminación
Estación de Transición 2	7	4	1	12	20,3	Media	2,4	Máxima contaminación

Fuente: Autoras.

### 6.5. Coeficiente de similitud de Jaccard y análisis clúster

El coeficiente de similitud de Jaccard, mostró que las comunas menos similares en cuanto a composición y abundancia de especies son la C4 (Alto flujo vehicular) y C5 (industrial) con valores bajos de similitud de 0,31, esto se debe a que comparten muy pocas especies (*Dirinaria applanata*, *Pyxine cocoes*, *Arthonia sp.1*, *Candelaria concolor* y *Physcia atrostriata*), seguidas de la C5 (industrial) y C9 (fondo) con valor de 0,32 y con seis especies compartidas (*Dirinaria applanata*, *Pyxine cocoes*, *Arthonia sp.1*, *Candelaria concolor*, *Physcia atrostriata* y *Opegrapha sp.1*); por último, la C4 (Alto flujo vehicular) y C7 (transición) con valor de 0,33 y siete especies compartidas (*Dirinaria applanata*, *Pyxine cocoes*, *Arthonia sp.1*, *Candelaria concolor*, *Physcia atrostriata*, *Lecanora argentata* y *Physcia sp.3*). De manera general la C4 presentó en promedio los valores de similitud más bajos (0,31; 0,33; 0,39 y 0,39) frente a las otras (Cuadro 18).

Contrario a esto, las comunas con mayor similitud fueron la C6 (Transición 2) y la C7 (Transición) con un valor de 0,61, compartiendo 11 especies (*Dirinaria*

*applanata*, *Pyxine cocoes*, *Arthonia sp.1*, *Candelaria concolor*, *Physcia atrostriata*, *Parmotrema sp.1*, *Dirinaria sp.4*, *Physcia sp.3*, *Phaeophyscia pusilloides*, *Chrysothrix candelaris* y Estéril sp.1), seguida de la C6 (Transición 2) y C9 (fondo) con un valor de 0,50 y 11 especies compartidas (*Dirinaria applanata*, *Pyxine cocoes*, *Arthonia sp.1*, *Candelaria concolor*, *Physcia atrostriata*, *Hyperphyscia minor*, *Opegrapha sp.1*, *Parmotrema sp.1*, *Physcia sp.3*, *Phaeophyscia pusilloides* y Estéril sp.1); por último, la C6 (Transición 2) y C5 (industrial) con un valor de 0,47 y siete de especies compartidas (*Dirinaria applanata*, *Pyxine cocoes*, *Arthonia sp.1*, *Candelaria concolor*, *Physcia atrostriata*, *Parmotrema sp.1* y *Opegrapha sp.1*).

Cuadro 18. Coeficiente de similitud de Jaccard.

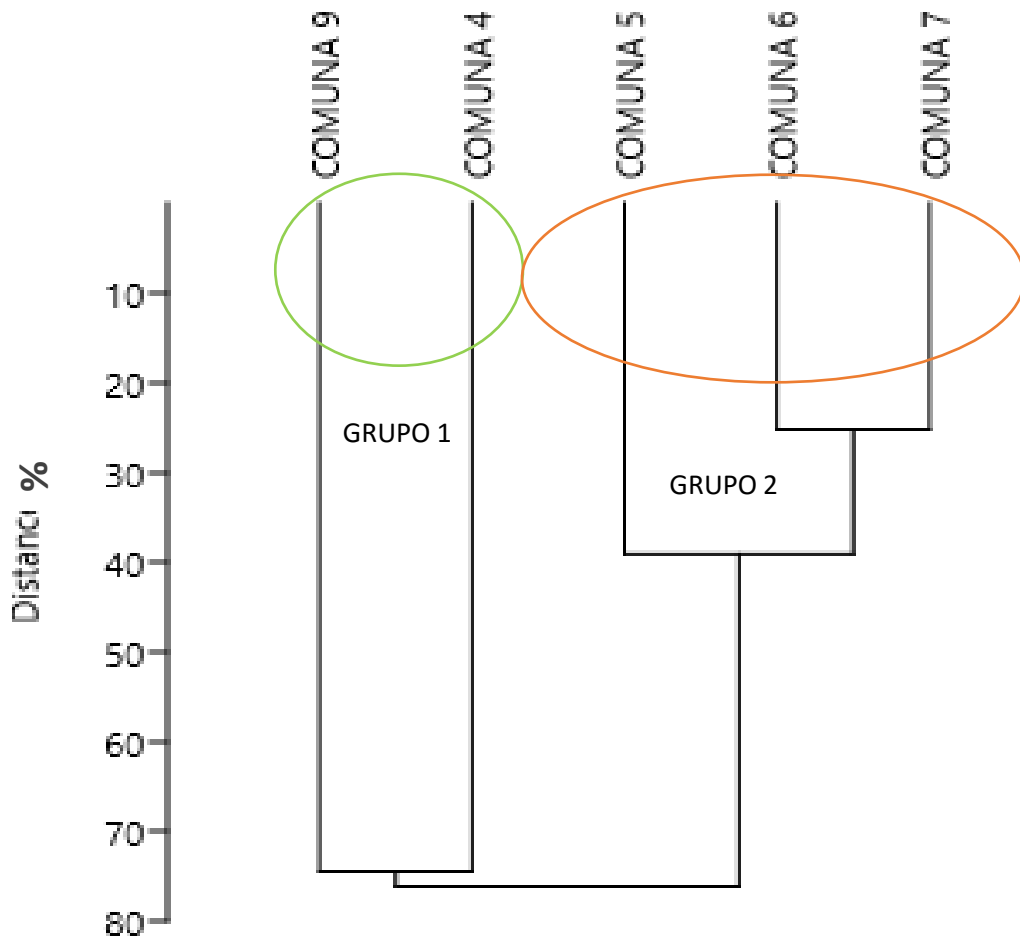
Comunas	Coeficiente de similitud	Comunas	Coeficiente de similitud
C4 y C5	0,31	C5 y C7	0,39
C4 y C6	0,39	C5 y C9	0,32
C4 y C7	0,33	C6 y C7	0,61
C4 y C9	0,39	C6 y C9	0,50
C5 y C6	0,47	C7 y C9	0,38

Fuente: Autoras.

Los datos obtenidos con el análisis Clúster fueron muy similares a los obtenidos con el índice de Jaccard (figura 5). Se puede comprobar que las comunas más distantes del resto son las comunas nueve y cuatro, ya que desde el inicio se incorporaron en un mismo grupo (mayor distancia). En ellas se encontraron 20 especies en la comuna nueve y 12 especies en la comuna cuatro, de las cuales dos eran únicas entre dichas comunas (*Stirtonia sp.1* y *Physcia pachyphylla*).

Por el contrario, las comunas más similares entre sí son las que menor distancia presentan, como es el caso de las comunas seis, siete y cinco, que formaron el segundo grupo. De ellas se puede decir que, se encontraron 13 especies de la comuna seis, 16 especies de la comuna siete y nueve especies de la comuna cinco, de las cuales tres fueron especies únicas (*Chrysothrix candelaris*, *Dirinaria aspera* y *Opegrapha sp.1*).

Figura 5. Dendrograma basado en el análisis clúster entre las cinco comunas.



Fuente: Autoras, a través de programa PAST versión 3.18b (2017).

De acuerdo a los resultados obtenidos en cuanto a composición de especies de líquenes, se puede observar poca diferencia o distancia entre las comunas de estudio, ya que la mayoría de comunas quedan a una distancia inferior a 40% del resto; sin embargo, la comuna nueve y cuatro tienden a separarse de las demás.

En el caso de la Estación de alto flujo vehicular (Comuna cuatro), fue la que menor similitud tiene referente a las demás, con valores de 0,31; 0,33; 0,39 y 0,39 en Jaccard y un porcentaje entre el 70 – 80% en Clúster, por lo que se puede suponer que dicha estación es la más alterada, pero según los índices anteriores (IPA y FCA), esta estación presenta la misma condición de

contaminación, aunque en composición no sea igual que las demás. Una posible razón sería que la intensidad del tráfico es mayor en esta comuna, pues en ella se encuentra el centro de ciudad, disminuyendo la diversidad de líquenes.

La Estación de fondo (Comuna nueve) le sigue en cuanto a baja similitud a la comuna cuatro según el dendrograma (entre el 70 – 80%), a diferencia de los resultados del coeficiente de Jaccard, donde presentó buena similitud con las demás comunas (0,32; 0,38; 0,39 y 0,50). Esta estación presenta la mayor diversidad y cobertura liquénica, ya que en ella se encuentra un bajo flujo vehicular en comparación de las otras comunas y tiene presencia de zonas verdes por toda el área. Sin embargo, al clasificar los valores del IPA y FCA (Mediana y máxima respectivamente) se encuentra en igualdad de condiciones que las demás estaciones en cuanto a contaminación atmosférica.

La Estación de transición que abarca las comunas seis y siete presentó bastante similitud, la cual se observa en el Índice de Jaccard (0,61), análisis de clúster (entre 20 y 30%) y el tipo morfológico dominante el cual fue costroso, con la especie *Arthonia* sp.1 para ambas comunas. La clasificación del IPA y el FCA para esta estación fue de mediana y máxima contaminación respectivamente, demostrando que se encuentran afectadas por igual contaminación atmosférica, la cual se debe a que en estas dos estaciones presentan un alto flujo vehicular por la presencia de la Calle 25 que es catalogada como una zona muy comercial y con gran cantidad de vías de acceso al Noroeste de la ciudad. Además, la comuna siete presentó baja cobertura liquénica en comparación de la comuna seis, ya que una parte del área de esta comuna se encuentra sin pavimentar aportando partículas suspendidas al aire.

La Estación industrial (Comuna cinco) le sigue a la estación de transición (Comuna seis y siete) en cuanto a una alta similitud de composición de especies (0,31; 0,32; 0,39 y 0,47) y un porcentaje entre el 30 – 40% en Clúster, sin embargo, presenta la menor cobertura y diversidad de líquenes, además según los valores del IPA y FCA se encontró en una clasificación de alta y

máxima contaminación respectivamente. Según lo anterior, esta estación es una de las más alteradas en comparación de las otras, ya que como se mencionó anteriormente presenta industria y existencia de un alto flujo vehicular pesado y liviano por encontrarse una de las principales vías de acceso a la ciudad.

Por lo tanto, se puede considerar que la comunidad liquénica en las comunas de estudio tienden a ser homogéneas, lo que puede explicarse por la poca diferencia entre los valores de IPA y FCA para las diferentes comunas.

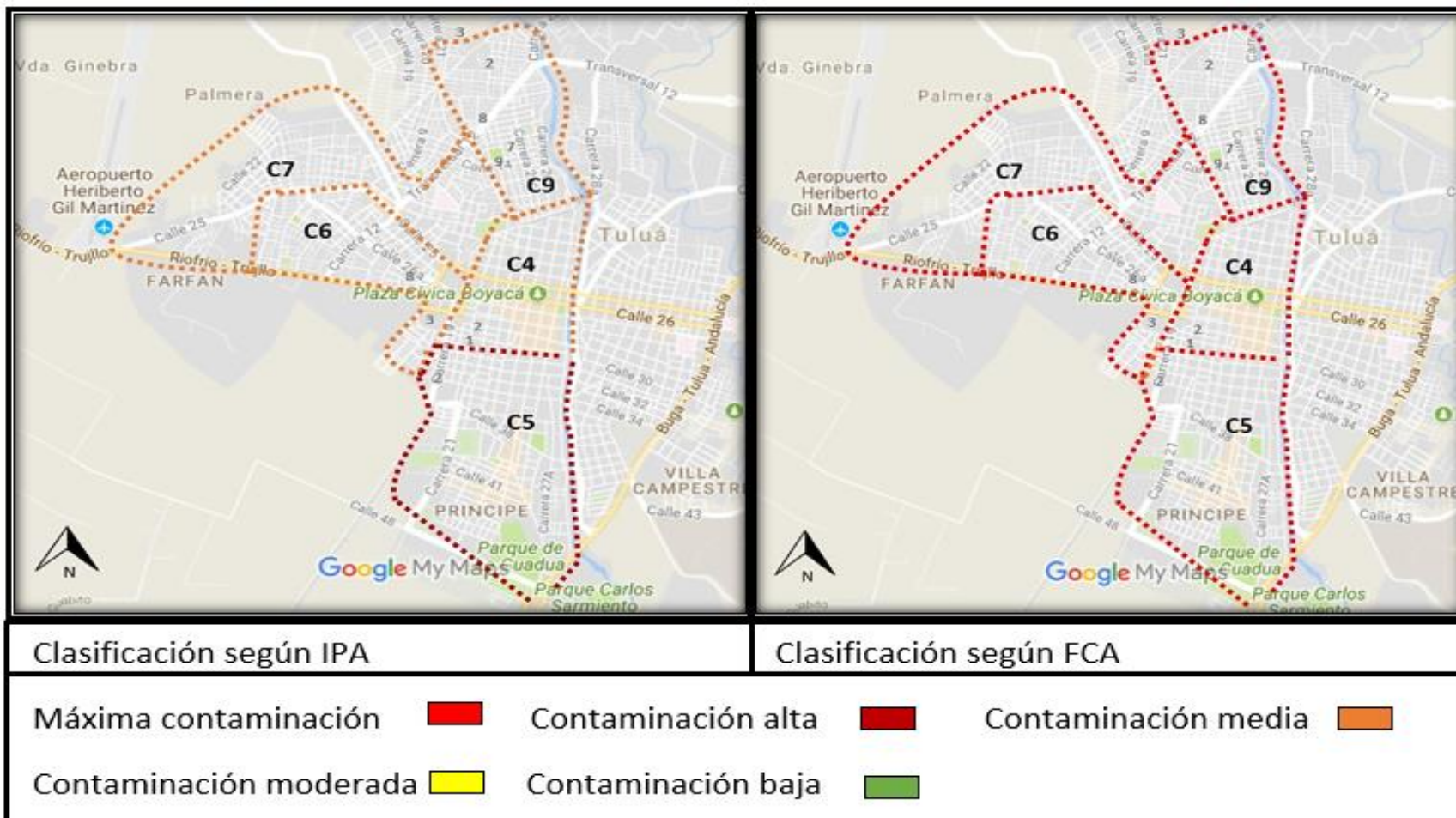
Este estudio determina, que las comunas estudiadas se encuentran entre pobres en líquenes y desierto liquénico, ya que presentan zonas muy transitadas, tales como vías principales, áreas comerciales y áreas residenciales, y a pesar de que se incluyeron puntos de muestreo en parques municipales y zonas verdes se puede observar que éstos se ven afectados por el tránsito vehicular intenso a su alrededor.

#### **6.6. Categorización de la calidad el aire de cada una de las comunas a partir del IPA y el FCA.**

Se categorizaron las cinco comunas de estudio como ya se mencionó anteriormente, encontrando según el IPA que la comuna cinco clasificó en contaminación alta (14,5) y en clasificación media la comuna cuatro (17,7), comuna seis (20,3), comuna siete (30,7) y comuna nueve (30,9). Para la categorización de FCA se obtuvo una clasificación para todas las comunas de máxima contaminación (Figura 6).



Figura 6. Categorización de las comunas de estudio según el IPA y FCA.



Fuente: Autoras.

## 7. 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 líquénica se presenta.

La cobertura líquénica disminuyó significativamente sus valores desde un 935.70 cm<sup>2</sup> (Estación de fondo) hasta un 363.40 cm<sup>2</sup> (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 líquénica 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.

## 8. RECOMENDACIONES

Para la selección del forófito se debe tener en cuenta su follaje, es decir, no deben pertenecer a formaciones arbóreas excesivamente cerradas ya que no permiten una buena distribución de la radiación solar y humedad en el tronco disminuyendo el crecimiento de líquenes.

Para determinar el nivel de contaminación del aire se recomienda aplicar el índice de pureza atmosférica compuesto por las variables de cobertura, frecuencia y especies acompañantes por los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que el índice de pureza atmosférica que contempla solo la frecuencia, tiene tendencia a aumentar este índice considerablemente por la alta presencia de especies resistentes que han desplazado a las más sensibles.

Es recomendable replicar el presente estudio, utilizando áreas de muestreo más pequeñas, por ejemplo, en barrios, de esta manera obtener mayor precisión en los índices. De igual manera se recomienda realizar este estudio en la zona rural del municipio o en una zona poco afectada ambientalmente y comparar su nivel de contaminación con los obtenidos en la zona urbana.

La escala estandarizada del Índice de Pureza Atmosférica y el Factor de Clasificación Ambiental puede ser ajustada por los investigadores, para realizarlo se recomienda ampliar los estudios en el municipio de tal manera que los rangos se ajusten a las condiciones del lugar.

Los datos obtenidos en el presente estudio, no muestran el contaminante causal de disminución de líquenes, se recomienda realizar estudios a través de pruebas en laboratorio, para determinar cuáles contaminantes atmosféricos y en que concentración están afectando los líquenes del municipio y relacionarlos con los resultados obtenidos del Índice de Pureza Atmosférica y el Factor de Clasificación Ambiental.

## 9. REFERENCIAS

ALCALDIA DE TULUÁ. Datos geográficos y poblacional, (2015). Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.tulua.gov.co/datosgeograficospoblacional/>>.

------. “Usos del suelo Urbano y de Expansión”, (2015). Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <[http://www.tulua.gov.co/plan-ordenamiento-territorial/?drawer=POT\\*Fichas](http://www.tulua.gov.co/plan-ordenamiento-territorial/?drawer=POT*Fichas)>.

------. Mapa perímetro urbano de Tuluá, (2015). Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<https://www.tulua.gov.co/mapa-perimetro-urbano/>>.

ARIAS, S., y DAZA, E. (2009). Propuesta metodológica para correlacionar la calidad del aire y las enfermedades respiratorias en un municipio intermedio colombiano: Caso de Tuluá Valle del Cauca. Revisión [En línea]. Disponible en Internet:<[http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/871/1/Propuesta\\_Enfermedades\\_Cauca\\_Arias\\_2009.pdf](http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/871/1/Propuesta_Enfermedades_Cauca_Arias_2009.pdf)>.

BARRENO, E., y PÉREZ-ORTEGA, S. (2003). Los líquenes y el medio. consejería de medio ambiente ordenación del territorio e infraestructuras del principado de Asturias, 83–112. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <[http://www.uv.es/barreno/Medio\\_y\\_bioindicadores.pdf](http://www.uv.es/barreno/Medio_y_bioindicadores.pdf)>.

------. Capítulo 5 (2003). Biología de los líquenes. consejería de medio ambiente ordenación del territorio e infraestructuras del principado de Asturias, 83–112. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <[https://www.uv.es/barreno/Biologia\\_de\\_los\\_liquenes.pdf](https://www.uv.es/barreno/Biologia_de_los_liquenes.pdf)>.

------. Capítulo 9 (2003). Claves para la identificación de los géneros. consejería de medio ambiente ordenación del territorio e infraestructuras del principado de Asturias, 83–112. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <[https://www.uv.es/barreno/Clave\\_de\\_generos\\_y\\_especies.pdf](https://www.uv.es/barreno/Clave_de_generos_y_especies.pdf)>.

BEDOYA, Julián, MARTINEZ, Elkin. (2008). "Calidad del aire en el valle de Aburrá A- Colombia". Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n158/a01v76n158.pdf>>.

CABALLERO, Cecilia. INTEMPERISMO. Revisión [En Línea]. Disponible en internet:<<http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/cursos/34b-Intemperism.pdf>>

CAMPOS-S., L.V., J. URIBE-M. & J. AGUIRRE-C. Santa María, Líquenes, Hepáticas y Musgos. Serie de guías de campo del Instituto de Ciencias Naturales No. 3. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D. C., Colombia. 144 p.

CANSECO, Angela, ANZE, Rafael, y FRANKEN, Margot. (2006). "Comunidades de Líquenes: Indicadores de La Calidad Del Aire En La Ciudad de La Paz, Bolivia" 3 (2). Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.ucbcba.edu.bo/Publicaciones/revistas/actanova/documentos/v3n2/v3.n2.Canseco.pdf>>.

CLEAN AIR INSTITUTE. La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica. Washington D.C. 2013. 2p.

COHN-BERGER, G., & QUEZADA, M. (2016). Líquenes como bioindicadores de contaminación aérea en el corredor metropolitano de la ciudad de Guatemala. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5607516>>.

CONCEJO MUNICIPAL TULUÁ. Acuerdo No. 17. (2015). "Por el cual se adopta la revisión y ajuste del plan de ordenamiento territorial – POT del municipio de Tuluá. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.tulua.gov.co/planes-y-programas/>>.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. (2011). Estudio de calidad de aire del Valle del Cauca utilizando muestreadores pasivos. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<https://sites.google.com/site/cvccalidadaire/estudios-y-proyectos>>.

CUESTA, H. V., y MOSQUERA-PALACIOS, Y. (2014). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Quibdó, Chocó, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<https://doi.org/10.18636/BIONEOTROPICAL.V4I1.178.G106>>.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE, DAGMA. “Sistema de vigilancia de calidad de aire para el municipio de Santiago de Cali” Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://grupogesp.org/joomla/docs/svigilancia.pdf>>.

DENISON, W. (1973). A guide to air quality monitoring with lichens. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://gis.nacse.org/lichenair/doc/Denison.pdf>>.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2017). “Los costos en la salud asociados a la degradación ambiental en Colombia ascienden a \$20,7 billones”. Revisión [En línea]. Disponible en: <[https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-\\$20,7-billones-.aspx](https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-$20,7-billones-.aspx)>.

DÍAZ, D. (2012). Líquenes cortícolas como indicadores ambientales en los alrededores de la mina de azufre el vinagre (cauca). Trabajo de Grado (Biólogo). Universidad del Valle, sede Santiago de Cali. Facultad de ciencias naturales. Programa académico de biología.

EL COLOMBIANO, “Mala calidad del aire mató 4,2 millones de personas en el mundo: estudio” (2017). Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.elcolombiano.com/medio-ambiente/muertes-por-contaminacion-del-aire-enelmundo-FK5936531>>.

FIGUEROA, E., y MÉNDEZ, A. (2015). Evaluación de la calidad del aire en 8 zonas de la ciudad de Bogotá utilizando los líquenes como bioindicadores, *XXXIII(2)*, 81–87. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>>.

FRANCO R., Juan Felipe. “Contaminación atmosférica en centros urbanos. desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá”. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.scielo.org.co/pdf/ean/n72/n72a13.pdf>>.

GAITÁN, Mauricio, CANCINO, Juliana, BEHRENTZ, Eduardo (2007). “Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá”. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n26/n26a11.pdf>>.

HAWKSWORTH, D. L., ITURRIAGA, T., y CRESPO, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <[http://www.academia.edu/9695826/L%C3%ADquenes\\_como\\_bioindicadores\\_inmediatos\\_de\\_contaminaci%C3%B3n\\_y\\_cambios\\_medioambientales\\_en\\_los\\_tr%C3%B3picos](http://www.academia.edu/9695826/L%C3%ADquenes_como_bioindicadores_inmediatos_de_contaminaci%C3%B3n_y_cambios_medioambientales_en_los_tr%C3%B3picos)>.

IDEAM, Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007-2010 Bogotá, D.C., 2012.

-----, Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011-2015 Bogotá, D.C., 2016.

KÄFFER, M. I., MARTINS, S. M. D. A., ALVES, C., PEREIRA, V. C., FACHEL, J., & VARGAS, V. M. F. (2011). Corticolous lichens as environmental indicators in urban areas in southern Brazil. *Ecological Indicators*, 11(5), 1319–1332. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.02.006>>.

LIJTEROFF, R., Lima, L., y PRIERI, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(2), 111–120. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992009000200006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000200006)>.



MANRIQUE REOL, E. (1989). Aplicación de técnicas analíticas e interpretación de las variaciones químicas en líquenes. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <[http://www.rjb.csic.es/jardinbotanico/ficheros/documentos/pdf/anales/1989/Anales\\_46\(1\)\\_249\\_257.pdf](http://www.rjb.csic.es/jardinbotanico/ficheros/documentos/pdf/anales/1989/Anales_46(1)_249_257.pdf)>.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (2015), América Latina y El Caribe reafirman su compromiso para mejorar la calidad del aire. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/122noticias-minambiente/1970-americalatina-y-el-caribe-reafirman-su-compromisopara-mejorar-la-calidad-del-aire>>.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN (2012), El 74% de la población colombiana habita en zonas urbanas. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/w3-article-300919.html>>.

NEUROHR, E. (2010). Líquenes como bioindicadores de la contaminación atmosférica en la zona urbana de San José, 1–47. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.uned.ac.cr/ecologiaurbana/?p=424>>.

ODUM, Eugene P. Ecología Tercera Edición. México: Interamericana. 1972. 159 p.

OYARZÚN, Manuel. "Contaminación aérea y sus efectos en la salud". Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.scielo.cl/pdf/rcher/v26n1/art04.pdf>>.

RAMÍREZ MORÁN, A. N. (2009). Evaluación de las comunidades liquenicas en dos bosques con diferente historia de uso, de la reserva biológica "Encenillo" Colombia. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8586/tesis547.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

REVISTA SEMANA SOSTENIBLE. (2016) "Baja calidad del aire ocasionaría 5.000 muertes en Colombia". Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/calidad-del-aire-en-colombia-ocasionaria-5000-muertes/36540>>.

RINCON, J. (2012). Liqueenes como bioindicadores en el monitoreo de la calidad del aire, 65. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<http://repositorio.uis.edu.co/jsp/ui/bitstream/123456789/7011/2/145091.pdf>>.

RIQUELME, F. S. (2008). Evaluación del uso de líquenes como indicadores biológicos de contaminación atmosférica en la quebrada de la plata, región metropolitana. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <[http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/riquelme\\_f/sources/riquelme\\_f.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/riquelme_f/sources/riquelme_f.pdf)>.

RIVERA, E. (2008). Estudio de líquenes como indicadores de los niveles de contaminación en el pueblo de guayama, Puerto Rico. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <[ut.suagm.edu/sites/default/files/...Estudios...06/.../4\\_Rivera\\_E\\_Tesis\\_UT\\_2008.pdf](http://ut.suagm.edu/sites/default/files/...Estudios...06/.../4_Rivera_E_Tesis_UT_2008.pdf)>.

ROMERO, Manuel, DIEGO, Francisca, ALVAREZ, Mireya, (2006). “La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud”. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.redalyc.org/pdf/2232/223214848008.pdf>>.

RUBIANO, L. J. (1987). Delimitación de áreas de isocontaminación en Cali y Medellín utilizando líquenes como bioindicadores. *Perez-Arbelaezia*, 1(4-5), 7-4.

-----, y CHAPARRO DE VALENCIA, M. (2006). Delimitación de áreas de isocontaminación atmosférica en el campus de la universidad nacional de Colombia mediante el análisis de bioindicadores (líquenes epifitos). Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s0120548x2006000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0120548x2006000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)>.

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES DE MÉXICO, (2013). “Calidad del aire: una práctica de vida”. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>>.

SEGURA, S. (2013). Caracterización de la contaminación atmosférica en seis parques recreacionales del distrito metropolitano de quito mediante el uso de

bioindicadores. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/678/1/T-UCE-0012-145.pdf>>.

SIMIJACA SALCEDO, D. (2015). Alcances y desafíos del uso de líquenes como indicadores de la calidad del aire en Colombia. Revisión [En línea]. Disponible en Internet: <<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1255.7845>>.

-----, VARGAS ROJAS, Lucia D y MORALES PUENTES, Eugenia. Uso de organismos vegetales no vasculares como indicadores de contaminación atmosférica urbana (Tunja, Boyacá, Colombia). Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<http://www.redalyc.org/pdf/3190/319030502010.pdf>>.

SIPMAN H, (2005). Clave de identificación y guía de literatura para los géneros de hongos liquenizados (líquenes) en el neotrópico. Revisión [En Línea]. Disponible en internet :<<http://www.bgbm.fu-berlin.de/sipman/keys/neokeya.htm#primary>>.

SOTO MEDINA, E., y BOLAÑOS R., A. C. (2010). Diversidad de líquenes cortícolas en el bosque subandino de la finca Zíngara (Cali, Valle del Cauca). Revista de Ciencias, 14(12), 35–44. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <[https://www.researchgate.net/publication/259082266\\_Diversidad\\_de\\_Liquenes\\_Corticolas\\_en\\_el\\_Bosque\\_Premontano\\_de\\_la\\_Finca\\_Zingara\\_Cali\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/259082266_Diversidad_de_Liquenes_Corticolas_en_el_Bosque_Premontano_de_la_Finca_Zingara_Cali_Colombia)>.

TULUASEO (sin publicar). Proyecto censo arbóreo del municipio de Tuluá, Valle del Cauca. Base de datos 2016.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA. El rol de los líquenes en el ecosistema. Revisión [En Línea]. Disponible en internet: <<http://www.efn.uncor.edu/departamentos/divbioeco/divveg1/micologia/clases%20micologia%202013/liquenes%202.pdf>>

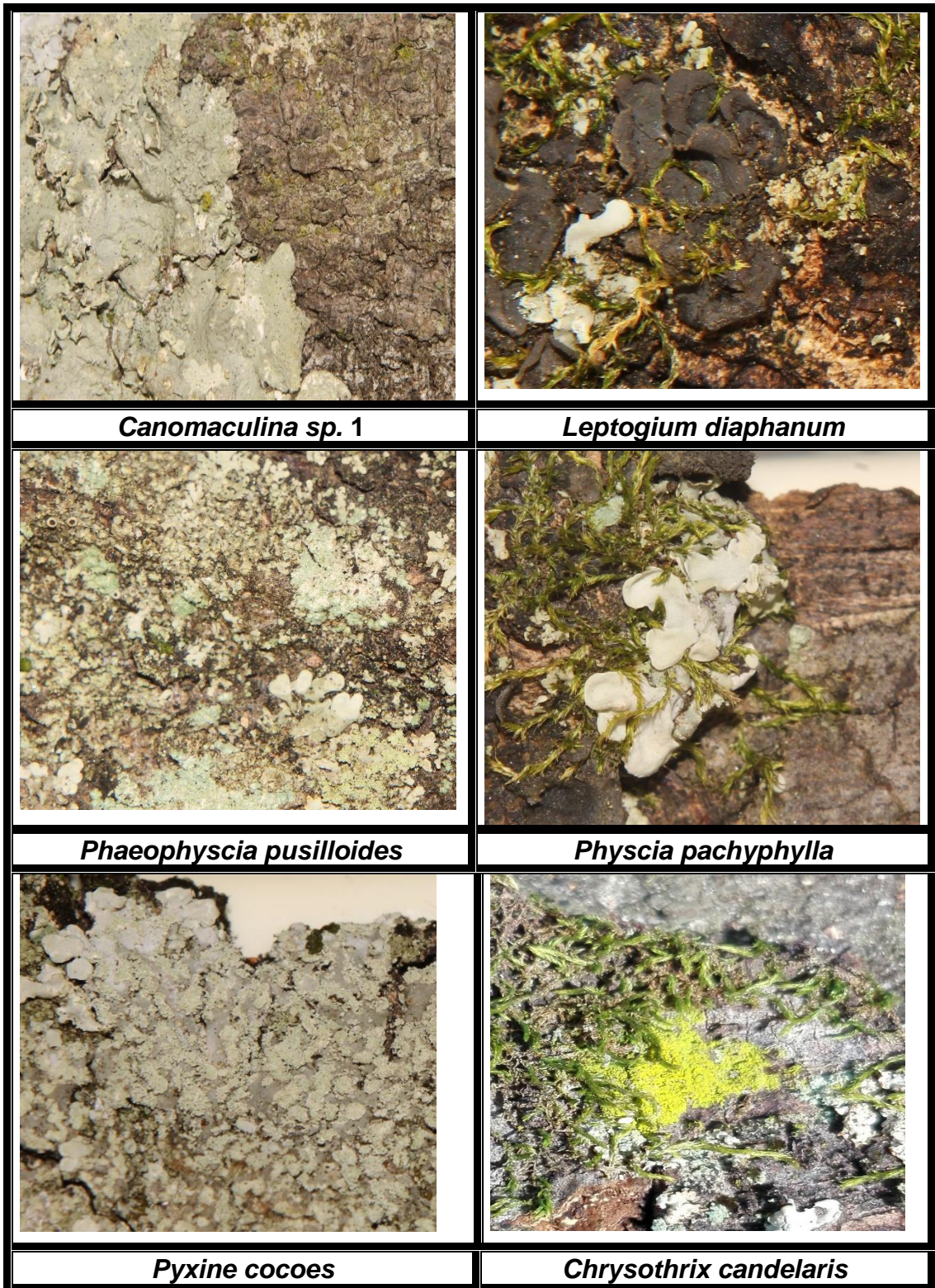
UNIVERSITY COLLEGE LONDON – UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. (2013). “Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia”. Revisión [En línea]. Disponible en: <<https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wpcontent/up>>

loads/Caracterizaci3%B3ndelacontaminaci3%B3natmosf%C3%A9rica-en-Colombia.pdf>.

WILL-WOLF, S., APTROOT A., CHAVES, J., LÜCKING, R., SIPMAN, H., y UMAÑA-TENORIO, L. (sin publicar). A first assessment of the Ticolichen biodiversity inventory in Costa Rica: The family Physciaceae (Lecanorales), excluding Buellia s.lat. and Rinodina. P. 1-6.

## ANEXOS

### Anexo A. Registro fotográfico.





***Dirinaria applanata***



**Apotecios**

Fuente: Autoras.

Anexo B. Recolección de datos en los sitios de muestreo.

Estación	N. comuna	N. forófito	DAP del forófito (cm)	Número de identificación (coordenadas)	Especie (forófito)	Especie liquen	Daño observación	MORFOLOGÍA DEL LÍQUEN				
								Costroso	Folioso	Fruticoso	Otro	Cobertura cm <sup>2</sup>
E. Industrial	5	9	59	4.0640388429, -76.19765952	Acacia Rubinea	<i>Dirinaria applanata</i>		x			19	
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo			x	2	
						<i>Pyxine cocoes</i>		x			34,6	
						<i>Arthonia sp.1</i>	x				5	
E. Industrial	5	8	91	4,0673500299, -76.19692325	Acacia Rubinea	<i>Dirinaria applanata</i>		x			7	
						<i>Pyxine cocoes</i>	con presencia de manchas		x			7
						<i>Pyxine cocoes</i>			x			2,6
E. Industrial	5	7	102	4.0719855576,-76.20297633	Acacia Rubinea	<i>Dirinaria applanata</i>		x			5	
						<i>Physcia atrostriata</i>		x			4	
						<i>Parmotrema sp.1</i>		x			5,4	
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x	6,9
U s	5	6	83	4.073446691,-	Acacia	<i>Pyxine cocoes</i>		x			57	

				76.19803369	Rubinea	<i>Physcia atrostriata</i>		x		6,3
						<i>Pyxine cocoes</i>		x		1,3
						<i>Opegrapha</i>	x			2
E. Industrial	5	5	125	4.0754422545,- 76.19644582	Acacia Rubinea	<i>Leptogium diaphanum</i>		x		1,5
						<i>Pyxine cocoes</i>		x		11,6
						<i>Dirinaria applanata</i>		x		1
						<i>Physcia atrostriata</i>		x		5,4
						<i>Arthonia sp.1</i>	x			38
E. Industrial	5	4	173	4.0760055184,- 76.20233662	Acacia Rubinea	<i>Dirinaria applanata</i>		x		4
						<i>Physcia atrostriata</i>		x		7,5
						<i>Pyxine cocoes</i>		x		1
						<i>Arthonia sp.1</i>	x			10
E. Industrial	5	3	207	4.0786877274,- 76.20214551	Acacia Rubinea	<i>Arthonia sp.1</i>	x			4,3
						<i>Opegrapha</i>	x			6
						<i>Pyxine cocoes</i>		x		11
						<i>Dirinaria applanata</i>		x		8,3
E. Industrial	5	2	182	4.0801106393,- 76.2021777	Acacia Rubinea	<i>Pyxine cocoes</i>		x		3
						<i>Dirinaria applanata</i>		x		8,4
						<i>Opegrapha</i>	x			15
E. Industrial	5	1	229	4.0802192687,- 76.19955182	Acacia Rubinea	<i>Opegrapha</i>	x			55
						<i>Physcia atrostriata</i>		x		5,3
						<i>Dirinaria aspera</i>		x		2
p j o	4	9	122	4.0812398493,-	Acacia	<i>Dirinaria applanata</i>		x		47



				76.19549766	Rubinea	<i>Pyxine cocoes</i>			x			5
						<i>Arthonia sp.1</i>		x				13,5
E. Alto Flujo Vehicular	4	8	145	4.0848380327,- 76.19605287	Acacia Rubinea	<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x	1
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			3,5
						<i>Pyxine cocoes</i>			x			0,3
						<i>Phyiscia atrostriata</i>			x			2
E. Alto Flujo Vehicular	4	7	122	4.0858103334,- 76,19716465	Acacia Rubinea	<i>Dirinaria applanata</i>			x			4
						<i>Phyiscia atrostriata</i>			x			14,6
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x	0,6
						<i>Hyperphyiscia minor</i>						360
E. Alto Flujo Vehicular	4	6	157	4.0914711356,- 76.19540646	Acacia Rubinea	<i>Phyiscia atrostriata</i>			x			8,3
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x	0,3
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			59
						<i>Pyxine cocoes</i>			x			6
						<i>Lecanora argentata</i>		x				0,3
o	4	5	273	4.0906034409,-	Acacia	<i>Leptogium</i>			x			15,6

				76.1980766	Rubinea	<i>phyllocarpum</i>							
						<i>Dirinaria applanata</i>			x				17
						<i>Hyperphyscia minor</i>			x				28
						<i>Physcia pachyphylla</i>			x				3
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x		0,4
						<i>Physcia sp.3</i>			x				43
E. Alto Flujo Vehicular	4	1	43	4.0824025869,- 76.20277583	Acacia Rubinea	<i>Canomaculina</i>			x				3
						<i>Physcia sp.3</i>			x				43
						<i>Stirtonia sp. 1</i>		x					9,6
						<i>Physcia atrostriata</i>			x				10
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x		0,3
E. Alto Flujo Vehicular	4	2	57	4.0832501649,- 76.20263904	Acacia Rubinea	<i>Lecanora argentata</i>		x					2
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x		0,1
						<i>Dirinaria applanata</i>			x				14
						<i>Physcia atrostriata</i>			x				12
						<i>Physcia sp.3</i>			x				61
						<i>Pyxine cocoes</i>			x				0,5
						<i>Canomaculina</i>			x				1
						<i>Pyxine cocoes</i>			x				2
5 J O	4	3	64	4.0833494067,-	Acacia	<i>Candelaria</i>	Escomulo				x		0,05

				76.20261222	Rubinea	<i>concolor</i>							
						<i>Physcia sp.3</i>			x				20
						<i>Dirinaria applanata</i>			x				3
						<i>Physcia atrostriata</i>			x				28
						<i>Lecanora argentata</i>		x					2
						<i>Pyxine cocoes</i>			x				1
E. Alto Flujo Vehicular	4	4	95	4.0840186178,- 76.20248749	Acacia Rubinea	<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x		1
						<i>Physcia atrostriata</i>			x			10	
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			7	
						<i>Physcia sp.3</i>			x			2	
						<i>Arthonia sp.1</i>		x				36	
E. de Fondo	9	1	65	4,10308107730 - 76,19862243000	Acacia Rubinea	<i>Dirinaria applanata</i>			x				10
						<i>Physcia sp.3</i>			x			2,3	
						<i>Physcia atrostriata</i>			x			8	
						<i>Physcia crispa</i>			x			4	
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x		3,6
						<i>Physcia tribacioides</i>			x			4	
						<i>Canoparmelia crozalsiana</i>			x			5	

E. de Fondo	9	2	82	4,10266399380 - 76,20109677000	Acacia Rubinea	<i>Dirinaria applanata</i>			x			10
						<i>Physcia sp.3</i>			x			53
						<i>Physcia atrostriata</i>			x			1
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x	0,6
						<i>Phaeophyscia pusilloides</i>			x			24
						<i>Dirinaria picta</i>			x			5
						<i>Graphis sp.</i>		x				5
E. de Fondo	9	3	77	4,10277798770 - 76,20154470000	Acacia Rubinea	<i>Physcia pachyphylla</i>			x			2
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			5
						<i>Physcia sp.3</i>			x			2
						<i>Physcia crispera</i>			x			6
						<i>Hyperphyscia minor</i>			x			43
						<i>Caloplaca citrina</i>					x	4
E. de Fondo	9	4	207	4,10198003050 - 76,20223268000	Acacia Rubinea	<i>Dirinaria applanata</i>			x			2
						<i>Physcia sp.3</i>			x			3
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x	0,1
						<i>Hyperphyscia minor</i>			x			16
						<i>Physcia atrostriata</i>			x			4

E. de Fondo	9	5	109	4,09931701600 - 76,19980118000	Acacia Rubinea	<i>Parmotrema sp.1</i>			x			1,5
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x	1
						<i>Graphis sp.</i>		x				7
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			2
						<i>Phaeophyscia pusilloides</i>			x			4
						<i>Physcia sp.3</i>			x			173
E. de Fondo	9	6	341	4,09734383220 - 76,19752943000	Acacia Rubinea	<i>Parmotrema sp.1</i>			x			14
						Estéril		X				6
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x	0,2
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			3
						<i>Physcia sp.3</i>			x			163
						<i>Leptogium sp.1</i>	Gelatinoso		x			16
E. de Fondo	9	8	147	4,09669876090 - 76,20011240000	Acacia Rubinea	<i>Phaeophyscia pusilloides</i>			x			2
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x	0,4
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			20
						<i>Physcia sp.3</i>			x			53
						<i>Arthonia sp.1</i>		x				18
E. de Fondo	9	9	251	4,09611605100 - 76,20047919000	Acacia Rubinea	<i>Arthonia sp.1</i>		x				70
						<i>Physcia atrostriata</i>			x			8
						<i>Physcia atrostriata</i>			x			40

						<i>Hyperphyscia minor</i>			x				1	
E. de Fondo	9	7	211	4,09690529100 - 76,19976237000	Acacia Rubinea	<i>Opegrapha</i>		x					14	
						<i>Stirtonia sp. 1</i>		x				48		
						<i>Physcia sp.3</i>			x			3		
						<i>Physcia atrostriata</i>			x			2		
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			25		
						<i>Pyxine cocoes</i>				x			7	
E. de Transición	7	1	143	4,09519672390 - 76,20240166000	Acacia Rubinea	<i>Arthonia sp.1</i>		x					98	
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			3		
						No es liquen		x				9		
						<i>Parmotrema sp.1</i>				x			3	
E. de Transición	7	2	167	4,09399777650 - 76,20203688000	Acacia Rubinea	<i>Chrysothrix candelaris</i>		x					1,6	
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo					x		1,2
						<i>Parmotrema sp.1</i>				x			10	
						<i>Dirinaria applanata</i>				x			2	
						<i>Physcia sp.3</i>				x			9	
						<i>Physcia atrostriata</i>				x			5	
						<i>Phaeophyscia pusilloides</i>					x			31
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo						x	

E. de Transición	7	3	112	4.0924032032 - 76.20228029	Acacia Rubinea	<i>Lecanora argentata</i>		x				1
						No es liquen		x				4
						<i>Dirinaria applanata</i>	Con manchas café, Muerto		x			5
						<i>Physcia atrostriata</i>	Muertas		x			19
						<i>Parmotrema sp.1</i>	Manchas café		x			6
						No determinado1			x			23
						<i>Pyxine cocoes</i>			x			1,3
E. de Transición	7	4	75	4.0933325886 - 76.20616346	Acacia Rubinea	<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x	9
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			7,5
						<i>Physcia sp.3</i>			x			9
						<i>Dirinaria sp.4</i>			x			2,2
E. de Transición	7	5	49	4.0962454676 - 76.20818585	Acacia Rubinea	<i>Dirinaria applanata</i>			x			51
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x	2,6
						<i>Pyxine cocoes</i>			x			10
						<i>Arthonia sp.1</i>		x				12
E. de Transición	7	6	93	4.096237421 - 76.21215283	Acacia Rubinea	<i>Dirinaria sp.4</i>			x			6
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			3
						<i>Physcia sp.3</i>			x			0,3
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x	0,4
						<i>Parmotrema sp.1</i>			x			2

						<i>Arthonia sp.1</i>		x				29
E. de Transición	7	7	110	4.0916588902 - 76.21535003	Acacia Rubinea	No determinado1			x			1
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x	0,9
						No es liquen		x				5
						No determinado2	Género sin identificar, costroso café gris	x				14
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			8,3
						<i>Physcia atrostriata</i>			x			0,6
E. de Transición	7	9	112	4.0886092185 - 76.22086733	Acacia Rubinea	<i>Leptogium sp.1</i>	Gelatinoso		x			2
						<i>Physcia atrostriata</i>	Algunas muertas		x			4
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			29
						<i>Dirinaria aspera</i>			x			8
						No determinado2	Género sin identificar, costroso verde	x				1,3
E. de Transición	7	8	89	4.0885716676 - 76.22044086	Acacia Rubinea	<i>Lecanora argentata</i>		x				2
						<i>Leptogium sp.1</i>	Gelatinoso		x			0,5
						<i>Physcia atrostriata</i>			x			5
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			11



						<i>Physcia sp.3</i>			x			3
						<i>Dirinaria sp.4</i>			x			0,3
						Estéril		X				13
E. de Transición2	6	2	297	4.0918339043 - 76.21198587	Acacia Rubinea	<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x	1,6
						<i>Arthonia sp.1</i>		x				39
						<i>Hyperphyscia minor</i>			x			9
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			11
						<i>Opegrapha</i>		x				11
E. de Transición2	6	1	134	4.0912082791 - 76.21291458	Acacia Rubinea	<i>Pyxine cocoes</i>			x			12
						<i>Dirinaria sp.4</i>			x			9
						<i>Parmotrema sp.1</i>			x			4
						<i>Physcia sp.3</i>			x			36
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			11
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo				x	0,6
E. de Transición2	6	3	240	4.0925735235 - 76.20728194	Acacia Rubinea	<i>Phaeophyscia pusilloides</i>			x			2
						No es liquen		x				6
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			1
						<i>Physcia sp.3</i>			x			11
						<i>Phaeophyscia pusilloides</i>			x			19

						<i>Arthonia sp.1</i>		x					41
E. de Transición2	6	4	147	4.0872982889 - 76.20345242	Acacia Rubinea	No es liquen		x					37
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			3	
						<i>Physcia atrostriata</i>			x			3,6	
						<i>Physcia sp.3</i>			x			1	
E. de Transición2	6	5	45	4.0883517265 - 76.20651617	Acacia Rubinea	<i>Chrysothrix candelaris</i>		x					3
						<i>Arthonia sp.1</i>		x				7	
						No es liquen		x				4	
						<i>Phaeophyscia pusilloides</i>			x			7	
						<i>Dirinaria applanata</i>			x			26	
E. de Transición2	6	6	108	4.0885542333 - 76.20842456	Acacia Rubinea	<i>Dirinaria applanata</i>			x				28
						<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo					x	1,5
						<i>Dirinaria sp.4</i>			x				4
						No es liquen							13
E. de Transición2	6	7	181	4.0869824588 - 76.20671465	Acacia Rubinea	<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo					x	0,8
						<i>Dirinaria applanata</i>	Algunas de coloración blanca			x			84,5
						<i>Physcia atrostriata</i>			x				4

						<i>Arthonia sp.1</i>		x					26
E. de Transición2	6	8	211	4.0857137739 - 76.20423093	Acacia Rubinea	<i>Candelaria concolor</i>	Escomulo					x	4
						<i>Dirinaria applanata</i>	Muerta con coloración blanca y café				x	40	
						<i>Opegrapha</i>		x				7	
						Estéril		x				7	
E. de Transición2	6	9	153	4.081954658 - 76.20454072	Acacia Rubinea	Estéril		x					64
						<i>Arthonia sp.1</i>		x				121	
						<i>Physcia sp.3</i>			x			1	
						<i>Phaeophyscia pusilloides</i>			x			9	

Fuente: Autoras.

