

**Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en las comunas uno y tres de la ciudad de Popayán- Colombia**



**Luis Gerardo Chilito López**

**Universidad de Manizales**  
**Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas**  
**Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**  
**2021**

**Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en las comunas uno y tres de la ciudad de Popayán- Colombia**



**Luis Gerardo Chilito López**

**Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:**

**Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**Director:**

**PhD. Henry Reyes Pineda**

**Asesores:**

**PhD. Edier Alberto Soto Medina**

**Msc. PhD (c) Margarita Jaramillo Ciro**

**Universidad de Manizales**

**Facultad de ciencias contables, económicas y Administrativas**

**Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**2021**

## **Agradecimientos**

A mi Familia por su tiempo y apoyo en el proceso de estudio. Trabajo dedicado a mi padre Luis Vicente Chilito García (QEPD).

Director PhD. Henry Reyes Pineda por su tiempo y dedicación desde la etapa de estudio hasta el trabajo de grado.

Codirectores Margarita Jaramillo y Edier Soto Medina por su paciencia, dedicación y ayuda en todo el proceso investigativo.

Laboratorio de química de suelos de la Universidad del Quindío y docente Arnol Arias Laboratorio química de la Fundación Universitaria de Popayán por préstamo de equipos.

Integrantes del Grupo Colombiano de Liquenología por las distintas asesorías recibidas, Dr. Bibiana Moncada, Diego Simijaca, Luis Fernando Coca.

Jena Marc Torres y David Díaz Escandón por la asesoría en la identificación de las especies de las familias Parmeliaceae y Physciaceae y en los métodos empleados.

Leonardo Romero Martínez por la colaboración en la identificación de las especies de la familia Collemataceae.

Ingeniera forestal Julieth Alexandra Chacón por la colaboración en la elaboración de los mapas.

Diana Pito, Cristian David Pérez de la Universidad del Cauca y Omar David Vidal coordinador Unidad Deportiva La Villa Comfacauca, por su colaboración en los permisos de entrada para trabajo de campo.

Sebastián López, por su explicación del método de espectrofotometría de absorción atómica.

Estudiantes del programa de Ecología Carlos Mario Gil, Carlos Cabezas, Halminton Laporte, Sebastián Cajas y Carlos Paredes por el acompañamiento en jornadas de campo.

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Manizales, 21 de mayo de 2021**

## Tabla de contenido

Resumen .....	9
Abstract.....	10
1. Introducción .....	11
2. Objetivos .....	14
2.1.    Objetivo General .....	14
2.2.    Objetivos Específicos.....	14
3. Planteamiento del problema.....	15
4. Justificación.....	17
5. Marco teórico .....	19
5.1.    Líquenes .....	19
5.2.    Tipos de talo.....	19
5.3.    Características de la simbiosis.....	19
5.4.    Crecimiento liquénico .....	20
5.5.    Sustratos .....	20
5.6.    Ciclo de vida de un líquen.....	21
5.7.    Ecología de los Líquenes.....	21
5.8.    Bioindicación .....	21
5.9.    Zonas de isocontaminación .....	22
5.10.    Calidad del aire.....	23
5.11.    Fuentes de emisión.....	23
5.12.    Salud ambiental .....	24
6. Antecedentes .....	25
7. Metodología .....	29
7.1.    Área de estudio.....	29
7.2.    Población y muestra .....	29
7.3.    Descripción de las estaciones.....	31
7.4.    Muestreo y técnica de recolección de datos .....	33
7.5.    Trabajo de laboratorio .....	34
7.6.    Concentración de metales pesados.....	35
7.7.    Análisis y sistematización de los datos .....	35

7.8.	Índice de Pureza Atmosférica – IPA .....	37
7.9.	Factor de Clasificación Ambiental - FCA.....	38
8.	Resultados y discusión .....	41
8.1.	Composición específica y diversidad.....	41
8.2.	Biotipos .....	47
8.3.	Frecuencia .....	49
8.4.	Cobertura.....	50
8.5.	Espectrofotometría de absorción atómica - EAA.....	52
8.6.	Diversidad alfa .....	53
8.6.1.	Riqueza – índice de Margalef.....	54
8.6.2.	Equidad – índice de Shannon .....	54
8.6.3.	Dominancia – índice de Simpson.....	54
8.7.	Curva de acumulación de especies.....	56
8.7.1.	Estimación Paramétrica .....	56
8.7.2.	Estimación No paramétrica .....	57
8.8.	Diversidad beta.....	58
8.8.1.	Análisis de similitud .....	58
8.9.	Escalamiento no Métrico Multidimensional - NMS .....	61
8.10.	Análisis de especies indicadoras .....	62
8.11.	IPA y FCA.....	64
8.11.1.	Zona II – Pobre en líquenes.....	64
8.11.2.	Zona III – Transición.....	65
8.11.3.	Zona IV – Normal .....	67
9.	Conclusiones .....	79
10.	Recomendaciones .....	81
11.	Referencias .....	82
12.	Anexos.....	92
12.1.	Anexo 1. Tabla ubicación estaciones .....	92
12.2.	Anexo 2. Registro valores IPA con el método tradicional IPA LeBlanc <i>et al.</i> (1972) y método suizo Kricke & Loppi, (2002). Frecuencia, especies acompañantes, sumatoria de especies acompañantes, factor de resistencia y cobertura. ....	94

12.3.	Anexo 3: Imágenes representativas.....	107
-------	--	-----

### Lista de Figuras

<b>Figura 1:</b>	Ubicación estaciones de muestreo .....	32
<b>Figura 2:</b>	Géneros y especies de líquenes distribuidos por familias .....	42
<b>Figura 3:</b>	Riqueza de especies por estaciones. ....	43
<b>Figura 4:</b>	Especies por biotipos en las estaciones de muestreo .....	48
<b>Figura 5:</b>	Riqueza de especies por unidades de muestreo (forófitos).....	51
<b>Figura 6:</b>	Curva de acumulación de especies - Paramétrica.....	56
<b>Figura 7:</b>	Curva proyectada modelo LoMolino.....	57
<b>Figura 8:</b>	Curva acumulación No Paramétrica bajo los estimadores Chao, Jackknife 1, 2 y Bootstrap.....	57
<b>Figura 9:</b>	Dendrograma de similitud .....	60
<b>Figura 10:</b>	Análisis NMS .....	61
<b>Figura 11:</b>	Relación riqueza especies – IPA y FCA por estaciones .....	68
<b>Figura 12:</b>	Zonas de isocontaminación establecidas con el IPA y FCA .....	70
<b>Figura 13:</b>	Estaciones y especies con necrosis. A. Estación 1 (EET). B. <i>Parmotrema</i> . C. Estación 3 (ECT). D. <i>Parmotrema</i> . ....	71

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Clasificación estaciones de tipo de zona .....	30
<b>Tabla 2:</b> Clasificación estaciones tipo de área.....	31
<b>Tabla 3:</b> Localización estaciones de muestreo .....	33
<b>Tabla 4:</b> Escala cálculo cobertura y frecuencia para IPA .....	37
<b>Tabla 5:</b> Escala clasificación cobertura por biotipo para FCA.....	39
<b>Tabla 6:</b> Clasificación áreas muestreadas.....	40
<b>Tabla 7:</b> Géneros representativos .....	43
<b>Tabla 8:</b> Especies registradas en el estudio .....	44
<b>Tabla 9:</b> Biotipos encontrados en el estudio.....	47
<b>Tabla 10:</b> Frecuencia de especies .....	50
<b>Tabla 11:</b> Cobertura de especies.....	50
<b>Tabla 12:</b> Concentraciones metales pesados registrados .....	53
<b>Tabla 13:</b> Índices ecológicos de riqueza, diversidad y dominancia por estaciones.....	55
<b>Tabla 14:</b> Especies indicadoras para las estaciones de muestreo .....	63
<b>Tabla 15:</b> Clasificación FCA .....	69
<b>Tabla 16:</b> Coberturas registradas de cada especie por estación, factor de resistencia por especie, clasificación de zonas muestreadas IPA. Cobertura total por estación, Valores IPA y número de especies por estación. ....	73



## Resumen

La investigación evaluó el uso de líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en las comunas uno y tres de la ciudad de Popayán- Colombia, en 10 estaciones cada una con 15 forófitos. Por medio de un cuadrante de  $0.50 \times 0.20\text{m}^2$  se estimó el porcentaje de cobertura de cada especie, tomando datos de frecuencia y riqueza de especies de líquenes. Se determinaron el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) y el Factor de Clasificación Ambiental (FCA). Mediante el escalamiento no métrico multidimensional (NMS), se evaluó la relación entre las variables medidas y se realizó un análisis de especies indicadoras para detectar preferencias de los sitios. Resultados arrojaron un total de 112 especies, distribuidas en 28 familias y 47 géneros. Se clasificaron de acuerdo al IPA y FCA tres zonas de isocontaminación (pobre en líquenes, transición y normal) y 11 especies fueron consideradas resistentes y 9 sensibles a la contaminación. El NMS arrojó agrupamientos para distintas estaciones permitiendo establecer diferencias en la riqueza y diversidad de especies. Se encontraron 14 especies con alto nivel de significancia y 4 con menor grado, tanto de estaciones de buena y regular calidad del aire. En conclusión, la ciudad de Popayán presenta buena calidad del aire en las comunas uno y tres en términos generales, sin embargo, es necesario tomar estrategias de control de emisiones sobre todo en estaciones pertenecientes a la clasificación de pobre en líquenes, que limitan la frecuencia y cobertura de especies.

**Palabras clave:** Bioindicación, calidad del aire, diversidad, líquenes cortícolas, zonas de isocontaminación

## **Abstract**

The research evaluated the use of lichens as bioindicators of air quality in communes one and three of the city of Popayán- Colombia, in 10 stations each with 15 phorophytes. Through a quadrant of 0.50 x 0.20m<sup>2</sup>, the percentage of coverage of each species was estimated, taking data on frequency and richness of lichen species. The Atmospheric Purity Index (IPA) and the Environmental Classification Factor (FCA) were determined. Using multidimensional non-metric scaling (NMS), the relationship between the measured variables was evaluated and an analysis of indicator species was performed to detect site preferences. Results showed a total of 112 species, distributed in 28 families and 47 genera. Three isocontamination zones (poor in lichen, transition and normal) were classified according to IPA and FCA and 11 species were considered resistant and 9 sensitive to contamination. The NMS yielded groupings for different stations allowing to establish differences in the richness and diversity of species. Fourteen species were found with a high level of significance and 4 with a lesser degree, both from stations of good and regular air quality. Finally, the city of Popayán in communes one and three generally has good air quality, but it is necessary to adopt emission control strategies, especially in stations belonging to the classification of poor in lichens, which limit the frequency and coverage of species.

**Keywords:** Bioindication, air quality, diversity, corticolous lichens, areas isocontamination

## 1. Introducción

El deterioro del medio ambiente en los últimos años en Colombia, a causa diversos factores especialmente antrópicos, como la contaminación hídrica, del suelo y atmosférica, ha traído consigo, una serie de problemas al ecosistema y a la población que los habita. Uno de los problemas más importantes está asociado al riesgo para la salud humana por el aumento progresivo de problemas de índole respiratorio e infeccioso (OMS, 2018), a causa del aumento de emisiones contaminantes que disminuye la calidad del aire y por consiguiente de la calidad de vida de los habitantes. Dicha situación ha sido tema de mucho interés, por parte de las instituciones y la comunidad académica y en general. Según la OMS (2018), la contaminación atmosférica en ciudades y zonas rurales es la causa de muerte de 4,2 millones de personas en el mundo por enfermedades cardiovasculares y respiratorias; así mismo, enfermedades relacionadas con el cáncer de pulmón, vejiga y vías urinarias están relacionadas con la mala calidad del aire (OMS, 2018).

La ciudad de Popayán, ubicada al sur occidente de Colombia, en uno de los departamentos más biodiversos del País, presenta altos procesos de expansión urbana, lo que ha conllevado a un cambio en su estructura ecológica principal evidenciado en la disminución de las zonas verdes y un aumento en las áreas de infraestructura vial y de vivienda, trayendo consigo un incremento en el parque automotor que para el año 2019 superaba los 52000 vehículos entre carros particulares, motocicletas y buses urbanos (Portilla, 2019).

El aumento del parque automotor muestra una problemática asociada y es el crecimiento acelerado de las ciudades, que incrementan directamente la cantidad de emisiones y gases contaminantes entre fuentes fijas y móviles, que contienen principalmente material particulado y otras sustancias procedentes de la combustión de carbón, petróleo y de las industrias (Rubiano & Chaparro, 2006). Dicha situación, no solo abarca las grandes ciudades capitales, sino urbes medianas, que han fragmentado el paisaje, generando una reducción en las coberturas naturales urbanas y provocando una presión en la calidad del aire de las mismas.

A partir de esto, surgen los estudios empleando líquenes como bioindicadores de la calidad del aire, que se remontan en el siglo XIX, con un mayor desarrollo de las investigaciones en el siglo XX y XXI, donde se conocen más de dos mil publicaciones (Hawksworth *et al.* 2005; Simijaca-Salcedo *et al.* 2011). Estos organismos al tener la capacidad de absorber y acumular diversas sustancias presentes en el ambiente (Chaparro & Aguirre, 2002), como lo son CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HF y HCl (Nash & Wirth, 1988; Chaves, 2005; Rubiano y Chaparro, 2006; Simijaca *et al.* 2014), ocasionando, que la mayoría de los líquenes no toleren la contaminación. Así mismo, la acumulación de estas sustancias y su imposibilidad de excretarlas, retardan su crecimiento, dificultan su reproducción y pueden provocarles su muerte, demostrando la influencia directa de la contaminación sobre la riqueza y distribución de líquenes (Hawksworth *et al.* 2005; Correa-Ochoa *et al.* 2020). Es por ello, que estos organismos brindan una opción viable para determinar la calidad del aire en ciudades, debido que son efectivos como sistemas de alerta al detectar de manera rápida cambios en el ambiente (Méndez & Monge, 2011; Simijaca *et al.* 2014).

Distintas metodologías se han propuesto para evaluar la calidad del aire usando líquenes como bioindicadores y uno de ellos es el índice de Pureza Atmosférica (IPA), desarrollado por LeBlanc *et al.* (1972), ampliamente difundido a nivel mundial. Para Colombia se han aplicado estrategias de biomonitoreo en ciudades como Bogotá, Medellín, Cali, Tunja, Bucaramanga. De la misma manera, a partir de este método se ha incorporado el método alterno suizo propuesto por Kricke & Loppi, (2002), dándole mayor relevancia a la cobertura y frecuencia y al final Käffer *et al.* (2011) con la inclusión del Factor de Clasificación Ambiental (FCA). En el contexto local, en Popayán, en la presente investigación se propuso el monitoreo de estaciones (20) distribuidas en toda la ciudad con cuatro árboles en cada una de éstas, siguiendo la fórmula de Rubiano (2002), teniendo en cuenta variables de cobertura, frecuencia e índice de resistencia, para evaluar la calidad del aire usando líquenes como bioindicadores.

El objetivo de la investigación fue evaluar el uso de líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en las comunas uno y tres de la ciudad de Popayán. Mediante el Índice de Pureza Atmosférica y el Factor de Clasificación Ambiental, se determinaron las zonas de isocontaminación. Paralelamente, se identificaron las especies de líquenes con potencial de

bioindicación tanto para especies tolerantes y sensibles a la contaminación del aire, aportando un esquema más claro de la calidad del aire de la ciudad, que ayuden a tomar acciones de prevención que potencialmente minimicen la contaminación del aire y contrarrestar los efectos negativos sobre el ambiente y la población.

## **2. Objetivos**

### **2.1.Objetivo General**

Evaluar el uso de líquenes como bioindicadores de la calidad del aire, en las comunas uno y tres de la ciudad de Popayán- Colombia

### **2.2.Objetivos Específicos**

- Determinar la composición de especies de líquenes presentes las comunas uno y tres de la ciudad de Popayán Colombia.
- Establecer las zonas de isocontaminación presentes por emisiones de sustancias contaminantes en las comunas uno y tres de la ciudad de Popayán, Colombia.
- Identificar las especies de acuerdo su nivel de toxitolerancia en las comunas uno y tres de la ciudad de Popayán, Colombia

### 3. Planteamiento del problema

La carencia de datos consolidados que suministren información de las sustancias contaminantes que se encuentran presentes en las áreas urbanas, han dificultado la generación de estrategias eficaces de control y reducción de la contaminación del aire, lo que ha traído consigo unas elevadas tasas de enfermedades causadas por estas problemáticas (OMS, 2018).

Popayán es una ciudad que en los últimos años ha presentado una acelerada expansión, especialmente en las zonas norte y occidente y cuenta con una población de 277.270 habitantes. Un importante porcentaje de la población de Popayán (31,7%) es población sensible como niños y ancianos (DANE, 2019), que son más propensos a problemáticas de salud por la contaminación atmosférica. Como parte del parque automotor, presenta un número considerable que eleva sustancialmente los niveles de contaminación, conformado por 52438 vehículos para marzo de 2019, donde la gran mayoría son motocicletas con una cifra de 25514 (matriculadas en la ciudad), automóviles con un número aproximado de 16512 y buses, busetas y microbuses con 1265 de las cuatro empresas transportadoras (Portilla, 2019). Sumado a esto, la ausencia de datos continuos y monitoreo de la calidad del aire evita que se disponga de un sistema de alertas tempranas para tomar medidas de control y mitigación, en especial en las comunas uno y tres, zonas importantes por la gran cantidad de contaminantes que se emiten por la presencia de un alto flujo vehicular y fuentes fijas. Esto puede conllevar a un incremento en los problemas en la salud pública por enfermedades respiratorias en la comunidad por el acelerado crecimiento del parque automotor (DNP, 2018).

El último estudio de líquenes en la ciudad fue en 2002 y en ese momento la ciudad presentaba un esquema de ordenamiento territorial diferente al actual, con mayor presencia de zonas verdes y menor flujo de parque automotor. Por su parte, la ciudad presenta datos de calidad del aire, solo con mediciones de pocos contaminantes criterio, realizadas por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) con particulado (PM10) y Ozono (O<sub>3</sub>), que evidencian una buena calidad del aire al estar por debajo de los límites permisibles,

concluyendo que el principal foco de contaminación es el alto flujo vehicular (CRC, 2019), sin embargo, no se cuentan con un análisis de concentración de metales pesados , ni de PM2.5, más aún, en el sector de las comunas uno y tres que alberga el mayor flujo vehicular al estar presentes las principales vías de la ciudad y con presencia de zonas verdes que permiten el desarrollo del estudio por el amplio componente arbóreo.

Los estudios con líquenes son ampliamente difundidos como alternativa para medir la calidad del aire en sitios urbanos y uno de los criterios es la evidencia de una disminución de especies de líquenes a causa de la alta concentración de gases contaminantes, evidenciado por cambios morfológicos severos y hasta ausencia de estos organismos en ciertas zonas (Hawksworth *et al.* 2005), siendo una indicación de los cambios que ha sufrido el ambiente, en el aspecto de la calidad del aire, provocados por la concentración y tipo de contaminantes emitidos.

A partir de la problemática referente, se genera la siguiente pregunta de investigación

¿Cómo el uso de líquenes como bioindicadores evalúa la calidad del aire, en las comunas uno y tres de la ciudad de Popayán- Colombia?



#### **4. Justificación**

Teniendo en cuenta, el problema de contaminación atmosférica que se está reflejando a nivel mundial, regional y local, se considera importante contar con una herramienta que permita establecer indicadores de medida, para visualizar y determinar cuáles son los niveles de contaminación presentes en nuestro entorno. Los líquenes son organismos ampliamente conocidos por ser excelente bioindicadores de calidad del aire y pueden facilitar un mejor entendimiento sobre los niveles de exposición de los diferentes contaminantes atmosféricos. Esta información es útil para los sistemas de prevención y control ambiental para disminuir las emisiones y evitar la expansión de estas en las ciudades, promoviendo ambiente sano tanto para las generaciones presentes como las futuras.

La viabilidad y pertinencia de la investigación en el ámbito social y ambiental, se orienta al empleo de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire. Los líquenes son estudios confiables, económicos y ecológicos, que brindan una serie de datos reales sobre la calidad del aire en el área de estudio, y serán insumo para la toma de medidas y estrategias encaminadas a la reducción y mitigación de los altos índices de emisiones de gases contaminantes, que disminuyan los efectos negativos sobre la salud de la comunidad y el ambiente. Así mismo, el presente trabajo desarrolla una actualización de una investigación realizada en el año 2002, ya que, las condiciones de la Ciudad han cambiado, tanto por la expansión urbana, el aumento acelerado de parque automotor y la disminución de la vegetación arbórea, que tiende a indicar un cambio en la composición de especies de líquenes, en la calidad de aire y en los efectos en la salud pública.

Ahora bien, no se presentan índices elevados de contaminación atmosféricas, de acuerdo a los datos de calidad del aire aplicados con mediciones anuales de material particulado (PM10) y Ozono (O<sub>3</sub>) a cargo de la Corporación ambiental del departamento, porque están dentro de los rangos permisibles por la normatividad vigente y no existe una red de monitoreo de calidad del aire, que suministre datos más amplios acerca de esta problemática. Lo anterior, evidencia la necesidad de implementar estudios más específicos para determinar con mayor exactitud dicha calidad en la ciudad, y el efecto sobre los

organismos aún más, en las zonas asociadas a las comunas uno y tres, que alberga el mayor flujo vehicular al estar presentes las dos principales vías de la ciudad, como son la Av. Panamericana y la carrera 6 Norte y presenta zonas verdes como separadores viales, parques y zonas Institucionales y privadas, que permiten un óptimo muestreo de los organismos bioindicadores.

Es por ello que, los estudios con indicadores ecológicos como son los líquenes, fundamentan registros importantes a la hora de evaluar el estado de la calidad del aire, como insumo, para optar por estrategias encaminadas a la prevención a futuro de posibles afectaciones de contaminación atmosférica y una posible implementación de una red de monitoreo permanente del estado de este importante recurso natural.

## **5. Marco teórico**

### **5.1.Líquenes**

Los líquenes a lo largo de la historia evolutiva de los organismos han sido catalogados como unos organismos de gran relevancia ecológica, ambiental y social, y de ello constituyen numerosos conceptos y utilidades para el ser humano y para la relación con el ecosistema (Bold *et al.* 1989). Comúnmente han sido considerados una simbiosis entre un hongo (micobionte) y una o varias algas (fotobionte), que presenta un comportamiento como entidad única e independiente (Hawksworth, 1988). Mientras tanto, otros autores utilizan el término en un sentido más restringido al referirse que “los líquenes no son organismos individuales sino asociaciones mutualistas entre hongos (ascomicetes y basidiomicetes) y algas (cianobacterias), que pueden funcionar en la naturaleza como una unidad”. (Hawksworth *et al.* 2005: p. 72). Sin embargo, estudios recientes han confirmado que pueden encontrarse más componentes en la asociación, conformando un complejo ecosistema, que incluyen diversas especies de hongos, microalgas y bacterias (Spribille *et al.* 2016; Hawksworth & Grube, 2020; Soto-Medina *et al.* 2021).

### **5.2.Tipos de talo**

Los líquenes exhiben una amplia variedad morfológica que se extiende desde los tipos rudimentarios hasta los altamente diferenciados; se conocen como formas de crecimiento y representan adaptaciones al medio (Chaparro & Aguirre, 2002). Estas formas, típicamente los tejidos del hongo rodean al alga (o cianobacterias) fotosintética, y es la relación entre esta pareja lo que determina el tipo de desarrollo: en forma de costra (crustáceo), en forma de hoja (foliáceo), o de diminuto arbusto (fruticoso), que son las más conocidas (Hawksworth *et al.* 2005).

### **5.3.Características de la simbiosis**

El hongo protege al alga de la desecación y el calor solar, además, le proporciona al ficobionte gas carbónico de su respiración, le retiene agua en sus tejidos, extrae minerales del sustrato y en la mayoría de los casos da forma al liquen (Aguirre & Valencia, 1995; Méndez & Vallejo, 2003). De igual manera, es el que se reproduce sexualmente, aloja al

alga de forma adecuadamente. Por su parte, el alga sintetiza un exceso de compuestos orgánicos, los cuáles son utilizados por el micobionte para su supervivencia y suministra sustancias nitrogenadas, ya que tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (Aguirre & Valencia, 1995; Méndez & Vallejo, 2003).

#### **5.4.Crecimiento liquénico**

El crecimiento de los líquenes es muy lento, debido a las condiciones ambientales y a la naturaleza genética de cada simbiote. Ambos simbiotes, en condiciones de cultivo, muestran mayor tasa de crecimiento que las de organismos de vida libre. Los talos jóvenes crecen más rápidamente que los viejos, los crustáceos y foliosos tienen mayor crecimiento en los bordes, que corresponde a las zonas jóvenes, por su parte, los fruticosos el crecimiento es intercalar y apical. (Chaparro & Aguirre, 2002). Estimar la edad de un líquen con precisión es complicado porque sus tasas de crecimiento no son constantes y sus patrones de crecimiento están influenciadas por las condiciones microclimáticas locales (Ahmadjian, 1996).

#### **5.5.Sustratos**

Son el soporte donde se establecen los líquenes. Estos influyen sobre su comportamiento, debido a características como pH, textura, estabilidad, composición química (Chaparro & Aguirre, 2002). Los líquenes por su amplia capacidad de colonizar medios, presentan una gran variedad de sustratos; entre los más comunes se encuentran los cortícolas que colonizan la corteza de los árboles (forófitos se les denomina al árbol hospedero), terrícolas que colonizan el suelo, folícolas que colonizan las hojas, saxícolas que colonizan rocas o minerales; así como también, otros sustratos tanto naturales como hechos por el hombre como cemento, concreto, huesos, vidrio, conchas de animales, plástico, ropa, ventanas de carros, vallas, tejas, techos, paredes, cuero, vitrales, ropa, bancas (Brodo, 1973; Chaparro & Aguirre, 2002). Así mismo, en el caso de los líquenes cortícolas, en forófitos jóvenes se tienden a encontrar especies de tipo costroso, en forófitos de edad media de tipo folioso y fruticoso y en forófitos viejos, de tipo foliosos con cianobacterias, de tipo dimórficos y los escumulosos, como también musgos (Barreno & Pérez-Ortega, 2003; Rincón-Espitia, *et al.* 2011).

## **5.6.Ciclo de vida de un líquen**

Los líquenes son organismos muy longevos, en ocasiones alcanzan varios miles de años. En los epífitos la edad que alcanzan está limitada por la que puede adquirir el árbol donde se asientan, que normalmente es mucho mayor, por otro lado, en árboles viejos recién caídos o talados, se aprecia que su poblamiento permanece en perfecto estado (Aguirre & Valencia, 1995; Méndez & Vallejo, 2003). Otros factores como el fuego y la contaminación afectan al cambio poblacional, por lo que han sido tratados como bioindicadores de contaminación atmosférica (Aguirre & Valencia, 1995; Méndez & Vallejo, 2003).

## **5.7.Ecología de los Líquenes**

La naturaleza del sustrato determina la distribución y crecimiento de los líquenes (Durán, 1997). Se puede afirmar que crecen sobre cualquier superficie bien iluminada, como las rocas, las cortezas de los árboles o el suelo. Aunque no son exigentes con la humedad y la temperatura, sí son muy específicos del sustrato en cual se desarrollan (Barreno & Pérez-Ortega, 2003). Los líquenes generalmente no comparten los mismos sustratos, por ejemplo, son distintos aquellos que crecen sobre rocas silíceas o sobre rocas calcáreas. Los líquenes son organismos de gran importancia en procesos de sucesión vegetal, puesto que son considerados como pioneros en la colonización en sitios desprovistos de vegetación, y cumplen funciones ecológicas muy particulares dentro de los ecosistemas, como la formación de suelo, que sirve de sustrato para el arraigo de vegetales como musgos y plantas vasculares pequeñas (Hawksworth *et al.* 2005).

## **5.8.Bioindicación**

Un organismo bioindicador es aquel que manifiesta síntomas en respuesta a cambios que ocurren en el ambiente, en gran medida de forma cuantitativa, como también pueden ser organismos bioacumuladores, donde, almacenan diversas sustancias dentro de sus tejidos, lo que permite, que se determinan mediante procedimientos de laboratorio (Hawksworth *et al.* 2005). Los estudios empleando líquenes como bioindicadores de la calidad del aire, se remontan a partir del siglo XIX (Hawksworth *et al.* 2005), con un mayor

desarrollo de las investigaciones en el siglo XX y XXI, donde se conocen más de dos mil publicaciones (Hawksworth *et al.* 2005; Simijaca-Salcedo *et al.* 2011). Estos organismos como tienen la capacidad de retener sustancias presentes en el medio ocasionan, que gran parte de ellos, no toleren la contaminación. Es así como, una acumulación de sustancias contaminantes en la atmósfera, afectan de manera directa, el crecimiento, reproducción y hasta pueden provocarles la muerte (Durán, 1997).

Un buen indicador debe cumplir con una serie de condiciones básicas: ciclo de vida largo, amplia distribución para no afectar o poner en peligro de extinción a la especie y obtener de una forma relativamente fácil el número de muestras requeridas para lograr representatividad estadística y que la biología de la especie bioindicadora sea lo suficientemente conocida para que aporte la información requerida, ya sea comportamiento, nivel trófico, hábitos alimenticios y reproductivos, preferencia por hábitats así como procesos fisiológicos (Cantor & Urbano, 2002).

### **5.9. Zonas de isocontaminación**

Las zonas de isocontaminación brindan información en rangos establecidos de los niveles de contaminación de una ciudad. Esta información, se presenta de forma cuantitativa o cualitativa. Para determinar las zonas de isocontaminación, se conocen distintas metodologías, que permiten, evaluar la eficacia de los líquenes como indicadores ambientales. Uno de ellos, es el método del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) desarrollado por LeBlanc *et al.* (1972), que evalúa la calidad del aire por medio de rangos establecidos, de acuerdo a la composición de especies de líquenes bien sean tolerantes o sensibles a la contaminación atmosférica. Una de las fórmulas del IPA más empleadas y eficaz, es la que utiliza la frecuencia como un parámetro de bioindicación (Kricke & Loppi, 2002); además, dicha fórmula, aporta variables como la cobertura y la diversidad de líquenes (Calatayud Lorente & Sanz Sánchez, 2000). Para realizarlo se toman numerosos inventarios, en condiciones ecológicas homogéneas y su mayor ventaja es que refleja variables ecológicas como alta o baja riqueza en una zona determinada y es válido a modo de comparación, entre regiones de estudio, que presenten condiciones ecológicas, climática y ambientales similares (Kricke & Loppi, 2002).

## **5.10. Calidad del aire**

La calidad del aire, se puede definir como el estado en el que se encuentra la atmósfera debido a una concentración de sustancias, que determinan un grado de alteración o no de la atmósfera. El aire como tal se compone de Nitrógeno, Oxígeno, Argón y vapor de agua, que determinan su estado natural, sin embargo, sustancias contaminantes han alterado dicho estado, desencadenando, problemáticas al ambiente y a los pobladores. De este modo, existe una preocupación internacional, por su calidad no sólo de las entidades del orden ambiental, sino de también de la salud como es la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018).

Dentro de las sustancias contaminantes se encuentran los gases y las partículas. Entre los gases se consideran el Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Ozono Troposférico (O<sub>3</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (VOC), que generan por un lado problemas ambientales como lluvia ácida, como también, problemas en la salud humana como afecciones respiratorias y cardiovasculares, náuseas, infecciones, cáncer de pulmón, entre otras (IDEAM, 2017; DNP, 2018). Por su parte, las partículas, que es una mezcla de material fino de metales pesados y químicos entre sustancias orgánicas e inorgánicas, que varían en tamaño, forma y composición, se encuentran como contaminantes criterio en la legislación actual el material particulado menor a 10 micras (PM10) y el material particulado menor a 2,5 micras (PM2,5), adversos para la salud por problemas respiratorios y cardiovasculares igualmente que los gases, irritación en los ojos, entre otros (IDEAM, 2017; DNP, 2018). Ambos estados de contaminantes perjudican a grupos todo grupo de edades en la salud de los habitantes, el ambiente y la infraestructura.

## **5.11. Fuentes de emisión**

Las fuentes de emisión de partículas contaminantes se generan por las fuentes móviles que hacen referencia a vehículos de transporte a motor entre públicos y privados, como es el caso, de camiones, motos, buses, automóviles y taxis. Y las fuentes fijas, hacen parte, las emisiones puntuales como, industrias, quemas, viviendas y zonas mineras (DNP, 2018).

## **5.12. Salud ambiental**

La salud ambiental se define como un área de la ciencia que trata la interacción y efectos que representa el medio para la salud humana (CONPES 3550, 2018: p. 2). Así mismo, es un área relacionada con factores físicos, químicos y biológicos externos de una persona, que estrictamente engloba los factores ambientales que inciden en la salud humana (OMS, 2018), y además, se deben incluir otros factores que alteran los ecosistemas, como son la pérdida de la biodiversidad, el cambio climático y la deforestación, que afectan la calidad de vida de las personas; en este sentido, dentro de la salud ambiental, se incluyen la calidad del aire, baja calidad de agua y la seguridad química (CONPES 3550, 2018).



## 6. Antecedentes

Los estudios con líquenes como bioindicadores de la calidad del aire, se remontan hace más de un siglo, con pioneros como Nylander (1866) quien observó la influencia de contaminantes en la colonización de líquenes en París. En adelante, los estudios empezaron a crecer a nivel mundial y en este sentido, Le Blanc y De Slover (1970) evaluaron la calidad del aire a través del desarrollo del Índice de Pureza Atmosférica (IPA), que, por medio de rangos establecidos, de acuerdo a la composición de especies de líquenes categorizaron a las especies bien sean tolerantes o sensibles a la contaminación.

Cislaghi y Nimis (1997) establecieron en Italia, la relación entre la diversidad de líquenes y las tasas de mortalidad por cáncer de pulmón, donde áreas de mayor grado de contaminación reflejaron menor diversidad y mayor tasa de cáncer, evidenciando, la importancia de estos estudios con líquenes. Hawksworth *et al.* (2005), presentaron la importancia de los líquenes como bioindicadores inmediatos de la contaminación y cambios medioambientales en los trópicos, dando la importancia y las ventajas de estos estudios. Estrabou, *et al.* (2005), realizaron un estudio comparativo de la comunidad líquénica en cuatro ecosistemas de la Provincia de Córdoba, Argentina, donde aplicaron estadística inferencial, mediante el análisis multivariado (DCA), que agrupó los sitios escogidos con la riqueza de especies, dando a conocer diferencias entre las especies dominantes de las zonas, sobre todo en aspectos como morfología, cobertura y reproducción. Canseco (2006), en la ciudad de la Paz Bolivia, realizó un muestreo de líquenes como indicadores de la calidad del aire, mediante el IPA por estaciones, empleando igualmente, variables como cobertura, frecuencia y presencia de líquenes, registrando distintas zonas de isocontaminación, con una diversidad media de especies de líquenes.

Por su parte, Giordani (2007) suministró en su investigación sobre confiabilidad de líquenes como bioindicadores de contaminación del aire en Italia, con información adicional, para una mejor interpretación de la diversidad de especies en estudios de biomonitoreo, concluyendo que principalmente el SO<sub>2</sub> es el factor limitante en el establecimiento de los líquenes. Litjeroff, *et al.* (2009), evaluaron la calidad del aire en la Ciudad de San Luis,

Argentina por medio del uso de líquenes como bioindicadores, empleando el IPA e índices ecológicos, demostrando la eficiencia de estos organismos como bioindicadores. Bustamante *et al.* (2011), evaluaron la contaminación del aire en la ciudad de San José- Costa Rica, mediante el uso de líquenes y la relación entre la dirección del viento. Así mismo, que independientemente de la temporada seca o de lluvias, la contaminación sigue el patrón de movimiento del aire a través de la ciudad. Méndez & Monge (2011), hicieron un recuento del uso de líquenes como biomonitores de la contaminación atmosférica a nivel mundial, tanto para bioindicación con mapas de zonas de isocontaminación y riqueza de especies, como para bioacumulación, por medio de análisis químicos y contaminantes acumulados en los líquenes. Concluyen, que los contaminantes principales en la atmósfera son el SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> y que las zonas menos estudiadas en el tema son África y Oceanía. Maldonado *et al.* (2017), dan una perspectiva acerca de la bioindicación con líquenes para la determinación de la calidad del aire en Latinoamérica, abordando especialmente el caso Venezuela, brindando información acerca de las metodologías empleadas, en campo y en laboratorio, ventajas y desventajas.

Muhammad *et al.* (2018), realizaron una investigación con el objetivo de identificar especies tolerantes a la contaminación por fuentes móviles en áreas urbanas y periurbanas de la ciudad de Batu Pahat en Malasia, mediante el IPA. Se aplicaron técnicas de cromatografía en capa fina (TLC), manchas de color y pruebas morfológicas en las especies de líquenes. La especie *Dirinaria picta* fue considerada con la más tolerante a la contaminación por tráfico vehicular. Perlmutter *et al.* (2018), evaluaron el efecto sobre la estructura de comunidad de líquenes epífitos en Carolina del Norte Estados Unidos. Se encontraron correlaciones notablemente fuertes entre la diversidad de especies con los parámetros ambientales y la concentración de NO<sub>2</sub>. Así mismo, los tipos de hábito costroso y con especies fértiles se correlacionaron significativamente con el NO<sub>2</sub>. Varela *et al.* (2018), emplean los líquenes como bioindicadores en zonas urbanas y periurbanas de varias ciudades chilenas, aportando resultados que la contaminación es debido a la alta concentración de sustancias como material particulado (PM<sub>2,5</sub>), concluyendo que, los datos sirven para zonas que no cuentan con monitoreo de la calidad del aire en especial por material particulado. Al final, Koch *et al.* (2019), realizaron una investigación sobre líquenes como indicadores ecológicos frente a los efectos de entorno urbano en una

localidad de Brasil. La investigación tomó en cuenta, rasgos funcionales de los líquenes, la densidad poblacional, niveles de contaminación atmosférica y cobertura del suelo, concluyendo, que aparte de considerarse como bioindicadores ambientales, también, pueden emplearse como indicadores por medio del estudio de rasgos funcionales.

Ya a nivel nacional, distintos estudios se han desarrollado, encabezados por García & Rubiano (1984), siendo los pioneros en los estudios en Colombia sobre biomonitoreo de calidad del aire. En este estudio mencionaron la importancia del uso de los líquenes como Bioindicadores que permite evaluar rápida e independientemente la calidad del aire por efectos de contaminación atmosférica. Posteriormente, Rubiano (1987) en las ciudades de Cali y Medellín, delimitó áreas de isocontaminación utilizando líquenes como bioindicadores, por medio IPA, generando unos rangos establecidos, para las zonas muestreadas. García (2004), evaluó mediante el IPA como índice de estrés de líquenes en una localidad de la Ciudad de Bogotá, tomando variables como diversidad y frecuencia y cobertura de líquenes en forófitos con alta abundancia en el sector, con la generación del mapa de estrés atmosférico validando a los líquenes como una opción viable para monitorear la calidad del aire de las ciudades. Más adelante, Rubiano & Chaparro (2006), elaboraron un mapa de áreas de isocontaminación atmosférica en el Campus de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, mediante la determinación las áreas de mayor y menor contaminación tomando sectores de infraestructura y área natural y cuáles fueron las principales fuentes de emisión entre fijas y móviles. Con la vinculación del Grupo Colombiano de Liquenología (GCOL), aumentaron exponencialmente los estudios, en este sentido, Jaramillo & Botero (2010), por medio del IPA evaluaron la calidad del aire en el Valle de Aburrá en Medellín, destacando especies como *Canoparmelia* sp. y *Parmotrema austrosinense* y forófitos como *Fraxinus uhdei* para estudios de bioindicación en el área de estudio.

Por su parte, Rincón (2011), en la ciudad de Bucaramanga, mediante el IPA trasplante de líquenes y el análisis de cambios morfológicos evaluó la calidad del aire. Igualmente, muestra una serie de contaminantes como Plomo (Pb), Cromo (Cr) y Níquel (Ni), que son altamente perturbadores para el establecimiento de las especies. Otro estudio fue realizado por Simijaca-Salcedo *et al.* (2011), en la Universidad Pedagógica y

Tecnológica de Colombia en Tunja, Boyacá, Colombia, empleando el método de IPA, en varias estaciones distribuidas por el Campus Universitario. Díaz (2012), evaluó el efecto espacial de la contaminación por azufre, en riqueza, diversidad y distribución de líquenes cortícolas, para la zona de páramo en la mina El Vinagre (Puracé, Colombia), empleando IPA y Factor de Clasificación Ambiental (FCA). Simijaca-Salcedo *et al.* (2014), por medio del uso de plantas criptógamas y líquenes, determinaron la calidad del aire en la Ciudad de Tunja, en estaciones en la zona urbana y rural de la ciudad, empleando el IPA, se determinaron las zonas de isocontaminación, además, de registrar cambios morfológicos en algunas especies, debido a la alta concentración de sustancias contaminantes. Torres (2014), realizó el biomonitoreo en los Ríos Fucha y Arzobispo en la ciudad de Bogotá, empleando IPA y FCA, evidenciando que la riqueza y diversidad de especies es influenciada por la rugosidad de la corteza y las variables de cobertura y frecuencia se limita por las fuentes de contaminación. Finalmente, Correa *et al.* (2020) evaluaron en el Valle de Aburrá, la funcionalidad del IPA sin diferenciación de forófitos para la clasificación de áreas con diferencias en la calidad del aire, concluyendo que existen relaciones positivas entre IPA y calidad del aire con o sin diferenciación de hospederos. En el contexto local, Cantor & Urbano (2002), realizaron el estudio de líquenes como bioindicadores de calidad de aire en la ciudad de Popayán, con estaciones en el área urbana y de control el Jardín Botánico de Popayán. Se delimitaron cuatro zonas de isocontaminación (alta, media, moderada y baja), destacando ciertas especies como indicadoras de buena calidad del aire y otras como tolerantes a la contaminación. Así mismo, dio a conocer la presencia de plomo, hidrocarburos y gasolina en varias de las zonas muestreadas, lo que permite conocer ciertos tipos de contaminantes que se podrían encontrar en el presente estudio. Igualmente, este trabajo, es el antecedente más fuerte que se ha realizado en la zona, de acuerdo al tema de bioindicación. Si bien, los estudios han ido aumentando progresivamente, aún hace falta distintas áreas del País por implementar este tipo de estudios.

## **7. Metodología**

### **7.1. Área de estudio**

El área de estudio, del proyecto fue en las comunas uno y tres de la ciudad de Popayán, capital del departamento del Cauca, localizada en el valle del Pubenza, entre las Cordilleras occidental y central al suroccidente de Colombia, se localiza a los 2°27' N y 76°37'18" W. Presenta una extensión aproximada de 512 km<sup>2</sup>, con una altura de 1750 metros sobre el nivel del mar y una temperatura promedio de 19 °C (POT, 2002). Para el desarrollo del proyecto se trabajó con una metodología dispuesta por fases, entre revisión bibliográfica, fases de campo, laboratorio y análisis de resultados.

### **7.2. Población y muestra**

En la investigación se consideró como la población las dos comunas y los forófitos (árboles hospederos) de las especies de líquenes y la muestra fueron los líquenes colectados en dichas zonas nombradas anteriormente. La determinación de la ubicación y número de estaciones de muestreo, fue con la ayuda de la información arrojada por el censo arbóreo urbano desarrollado por la Empresa de Acueducto y alcantarillado en la plataforma (SIGAPO++, 2018), además, de datos obtenidos en el estudio de Chilito-López & Soto-Medina, (2020). Así mismo, se tuvo en cuenta la metodología del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT (2010), dentro del manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire, para la clasificación de los tipos de estaciones, donde, se evaluaron una serie de variables como ubicación (sitio dentro de la comuna), vegetación (especies predominantes), uso del suelo (comercial, institucional, residencial, forestal), fuentes de emisión (alto, medio, bajo tráfico vehicular), tipos de vía (principal, secundaria, terciaria) y tipo de distribución de los forófitos (sobre la vía, separador, sobre un parque), para sí determinar tipo de zona, tipo de área y la clasificación de cada estación (Tablas 1 y 2; Anexo 1). Para las especies arbóreas u hospederos (forófitos) y el número para cada estación, se tuvo en cuenta lo definido por Correa-Ochoa *et al.* (2020), con adaptaciones a de acuerdo a las características de la ciudad.

Finalmente, se corroboró la información con visitas a los sitios escogidos, definiendo un total de 10 estaciones entre avenidas, parques, barrios, áreas Institucionales y privadas (cinco en cada comuna), cada una de ellas con 15 forófitos como *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O. Grose (guayacán amarillo), *Tabebuia rosea* (Bertol.) A.DC. (guayacán rosado) y *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh. (urapán), excepto en la estación blanco que presentó otras especies como *Quercus humboldtii* Bonpl. (Roble andino), *Heliocarpus americanus* L. (Balso blanco), *Cecropia angustifolia* Trécul. (Yarumo), *Nectandra lineata* (Kunth) Rohwer (Laurel), *Ochroma pyramidale* (Lam.) Urb. (Balso tambor), *Tibouchina lepidota* (Bonpl.) Baill. (Siete cueros) y *Lafoensia acuminata* (Ruíz & Pav.) DC. (Guayacán de Manizales). Para esta última, se basó en Correa-Ochoa *et al.* (2020), donde, se expresa la viabilidad de un muestreo aleatorio para este tipo de muestreos (Figura 1).

Para la clasificación fue fundamental contar con las principales características específicas que cuenta cada sitio a escoger. El nivel de tipo de zona, clasifica el lugar donde se encuentra la estación, basada en la distribución o densidad de edificaciones presentes (Ver Tabla 1) (MAVDT, 2010).

**Tabla 1:** Clasificación estaciones de tipo de zona

<b>Tipo de zona</b>	<b>Descripción</b>
Urbana	Área totalmente urbanizada. Un área edificada no estará mezclada con áreas no urbanizadas, excepto parques urbanos.
Suburbana	Área en gran parte urbana edificada, pero estarán mezcladas con las áreas no urbanizadas (p.e. áreas agrícolas, lagos, bosques)
Rural	Todas aquellas que no satisfagan los criterios para áreas urbanas y suburbanas

Fuente: MAVDT (2010)

Por su parte, la clasificación de tipo de área clasifica la estación de acuerdo a la influencia que tiene sobre estas los distintos tipos de fuentes de emisión (Ver Tabla 2). (MAVDT, 2010).

**Tabla 2:** Clasificación estaciones tipo de área

<b>Tipo de área</b>	<b>Descripción</b>
De tráfico	Estaciones ubicadas con nivel de contaminación determinado por emisiones de tráfico cercano
Punto crítico	Estaciones ubicadas a nivel de suelo de apoyo a estudios epidemiológicos.
Industrial	Estaciones ubicadas con nivel de contaminación influenciado por emisiones cercanas de fuentes industriales
	Estaciones ubicadas con nivel de contaminación que no está significativamente influenciado por una fuente o calle directa alguna, sino por la contribución de fuentes que influyen en estas estaciones por el régimen de vientos.
Entorno de fondo	Un ejemplo, son estaciones ubicadas en un centro urbano, bajo influencia indirecta del tráfico o procesos de combustión, debido a la dirección del viento o estaciones en áreas rurales influenciadas por centro urbanos o industrias por el régimen de vientos. Así mismo, se clasifican las estaciones encontradas vientos arriba de la fuente evaluada.

Fuente: MAVDT (2010)

### **7.3.Descripción de las estaciones**

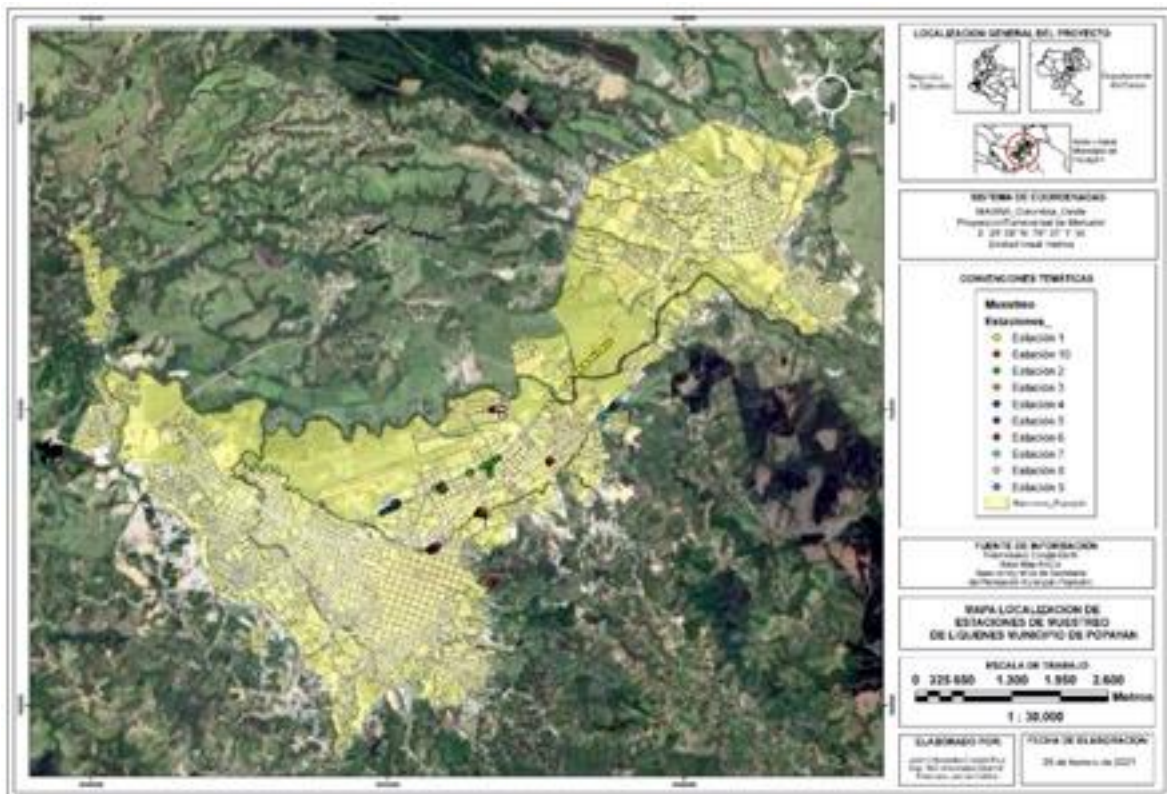
Cada estación contó con una serie de características enmarcadas en lo establecido por el MAVDT (2010) y de acuerdo a los tipos de zona y área se clasificaron en tres tipos (Tablas 2 y 3; Figura 1; Anexo 1).

**Urbanas de tráfico:** comprendieron las ubicadas en la vía Panamericana, que evidencia un alto tráfico vehicular de todo tipo de automotores. Hicieron parte la estación 1 El Tablazo (EET), estación 2 sector Catay (ESC), estación 3 Carantanta (ECT) y estación 4 Terminal de transportes (ETT).

**Urbana de fondo:** estaciones con medianamente flujo vehicular, con presencia de unidades residenciales y parques urbanos. Hicieron parte la estación 5 Parque Mosquera

(EPM), estación 6 Residencias femeninas Universidad del Cauca (ERU), estación 7 Parque Villa Docente (EVD), estación 8 Villa Comfacauca (EVC) y estación 9 Carrera 6N sector Barrio Alicante (EBA).

**Semiurbana:** estación referente o blanco, no urbanizada, muy cercana a la ciudad con una altitud similar. Hizo parte la estación 10 perteneciente al Cerro de las Tres Cruces o de la M (ETC).



**Figura 1:** Ubicación estaciones de muestreo

Fuente: Google Earth – Editado Ing. Forestal Julieth A. Chacón



**Tabla 3:** Localización estaciones de muestreo

<b>Estación</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Altitud (msnm)</b>
Av. Panamericana sector El Tablazo	EET	2° 36' 15.0624'' N 76° 30' 34.0056'' W	1746
Av. Panamericana Sector Catay	ESC	2° 27' 21.7656'' N 76° 35' 47.3136'' W	1763
Sector Carantanta	ECT	2° 27' 09.7884'' N 76° 35' 47.3136'' W	1755
Terminal de transportes	ETT	2° 27' 08.5716'' N 76° 35' 47.3136'' W	1730
Parque Mosquera	EPM	2° 26' 41.2244'' N 76° 36' 17.7748'' W	1723
Residencias Femeninas	ERU	2° 26' 56.8026'' N 76° 35' 56.8363'' W	1749
Universidad del Cauca	EVD	2° 27' 20.3364'' N 76° 35' 24.8172'' W	1760
Parque Villa Docente	EVC	2° 27' 42.6168'' N 76° 35' 50.5968'' W	1756
Villa Comfacauca	EBA	2° 27' 39.2148'' N 76° 35' 02.9760'' W	1760
Cra. 6N Sector Barrio Alicante	ETC	2° 27' 20.6064'' N 76° 35' 24.4320'' W	1762
Cerro tres cruces (referente)			

Fuente: Fernández *et al.* (2013)

#### 7.4. Muestreo y técnica de recolección de datos

El trabajo de campo se desarrolló en un tiempo de dos meses, entre septiembre y noviembre de 2020. Las unidades de muestreo fueron los forófitos establecidos en cada estación y se siguió la metodología propuesta por Cáceres *et al.* (2007, 2008) y de acuerdo a las observaciones de Simijaca-Salcedo *et al.* (2011, 2014) y Soto-Medina *et al.* (2012) y Jaramillo (2020), donde se seleccionaron quince individuos de especies de forófitos mencionados anteriormente, con diámetro del tronco superior a 20 cm y representativos por su abundancia en todas las estaciones de muestreo (Soto-Medina *et al.* 2012). En la selección de los forófitos se siguió la metodología de Monge & Nájera, *et al.* (2002), en el cual, los árboles hospederos no presentaron señales de actividad humana, como encalamiento, pintura, fisuras o daños por animales (Jaramillo & Botero, 2010).

Se trabajó con un método de muestreo cuantitativo (Cáceres *et al.* 2007, 2008), donde en cada forófito, se estableció un cuadrante de 50 x 20 cm<sup>2</sup>, subdividida en 250 cuadros iguales de 2 x 2 cm (4 cm<sup>2</sup>), ubicado en el tronco de cada árbol, estimando el porcentaje de cobertura de cada especie en el cuadrante, de modo que la porción central coincida con la parte del tronco con máxima densidad de líquenes, a 1.3 m de altura desde la base, y en el lado oriental (Soto-Medina *et al.*, 2012), para evitar influencia del suelo y ramas.

Los talos se colectaron con ayuda de una navaja en bolsas de papel con su respectiva rotulación o etiquetado (N° de colección, N° de estación, N° de forófito y fecha), que será inicial y servirán para almacenarlas mientras se depositan en los sobres de colección y herborización final con su etiqueta. Los datos en campo se tomaron en una ficha creada para este fin y luego se almacenaron en una plantilla de Microsoft Excel, para su posterior análisis en los paquetes estadísticos. Para el registro visual del trabajo, se utilizó una cámara fotográfica *Sony Cyber-shot Optical SteadyShot DSC-H55* y la observación directa de en campo de los líquenes, se empleó una lupa *MAGNIFIER* de doble aumento 30 x 22 mm y 60 x 12 mm.

### **7.5. Trabajo de laboratorio**

Las muestras colectadas se secaron a temperatura ambiente y su identificación taxonómica fue mediante el uso de literatura disponible, claves especializadas de Sipman (2006), Lücking *et al.* (2009), descripciones de caracteres morfológicos y anatómicos (apotecios, peritecios o lirelas), cuando estén presentes y asesoría de expertos en el tema, especialmente del Grupo Colombiano de Liquenología (GCOL). Para la actualización de los nombres científicos se empleó la base de datos de Mycobank y la actualización del catálogo de líquenes para Colombia (Lücking *et al.* 2021).

Los análisis químicos se basaron en pruebas de coloración, por medio de las diferentes pruebas químicas asociadas a la taxonomía de líquenes como la prueba K (Hidróxido de potasio), prueba C (Hipoclorito de sodio), prueba PD (parafenilendiamina), generalmente en el talo para reconocer algunos los metabolitos secundarios y la prueba I (solución yodada) para determinar la amiloidea del himenio, ascas y ascosporas y análisis

físicos por medio de las pruebas UV. Los especímenes colectados se depositaron en la sección de líquenes del Herbario Álvaro Fernández Pérez (AFP).

### **7.6. Concentración de metales pesados**

Para conocer la concentración de metales pesados, se empleó la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), con el equipo Shimadzu, sobre el extracto principal del líquen, el cual fue pulverizado y posteriormente tratado con acetato de amonio 1 N con pH 7, dejándolo 24 horas en proceso de extracción. La determinación de la cantidad de bases, se fundamentan en el equilibrio que se establece en la solución extractora, que suministra cationes y el líquen donde se efectúa el intercambio. Se usaron 5 gramos de muestra y 50 ml de acetato de amonio y lantano. Para los elementos Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Zinc (Zn) y Cobre (Cu), se realizó por ionización de llama extracto obtenido del tratamiento de la muestra de acetato de amonio neutro y E.D.T.A. Para los elementos Aluminio (Al) se realizó el método de Azomethina H - Fotométrico y para Boro (B), por medio de extracción KCl, con una prueba de titulación - volumétrica (Al). La prueba se llevó a cabo en la Universidad del Quindío, en el laboratorio de suelos. Para ello, se escogieron cuatro especies representativas por su frecuencia en todas las estaciones de muestreo, como fueron: *Parmotrema sancti-angelii* (Lyngé) Hale, *Punctelia* cf. *rudecta* (Ach.) Krog, *Flavoparmelia* sp., y *Pyxine cocoes* (Sw.) Nyl. El análisis de los resultados se realizó con base en la Norma Técnica Colombiana NTC 5167.

### **7.7. Análisis y sistematización de los datos**

Para el tratamiento estadístico de los datos, se empleó estadística descriptiva para evaluar los patrones de los datos registrados en el muestreo, a partir de gráficos como histogramas, cajas esquemáticas y gráficos de dispersión para entender los patrones de los datos de las especies encontradas, por medio del Software Statistica 7.1. (Statsoft, 2005).

La diversidad alfa se aplicó mediante la riqueza de especies (número de especies presentes o riqueza específica S) y la diversidad por forófito con los índices ecológicos de Margalef (D Mg) que asume la relación entre número de especies y número de individuos, Shannon (H') refleja que tan uniformes están representadas las especies (abundancia),

teniendo en cuenta todas las especies muestreadas, Dominancia de Simpson (D') que toma en cuenta la dominancia de las especies con mayor representatividad (Moreno, 2001), por medio de Software Past (Hammer *et al.* 2001). Para la representatividad de muestreo y curvas de acumulación de especies se realizaron con estimaciones paramétricas y no paramétricas de la riqueza. En la estimación paramétrica de la riqueza, se realizó una comparación de la curva de acumulación proyectada. Para determinar los ajustes del modelo se utilizó el modelo Lomolino que relaciona lo siguiente:

$$S/(1 + m^{\log(D/A)})$$

S: número máximo asintótico de especies

m: máxima pendiente de incremento de la riqueza de las especies

D: área para la cual se alcanza la mitad de la riqueza, en este caso el número de bloques para el cual se alcanza la mitad de la riqueza y

A: área o tamaño de muestra, la variable independiente.

En la estimación no paramétrica de la riqueza, a continuación, se realizó una estimación de la riqueza de las especies extrapoladas o el número de especies observadas con los estimadores no paramétricos Chao, Jackknife 1 y 2 y Bootstrap.

Chao	$S_P = S_0 + a1^2/(2*a2)$
Jackknife de primer orden	$S_P = S_0 + a1*(N-1)/N$
Jackknife de segundo orden	$S_P = S_0 + a1*(2*n-3)/n - a2*(n-2)^2/n/(n-1)$
Bootstrap	$S_P = S_0 + \text{Sum } (1-p_i)^N$

$S_P$ : riqueza extrapolada en una zona

$S_0$ : número de especies observadas en el muestreo

$a1$  y  $a2$ : número de especies que se encuentran sólo en uno o sólo en dos sitios de la colección

$p_i$ : frecuencia de la especie  $i$

$N$ : número de sitios de la colección.

Para la curva de acumulación y los modelos proyectados, se utilizó los modelos de proyección de la curva y el modelo Lomolino de Oksanen *et al.* (2013) del Package Vegan para ecología y diversidad, versión 2.0 1.0 (2013) para el software R y Chao (1987).

La diversidad beta (recambio de especies entre forófito), se midió a través del índice de similitud de Sørensen (Bray-Curtis), y poder determinar qué tan similares o disímiles son las muestras de acuerdo a la composición de especies de líquenes. Además, se realizó un escalamiento no métrico multidimensional (NMS), usando el índice de similitud de Sørensen (Bray-Curtis) para evaluar la relación entre las variables medidas y los agrupamientos en el NMS de acuerdo a la composición de especies de líquenes, ambos usando el software Past (Hammer *et al.* 2001). Finalmente, se empleó un análisis de especies indicadoras (simulación de Monte Carlo) con el Package Indicspecies para relaciones entre especies y grupos versión 1.7.9 (2020) para el software R (De Caceres *et al.* 2020), teniendo en cuenta la significancia estadística ( $p \leq 0.05$ ), para detectar preferencias de estaciones.

### 7.8. Índice de Pureza Atmosférica – IPA

Para estimar los niveles de contaminación se tuvo en cuenta la propuesta de LeBlanc *et al.* (1972) el cual se establece teniendo en cuenta la cobertura, frecuencia, diversidad y especies compartidas (acompañantes) y fue calculado de la siguiente manera:

$$IAP = \sum_n \frac{(Q_i \times f)}{10}$$

**Q<sub>i</sub>**: Factor de resistencia (número de especies acompañantes /número de estaciones donde está la especie).

**F**: Cobertura y frecuencia de cada especie

**n**: Número de especies

Así mismo, se empleó el método alternativo suizo propuesto por Kricke & Loppi, (2002). Para esta fórmula los valores de F se calcularon de acuerdo a la escala con valores de 1 a 5 (Tabla 4)

$$IAP_H = \sum_i^n F$$

**Tabla 4:** Escala cálculo cobertura y frecuencia para IPA

<b>Escala</b>	<b>Explicación</b>
1	La especie se encuentra en hasta 2 forófitos y tiene un valor bajo de cobertura (0% - 25%).
2	La especie se encuentra en hasta 5 forófitos y tiene un valor bajo de cobertura (0% - 25%).
3	La especie se encuentra en hasta 5 forófitos y tiene un valor medio de cobertura (25,1% - 75%).
4	La especie se encuentra en 6 a 10 forófitos, y tiene un valor alto de cobertura (75,1% - 100%).
5	La especie se encuentra en 8 a 10 forófitos, y tiene un valor alto de cobertura (75,1% - 100%).

Para determinar el factor de resistencia, se realizó mediante la aplicación del cociente, que toma en cuenta las especies acompañantes y el número de estaciones donde se está presente la especie:

$$Qi = \frac{S \text{ spp acomp}}{N \text{ est.}}$$

**S spp. acomp:** suma de especies acompañantes en cada estación donde se encuentra i.

**N. est:** número de estaciones donde se encuentra i.

### **7.9. Factor de Clasificación Ambiental - FCA**

De la misma manera, se calculó el Factor de Clasificación Ambiental o FCA como complemento a la medida del IPA propuesto por Käffer *et al.* (2011), que toma en cuenta la morfología del talo (biotipo), asignando valores de acuerdo a la morfología de cada biotipo con base en la escala (Tabla 5), dándole importancia una alta importancia a la morfología de fruticosos (Díaz-Escandón *et al.* 2014).

**Tabla 5:** Escala clasificación cobertura por biotipo para FCA

Escala de cobertura del grupo morfológico de costrosos		Escala de cobertura de los grupos morfológicos de foliosos, micro-foliosos y escumulosos		Escala de cobertura del grupo morfológico de fruticosos	
Cover (%)	Scale	Cover (%)	Scale	Cover (%)	Scale
0 - 20	9	0 - 20	10	Absent	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 - above	15

La determinación del FCA como complemento para el IPA por Käffer *et al.* (2011), se calculó por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{FCA} = \frac{(\text{CGMc} + \text{CGmfo} + \text{CGMfr}) \times \text{IAP}}{100}$$

**FCA:** Factor de Clasificación Ambiental (Fator de Classificação Ambiental)

**CGMc:** Cobertura grupo morfológico costrosos

**CGmfo:** Cobertura grupo morfológico foliosos

**CGMfr:** Cobertura grupo morfológico fruticosos

**IAP:** Índice de Pureza Atmosférica (Index Atmospheric Purity)

La identificación de las zonas de isocontaminación, se realizó a partir de la marcación de polígonos sobre el mapa de las comunas de la ciudad elegidas, teniendo como referencia a las estaciones de muestreo. Dicha marcación de los polígonos obedeció a la escala planteada LeBlanc *et al.* (1972), que establecen intervalos de acuerdo a los resultados obtenidos y agruparán las estaciones para determinar los niveles de contaminación en zonas de I a V (Käffer *et al.* 2011) (Tabla 6).

**Tabla 6:** Clasificación áreas muestreadas

<b>Zona</b>	<b>Clasificación</b>
Zona I	Desierto liquénico (1.0 a 5.5)
Zona II	Pobre en líquenes (5.6 a 15.5)
Zona III	Transición (15.6 a 35.5)
Zona IV	Normal (35.6 a 75.5)
Zona V	Optima (por encima de 75.6)

Finalmente, la representación cartográfica del IPA y FCA se digitalizó con el software ArcGis versión 10.1, donde se ubicaron las estaciones de muestreo georreferenciadas y a partir de las cuales se generaron los polígonos de áreas de isocontaminación.



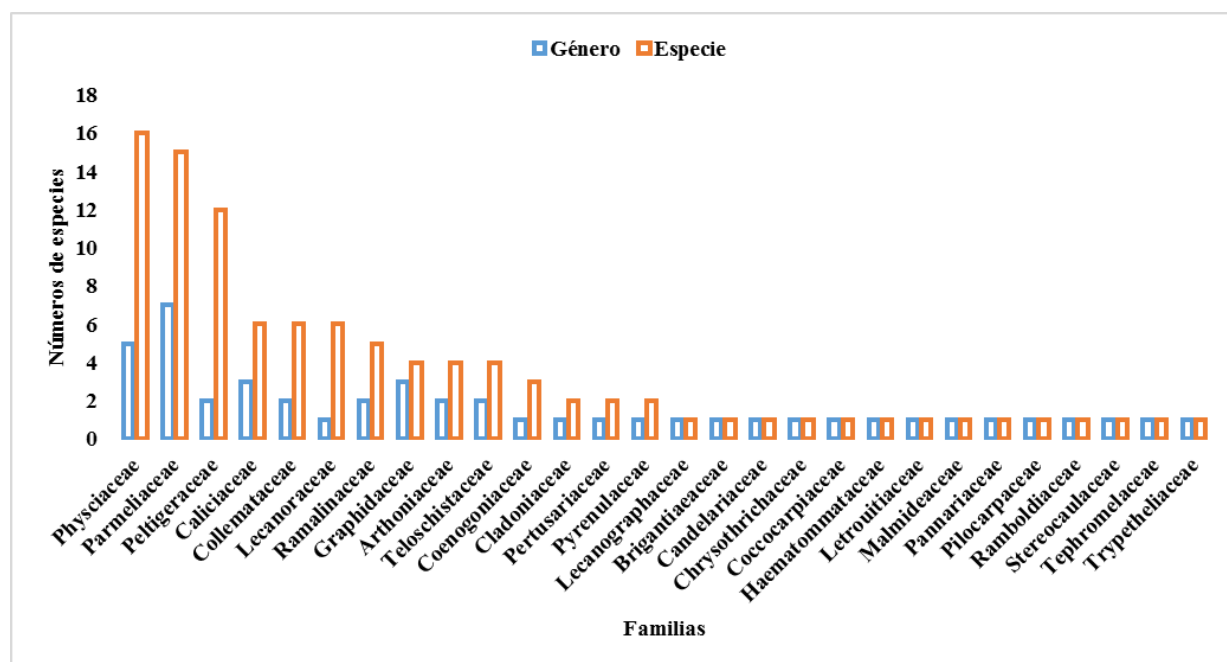
## 8. Resultados y discusión

### 8.1. Composición específica y diversidad

Se registró una riqueza específica un total de 112 especies en el estudio, donde se identificaron 66 líquenes a especie, 35 a género y 11 no fueron determinados. De igual manera, las especies registradas se encontraron distribuidos en 28 familias y 47 géneros (Figura 2 y Tabla 8). Las familias más representativas con mayor número de géneros y especies fueron Physciaceae (5 géneros/ 16 especies) con el 14.2 %, Parmeliaceae (7/15), que corresponden al 13.4 % de las especies reportadas, además, de Peltigeraceae (2/12) con el 10.7 %, Caliciaceae (3/6) con el 5.3 %, Collemataceae (2/6) con el 5.3 %, Lecanoraceae (1/6) con el 5.3%, Ramalinaceae (2/5) con el 4.7 %, y Graphidaceae (4/4) con el 3.6%. Dichos resultados muestran un patrón similar al evidenciado por Soto-Medina *et al.* 2021 en la composición y riqueza de líquenes en Colombia con Parmeliaceae, Graphidaceae y Ramalinaceae. Para el caso de Physciaceae, se caracteriza por encontrarse muy frecuente en áreas urbanas (Rindita *et al.* 2015; Correa-Ochoa *et al.* 2020). Por su parte, Parmeliaceae de acuerdo a Divakar *et al.* (2006), Nimis *et al.* (1990) & Correa-Ochoa *et al.* 2020 es la familia más grande por su amplia distribución, además, de incluir taxones considerados como bioindicadores de calidad del aire. Así mismo, las familias Parmeliaceae y Physciaceae son las familias más representativas en cuanto a riqueza de géneros y especies en Colombia (Chaparro & Aguirre, 2002; Correa-Ochoa *et al.* 2020). Lobariaceae (ahora Peltigeraceae) albergó una alta riqueza de especies, donde el área de mayor concentración se presenta en condiciones de baja luminosidad y alta humedad en el aire (Sipman & Aptroot, 2007; Torres, 2014), muy relacionado con el estudio, en el cual, la estación CTC presentó la mayor cantidad de especies de esta familia.

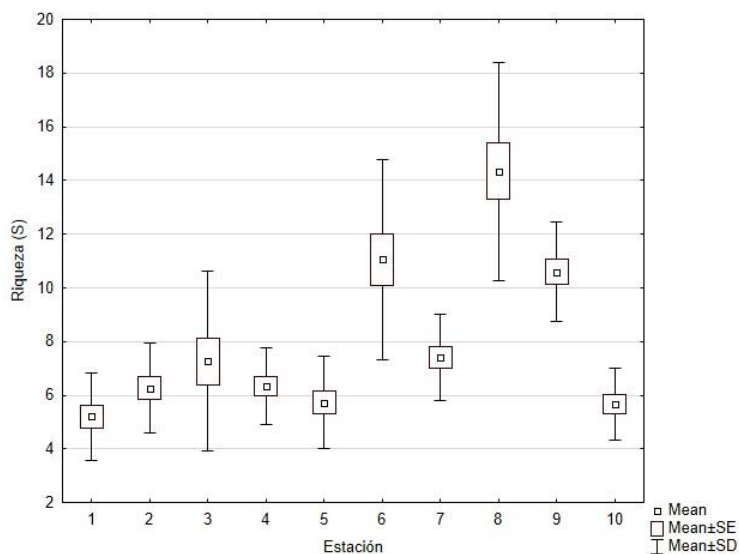
Ahora bien, teniendo en cuenta, el estudio de bioindicación empleando líquenes en Popayán en el año 2002, fueron registradas 78 especies incluyendo la zona de referencia que fue el Jardín botánico de Popayán, aumentando cerca de un 35% (39 especies). Si bien se tomaron en cuenta menos estaciones y una parte de ciudad (comunas 1 y 3), la cantidad de forófitos por estación si aumentó considerablemente, lo que es posible que explique la

mayor riqueza de especies de líquenes, además, de tomar en cuenta a tres especies de forófitos en el muestreo (excepto la estación referente, ECT).



**Figura 2:** Géneros y especies de líquenes distribuidos por familias

En cuanto a las especies distribuidas en las estaciones de muestreo, la estación EVC fue la registró mayor cantidad de especies 216 (14 en promedio), seguido de la estación ERU con 166 especies (11) y la estación EBA con 159 especies (11). Dichas estaciones especialmente las dos primeras, presentan similitud en cuanto a sus características al ubicarse en vías de tipo secundario, donde el flujo automotor no es muy elevado, además, de ser áreas bien conservadas, al hacer parte de entidades privadas y públicas y las comunas 1 y 3 respectivamente. En contraste, las estaciones EPM con 86 especies (6), ETC 84 especies (6) y EET 78 especies (5), fueron las que albergaron menor número de especies, las dos primeras pertenecen a la comuna 3 y la última a la comuna 1 (Figura 3). En términos de riqueza por comuna, la tres (estaciones 5, 6, 7, 9 y 10) presentó la mayor cantidad especies con 193, en comparación a la uno (1, 2, 3, 4 y 8) con 156 especies. Lo anterior, probablemente, porque la comuna tres albergó sitios ubicados en vías secundarias y de bajo tráfico vehicular, a diferencia de la comuna uno, exceptuando de esta última la estación 8 que presentó la mayor riqueza del estudio.



**Figura 3:** Riqueza de especies por estaciones.

En cuanto a los géneros, se destacan *Sticta* (11 especies), *Lecanora*, *Parmotrema* y *Physcia* (6), *Heterodermia* y *Leptogium* (5), *Bacidia*, *Caloplaca*, *Coenogonium*, *Herpothallon*, *Punctelia* y *Pyxine* (3), que representan el 51% (57) del total de las especies registradas. La gran mayoría de géneros presentaron entre 1 y 2 especies destacándose algunos como *Dirinaria*, *Hyperphyscia*, *Pyrenula* (2) y *Bulbothrix*, *Cratiria*, *Letrouitia*, *Malmidea* y *Tephromela* (1) (Tabla 7).

**Tabla 7:** Géneros representativos

<b>Géneros</b>	<b>Especies</b>	<b>%</b>
<i>Sticta</i>	11	9.8
<i>Lecanora</i>	6	5.3
<i>Parmotrema</i>	6	5.3
<i>Physcia</i>	6	5.3
<i>Heterodermia</i>	5	4.5
<i>Leptogium</i>	5	4.5
<i>Bacidia</i>	3	2.7
<i>Caloplaca</i>	3	2.7
<i>Coenogonium</i>	3	2.7
<i>Herpothallon</i>	3	2.7
<i>Punctelia</i>	3	2.7
<i>Pyxine</i>	3	2.7
<b>57</b>	<b>51%</b>	

Esta información se soporta, debido que géneros como *Parmotrema*, *Coenogonium*, *Leptogium* y *Herpothallon* se reportan de amplia distribución en el País, al igual, que *Sticta*, *Punctelia* para el sector de los andes colombianos. (Soto *et al.* 2021). Un patrón observado se presenta en las estaciones ubicadas en las zonas de alto tráfico vehicular, la riqueza de especies no es significativa respecto a la cantidad de forófitos muestreados, muchas de las especies, en especial macrolíquenes como *Parmotrema*, *Punctelia* y *Flavoparmelia*, ocupan un alto porcentaje del tronco de los forófitos, a diferencia, de otras estaciones ubicadas en vías secundarias o parques, donde, la riqueza es mayor en cada forófito.

**Tabla 8:** Especies registradas en el estudio

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>
Arthoniaceae	<i>Herpothallon</i>	<i>mínimum</i> Aptroot & Lücking
	<i>Herpothallon</i>	<i>rubrocinctum</i> (Ehrenb.) Aptroot, Lücking & G. Thor
	<i>Herpothallon</i>	<i>pustulatum</i> G. Thor
Brigantiaeaceae	<i>Coniocarpon</i>	<i>cinnabarinum</i> DC.
	<i>Brigantiaea</i>	<i>leucoxantha</i> (Spreng.) R. Sant. & Hafellner
Caliciaceae	<i>Dirinaria</i>	sp.
	<i>Dirinaria</i>	<i>applanata</i> (Fée) D.D. Awasthi
	<i>Pyxine</i>	sp.
	<i>Pyxine</i>	<i>cocoes</i> (Sw.) Nyl.
	<i>Pyxine</i>	cf. <i>sorediata</i> (Ach.) Mont.
	<i>Cratiria</i>	<i>obscurior</i> (Stirt.) Marbach & Kalb
	<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i> (Dicks.) Arnold
Candelariaceae	<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i> (Dicks.) Arnold
Chrysothrichaceae	<i>Chrysothrix</i>	<i>candelaris</i> (L.) J.R. Laundon
Cladoniaceae	<i>Cladonia</i>	sp.
	<i>Cladonia</i>	<i>ceratophylla</i> (Sw.) Spreng.
Coccocarpiaceae	<i>Coccocarpia</i>	<i>palmicola</i> (Spreng.) Arv. & D.J.Galloway
Coenogoniaceae	<i>Coenogonium</i>	sp.
	<i>Coenogonium</i>	cf. <i>linkii</i> Ehrenb.
	<i>Coenogonium</i>	<i>strigosum</i> Rivas Plata, Lücking & Chaves
Collemaaceae	<i>Leptogium</i>	<i>phyllocarpum</i> (Pers.) Nyl.
	<i>Leptogium</i>	sp.1
	<i>Leptogium</i>	<i>isidiosellum</i> (Riddle) Sierk
	<i>Collema</i>	sp.
	<i>Leptogium</i>	<i>cyanescens</i> (Ach.) Körb
	<i>Leptogium</i>	sp. 2
Graphidaceae	<i>Graphis</i>	<i>chondroplaca</i> (Redinger) Lücking
	<i>Graphis</i>	<i>scripta</i> (L.) Ach.
	<i>Glyphis</i>	<i>cicatricosa</i> Ach.

	<i>Phaeographis</i>	<i>lobata</i> (Eschw.) Müll.Arg.
Haematommataceae	<i>Haematomma</i>	<i>flexuosum</i> Hillmann
Lecanographaceae	<i>Alyxoria</i>	<i>varia</i> (Pers.) Ertz & Tehler
Lecanoraceae	<i>Lecanora</i>	<i>helva</i> Stizenb.
	<i>Lecanora</i>	sp. 1
	<i>Lecanora</i>	sp. 2
	<i>Lecanora</i>	sp. 3
	<i>Lecanora</i>	sp. 4
	<i>Lecanora</i>	sp. 5
Letrouitiaceae	<i>Letrouitia</i>	<i>flavidula</i> (Tuck.) Hafellner
Malmideaceae	<i>Malmidea</i>	<i>hypomelaena</i> (Nyl.) Kalb & Lücking
Pannariaceae	<i>Pannaria</i>	sp.
Parmeliaceae	<i>Crespoa</i>	<i>crossalziana</i> (B. de Lesd. ex Harm.) Lendemer & B.P. Hodk.
	<i>Parmotrema</i>	<i>sancti-angelii</i> (Lynge) Hale
	<i>Parmotrema</i>	cf. <i>tinctorum</i> (Despr. ex Nyl.) Hale
	<i>Punctelia</i>	<i>stictica</i> (Delise ex Duby) Krog
	<i>Punctelia</i>	cf. <i>rudecta</i> (Ach.) Krog
	<i>Punctelia</i>	sp.
	<i>Parmotrema</i>	sp.
	<i>Flavoparmelia</i>	sp.
	<i>Parmotrema</i>	<i>permutatum</i> (Stirt.) Hale
	<i>Usnea</i>	sp.
	<i>Hypotrachyna</i>	<i>costaricensis</i> (Nyl.) Hale
	<i>Parmotrema</i>	cf. <i>austrosinense</i> (Zahlbr.) Hale
	<i>Bulbothrix</i>	<i>bicornuta</i> (Müll. Arg.) Hale
	<i>Parmotrema</i>	<i>reticulatum</i> (Taylor) M.Choisy
	<i>Hypotrachyna</i>	sp.
Peltigeraceae	<i>Sticta</i>	sp 1
	<i>Sticta</i>	<i>scabrosa</i> Moncada & Suárez
	<i>Sticta</i>	sp. 2
	<i>Sticta</i>	<i>pseudosylvatica</i> Moncada & Suarez
	<i>Crocodia</i>	<i>aurata</i> (Ach.)
	<i>Sticta</i>	cf. <i>cometia</i> Ach.
	<i>Sticta</i>	cf. <i>minutula</i> Moncada & Lücking
	<i>Sticta</i>	sp. 3
	<i>Sticta</i>	aff. <i>luteocyphellata</i> Moncada & Lücking
	<i>Sticta</i>	<i>plumbeociliata</i> Moncada & Lücking
	<i>Sticta</i>	<i>cometiella</i> Vain.
	<i>Sticta</i>	<i>laminobeauvoisii</i> Moncada & Lücking
Pertusariaceae	<i>Pertusaria</i>	<i>cicatricosa</i> Müll. Arg
	<i>Pertusaria</i>	sp.
Physciaceae	<i>Physcia</i>	<i>undulata</i> Moberg

	<i>Hyperphyscia</i>	<i>syncolla</i> (Tuck. ex Nyl.) Kalb
	<i>Physcia</i>	<i>sorediosa</i> (Vain.) Lynge
	<i>Heterodermia</i>	sp.1
	<i>Physcia</i>	sp. 1
	<i>Polyblastidium</i>	<i>japonicum</i> (M. Satô) Kalb
	<i>Physcia</i>	sp. 2
	<i>Physcia</i>	<i>erumpens</i> Moberg
	<i>Heterodermia</i>	<i>albicans</i> (Spreng.) Arv. & D.J.Galloway
	<i>Heterodermia</i>	<i>obscurata</i> (Nyl.) Trevis.
	<i>Physcia</i>	<i>pachyphylla</i> Müll.
	<i>Heterodermia</i>	<i>kurokawe</i> Trass
	<i>Hyperphyscia</i>	<i>adglutinata</i> (Flörke) H. Mayrhofer & Poelt
	<i>Leucodermia</i>	<i>leucomelos</i> (L.) Kalb.
	<i>Heterodermia</i>	sp.2
	<i>Physcia</i>	sp. 3
Pilocarpaceae	<i>Fellhanera</i>	sp.
Pyrenulaceae	<i>Pyrenula</i>	cf. <i>macrospora</i> (Degel.) Coppins & P. James
	<i>Pyrenula</i>	<i>thelomorpha</i> Tuck.
Ramalinaceae	<i>Ramalina</i>	<i>celastri</i> (Spreng.) Krog & Swinscow
	<i>Bacidia</i>	<i>rosella</i> (Pers.) De Not
	<i>Ramalina</i>	<i>complanata</i> (Sw.) Ach
	<i>Bacidia</i>	sp.1
	<i>Bacidia</i>	sp.2
Ramboldiaceae	<i>Ramboldia</i>	<i>russula</i> (Ach.) Kalb, Lumbsch & Elix
Stereocaulaceae	<i>Lepraria</i>	sp.
Teloschistaceae	<i>Caloplaca</i>	sp.1
	<i>Teloschistes</i>	<i>flavicans</i> (Sw.) Norm.
	<i>Caloplaca</i>	sp. 2
	<i>Caloplaca</i>	sp. 3
Tephromelaceae	<i>Tephromela</i>	<i>atra</i> (Huds.) Hafellner
Trypetheliaceae	<i>Bogoriella</i>	sp.
Especies indeterminadas	Costroso sp.1	
	Costroso sp.2	
	Costroso sp.3	
	Costroso sp.4	
	Costroso sp.5	
	Costroso sp.6	
	Costroso sp.7	
	Costroso sp.8	
	Folioso sp.1	
	Costroso sp.9	
	Folioso sp.2	

## 8.2. Biotipos

En cuanto a los biotipos, los foliosos predominan por encima de costrosos, gelatinosos, fruticosos, filamentosos, dimórficos y rudimentarios. (Ver Tabla 9).

**Tabla 9:** Biotipos encontrados en el estudio

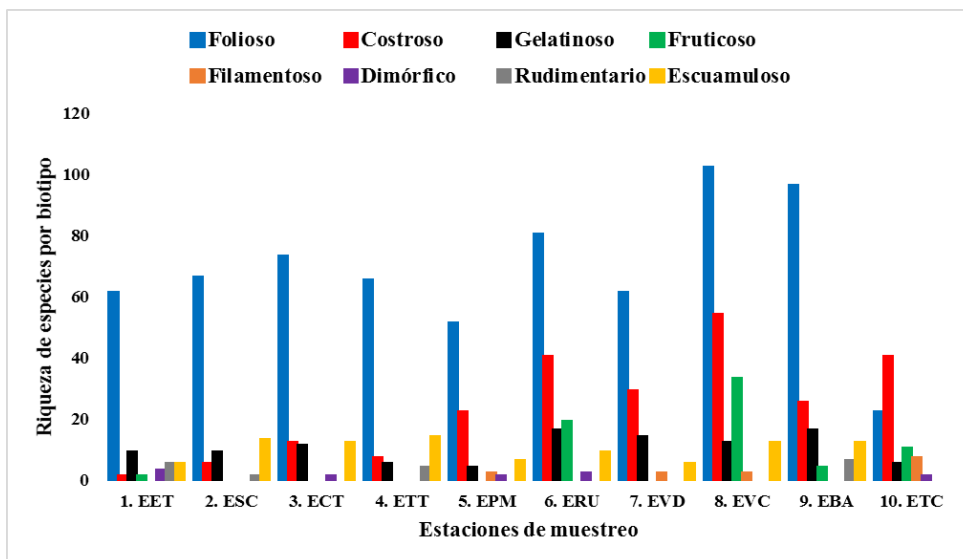
<b>Biotipo</b>	<b>N° de especies</b>	<b>%</b>
Folioso	52	45
Costroso	46	40
Gelatinoso	6	5
Fruticoso	4	3
Filamentoso	3	2
Dimórfico	2	2
Rudimentario	2	2
Escumuloso	1	1
TOTAL	116	100

La alta presencia de foliosos es posible a que tienen su óptimo de expresión en ambientes de elevaciones medianas como las regiones andinas (Aguirre 2008; Sipman, 2011; Rincón-Espitia *et al.* 2011; Torres, 2014). Estos ecosistemas regulados por una humedad relativa constante favoreciendo este tipo de morfología propia de áreas muestreadas como ERU, EBA y EVC, que albergaron el mayor número de especies. Estos biotipos de líquenes suelen ser indicadores sensibles de los niveles de contaminación, ya que no se adhieren estrechamente al sustrato y, por lo tanto, dependen en gran medida del aire (Lücking, 1997; Correa-Ochoa *et al.* 2020).

De igual modo, la presencia de especies de gelatinosos, se explican por su preferencia en zonas de alta humedad y baja intensidad lumínica, típicamente de la parte baja de los forófitos o con presencia dispersa en forófitos con baja luminosidad (Simpan & Aptroot, 2007; Díaz-Escandón *et al.* 2014; Chilito-López *et al.* 2016). En cuanto a los biotipos costrosos, una probable explicación a la alta diversidad de líquenes costrosos se debe principalmente, a las adaptaciones fisiológicas que presentan estos organismos ante las altas concentraciones de humedad y baja intensidad lumínica (Lakatos *et al.* 2006; Rincón-Espitia, *et al.* 2011). Así mismo, mejora la cantidad de especies cuando mejora la

calidad del aire, condiciones propias de los sitios muestreados como es el caso de las estaciones ERU, EVC y EBA, además, de la estación CTC, donde la cantidad de especies de este biotipo fueron altas. Jaramillo & Botero (2010) & Correa-Ochoa *et al.* (2020), afirman que en los líquenes costrosos las estructuras reproductivas presentan un óptimo desarrollo debido a las condiciones del ambiente.

Por otro lado, una baja presencia de talos fruticosos como *Ramalina*, *Usnea* y *Teloschistes*, puede deberse a las condiciones propias de las zonas estudiadas, las cuales, al presentar árboles de gran tamaño, generan zonas o micrositos con condiciones de mayor humedad y menor luminosidad, y este tipo de desarrollo se encuentran adaptados a la radicación solar, al viento y baja humedad relativa (Rosabal *et al.* 2012, Cabrera *et al.* 2015; Chilito-López *et al.* 2016). Sin embargo, la alta presencia de estos géneros en las estaciones EVC (33 ejemplares), ERU (19) y ETC (10), indican una buena calidad del aire, debido a que no toleran altas concentraciones de contaminantes atmosféricos (Perlmutter *et al.* 2017; Correa-Ochoa *et al.* 2020), condiciones propias del sitio, ya que, es la estación referente. Dichas estaciones, se ubicaron en zonas de vías secundarias, con un grado menor de exposición a contaminantes atmosféricos y con buena intensidad lumínica, a excepción de ETC que fue el referente y la más alejada de la zona urbana (Figura 4).



**Figura 4:** Especies por biotipos en las estaciones de muestreo



Los biotipos foliosos, costrosos y gelatinosos estuvieron presentes en todas las estaciones, con mayor representatividad de los dos primeros. Los biotipos escumulosos solamente no tuvieron presencia en la estación Cerro Tres Cruces. Los demás biotipos (filamentoso, dimórfico, rudimentario y fruticoso), se presentaron entre 4 y 5 estaciones. Si bien, se empleó un método que asegura la colecta de diversos biotipos y especies de líquenes, teniendo en cuenta los microlíquenes, en las áreas urbanas con avenidas y parques y al no ser ecosistemas naturales, no representaron una alta riqueza, debido a los requerimientos adaptativos que los organismos que lo ocupan deben tener (Moncada *et al.* 2015). Sumado a esto, una baja disponibilidad de microhábitats en comparación a los bosques tropicales (Simpan, 1996; Lücking & Lücking, 1996; Rincón, 2011), puede ser la explicación más precisa al no encontrar un alto número de especies, reflejado con el alto número de forófitos muestreados. De igual manera, las zonas con alta heterogeneidad de biotipos fueron asociados con bajos niveles de contaminación, como fue el caso de las estaciones 6, 8 y 9.

### **8.3.Frecuencia**

Las especies de mayor representatividad por su alta frecuencia fueron *Parmotrema sancti-angelii* (88 de 150 forófitos), correspondiente a 58.6 % del total de los forófitos muestreados, *Candelaria concolor* (74 – 49.3%), *Flavoparmelia* sp. (73 – 48.6%), *Punctelia* c.f. *rudecta* (63 – 42%), *Pyxine cocoes* (60 - 40%) y *Leptogium isidiosellum* (59 - 39.3%). En cambio, *Heterodermia albicans* (12 forófitos), *Lecanora helva* (18), *Parmotrema* cf. *austrosinense* (15) *Dirinaria applanata* (12), *Cratiria obscurior* (5) y *Tephromela atra* (1), fueron las especies de menor frecuencia, siendo así, que 72 especies del total (62%) estuvieron presentes entre 1 y 8 forófitos (Tabla 10).

**Tabla 10:** Frecuencia de especies

<b>Frecuente</b>	<b>Poco frecuente</b>
<i>Parmotrema sancti-angelii</i> (88 forófitos)	<i>Heterodermia albicans</i> (21 forófitos)
<i>Candelaria concolor</i> (74)	<i>Lecanora helva</i> (18)
<i>Flavoparmelia</i> sp. (73)	<i>Leptogium cyanescens</i> (18)
<i>Punctelia</i> cf. <i>rudecta</i> (63)	<i>Hypotrachyna costaricensis</i> (16)
<i>Pyxine cocoes</i> (60)	<i>Parmotrema</i> cf. <i>austrosinense</i> (15)
<i>Leptogium isidiosellum</i> (59)	<i>Ramboldia russula</i> (13)
<i>Dirinaria</i> sp. (53)	<i>Dirinaria applanata</i> (12)
<i>Polyblastidium japonicum</i> (32)	<i>Pertusaria cicatricosa</i> (11)
<i>Lepraria</i> sp. (29)	<i>Cratiria obscurior</i> (5)
<i>Herpothallon minimum</i> (28)	<i>Tephromela atra</i> (1)

#### 8.4.Cobertura

Entre tanto la cobertura, se destacaron especies como *Flavoparmelia* sp. (10973 cm<sup>2</sup>), *Parmotrema sancti-angelii* (7891 cm<sup>2</sup>), *Punctelia* cf. *rudecta* (7296 cm<sup>2</sup>) y *Dirinaria* sp. (5305 cm<sup>2</sup>). Por su parte, *Sticta pseudosylvatica* (92cm<sup>2</sup>), *Bacidia* sp.2 (80cm<sup>2</sup>), *Letrouitita flavidula* (40cm<sup>2</sup>), *Malmidea hypomelaena* (16cm<sup>2</sup>) y *Caloplaca* sp.1 (8cm<sup>2</sup>) no presentaron alta cobertura, al igual, que más de 44 especies (40%) que no superan los cm<sup>2</sup> de cobertura (Tabla 11).

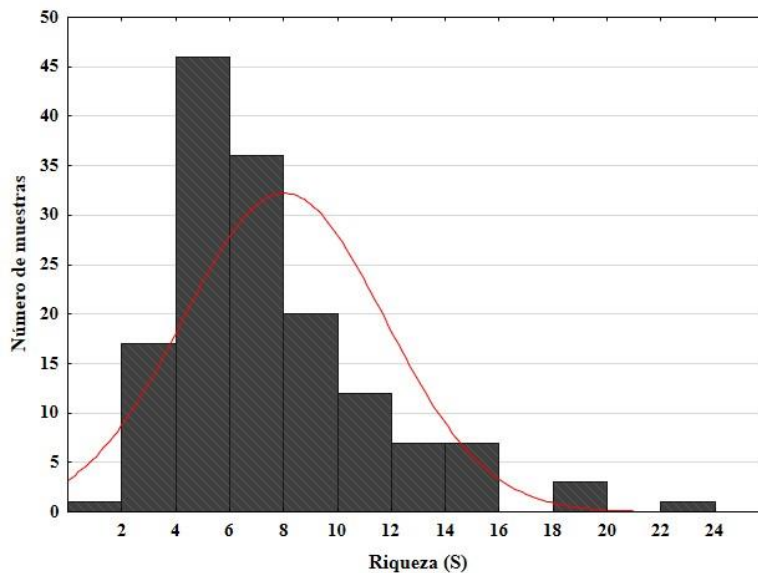
**Tabla 11:** Cobertura de especies

<b>Amplia cobertura</b>	<b>Reducida cobertura</b>
<i>Flavoparmelia</i> sp. (10973 cm <sup>2</sup> )	<i>Sticta pseudosylvatica</i> (92cm <sup>2</sup> )
<i>Parmotrema sancti-angelii</i> (7891 cm <sup>2</sup> )	<i>Bacidia</i> sp.2 (80cm <sup>2</sup> )
<i>Punctelia</i> cf. <i>rudecta</i> (7296 cm <sup>2</sup> )	<i>Alyxoria varia</i> (58cm <sup>2</sup> )
<i>Dirinaria</i> sp. (5305 cm <sup>2</sup> )	<i>Letrouitita flavidula</i> (40cm <sup>2</sup> )
<i>Lepraria</i> sp. (5017 cm <sup>2</sup> )	<i>Graphis chondroplaca</i> (32cm <sup>2</sup> )
<i>Pyxine cocoes</i> (3996 cm <sup>2</sup> )	<i>Malmidea hypomelaena</i> (16cm <sup>2</sup> )
<i>Leptogium isidiosellum</i> (3064 cm <sup>2</sup> )	<i>Cratiria</i> sp.1 (12cm <sup>2</sup> )
<i>Hyperphyscia syncolla</i> (2886 cm <sup>2</sup> )	<i>Caloplaca</i> sp.1 (8cm <sup>2</sup> )

En la cobertura de especies, se encontró que forófitos con mayor cobertura líquénica, presentaron menor cantidad de especies, y forófitos con menor cobertura tendieron a mostrar mayor riqueza de líquenes, específicamente en talos de tipo folioso que ocupaban gran parte del trono de los forófitos muestreados, algo relacionado con Soto-

Medina *et al.* (2015), que presentaron el mismo caso, sólo que el estudio incluyó también a briófitos, que generaron una relación inversamente proporcional entre la cobertura de estos últimos organismos y la riqueza de líquenes (Chilito-López, 2017). Igualmente, se generó un patrón similar entre las especies de mayor cobertura, con la de mayor frecuencia, como el caso de *Flavoparmelia* sp., *Parmotrema sancti-angelii*, *Punctelia* cf. *rudecta*, *Pyxine cocoes* y *Dirinaria* sp. Sin embargo, esta alta frecuencia no siempre significó una alta cobertura

En cuanto a los forófitos, de los 150 árboles muestreados, 48 pertenecieron a *Handroanthus chrysanthus*, 46 de *Tabebuia rosea* y 41 a *Fraxinus uhdei*. Ahora bien, la mayor cantidad de especies fue registrada en *F. uhdei* con 387 especies (34.8 %), seguido de *H. chrysanthus* con 381 (34,2 %) y *T. rosea* con 345 (31 %). Se excluyó del análisis la estación Cerro Tres Cruces (85 especies) por ser la referente o blanco al considerarse distintas especies de forófitos.



**Figura 5:** Riqueza de especies por unidades de muestreo (forófitos)

Por su parte, el 87% (130) de los forófitos presentaron entre 4 y 12 especies y 8 especies como el promedio general entre el total de los forófitos muestreados (Figura 5). De la misma manera, la mayor cantidad de especies por forófito fue 23 especies (1 forófito), seguido de 20 especies (3 forófitos) y entre 14 a 16 especies (10 forófitos). De menor riqueza se encontraron de 1 a 4 especies (18 forófitos) y en la totalidad del muestreo los

forófitos siempre contaron al menos con 2 especies. Finalmente, los forófitos con mayor riqueza se ubicaron en las estaciones ERU y EVC y menor riqueza en EET, EPM y ETC.

De las tres especies de forófitos elegidos *Handroanthus chrysanthus*, *Tabebuia rosea* y *Fraxinus uhdei* en el muestreo, (excluyendo a la estación referente que tomó en cuenta forófitos de distintas especies), el que albergó mayor cantidad de especies fue *F. uhdei*, seguido de *H. chrysanthus* y *T. rosea*, siendo, un forófito de gran preferencia para especies de líquenes, agregando que fue la especie arbórea con menor cantidad de individuos evaluados. Investigaciones como la de Correa-Ochoa *et al.* (2020), emplearon dos de los hospederos de este estudio con correlaciones positivas con la riqueza de especies. Sin embargo, cabe aclarar que la riqueza aumenta a medida que mejora la calidad del aire, mas no por la especie hospedera evaluada, siendo más fuertemente relacionada a efectos estocásticos de la dispersión de especies, que a la textura del sustrato, pH o microclima (Cáceres *et al.* 2007; Jaramillo & Botero, 2010; Soto *et al.* 2012; Correa-Ochoa *et al.* 2020).

### **8.5. Espectrofotometría de absorción atómica - EAA**

Se registró por medio de la prueba de Espectrofotometría de absorción atómica (EAA) la presencia de metales pesados como Fe, Mn, Zn, Cu, B y Al, en distintas concentraciones con una interpretación para cada elemento teniendo en cuenta la NTC 5167. Para la ciudad, se registraron mayores concentraciones de metales pesados (Mn, Zn y Fe), en comparación con el Cu que registró niveles medios en tres especies y bajo en una especie (Tabla 12). Estos valores se atribuyen a distintas fuentes, en concordancia a otros estudios a nivel nacional, como es el caso a emisiones vehiculares en gran medida en Bucaramanga (Quijano *et al.* 2018), específicamente Mn y Zn por fuente de procesos industriales (Grazia *et al.* 2001; Pachón & Sarmiento, 2008), además, el Fe y Zn provienen de vehículos tipo diésel en Bogotá (Ya-Fen *et al.* 2003; Pachón & Sarmiento, 2008), en especial por tránsito de vehículos pesados. Machado *et al.* (2008), por su parte relaciona las emisiones de metales, en fracciones finas y gruesas; en la últimas, incluye emisión de motores, resuspensión de partículas y abrasión de frenos y ruedas y argumentan que el Zn es producto del desgaste en los frenos y pastillas. Drapper *et al.* (2000); Kennedy & Gadd (2003) y Zafra *et al.* (2013), asocian las principales fuentes de metales pesados con el

tráfico en Torrelavega – España y Soacha- Colombia, donde, Zn provienen de pastilla de frenos, llantas, aceite y grasa; Cu de frenos, llantas, aceite, partes móviles, cojinetes y rodamientos; Fe de frenos y partes móviles y por último Mn de frenos, llantas y partes móviles. Gómez, Giné & Sánchez (2005) y AMVA (2020), afirman que Zn, Cu, Fe y Mn provienen de lubricantes, además de Zn y Cu, asociados a desgaste de neumáticos, pastas de frenos y llantas.

De acuerdo a la información anterior, se da a entender que la Ciudad si bien la calidad del aire es buena (zonificación IPA y FCA), el alto número del parque automotor evidencia focos de contaminación atmosférica, en especial en las zonas como avenidas principales, donde, la riqueza de especies fue menor como las estaciones, 1, 2, 3 y 4, por su fuerte tráfico vehicular tanto de servicio público, particulares y .de carga pesada. Sumado a esto, algunos líquenes presentaron daños en su talo, como necrosis y descoloramiento, siendo un síntoma de alta presencia de emisiones contaminantes. Los elementos Al y B presentaron valores de cero (0), reflejando la ausencia en las áreas estudiadas.

**Tabla 12:** Concentraciones metales pesados registrados

Especies	<i>Parmotrema sancti-angelii</i>		<i>Punctelia cf. rudecta</i>		<i>Flavoparmelia sp.</i>		<i>Pyxine cocoes</i>	
	Valor	Análisis	Valor	Análisis	Valor	Análisis	Valor	Análisis
Mn (ppm)	44	Alto	57	Alto	55	Alto	82	Alto
Fe (ppm)	263	Alto	319	Alto	210	Alto	121	Alto
Zn (ppm)	43	Alto	49	Alto	33	Alto	40	Alto
Cu (ppm)	15	Medio	18	Medio	29	Medio	14	Bajo
B (ppm)	0	Bajo	0	Bajo	0	Bajo	0	Bajo
Al (meq/100g)	0	Bajo	0	Bajo	0	Bajo	0	Bajo

## 8.6.Diversidad alfa

Para la diversidad alfa se tuvo en cuenta la riqueza específica tomando en cuenta la cantidad de especies registradas en el estudio (112) (Tabla 8) y por medio del índice de Margalef.

### **8.6.1. Riqueza – índice de Margalef**

De acuerdo a Moreno (2011), los valores por debajo de 2 se consideran como baja riqueza y superiores a 5 como alta riqueza. En este sentido, la estación 8 presentó el valor más alto con 2.053, seguido de las estaciones 6 y 9 con valores de 1.644 y 1.479 respectivamente. Por su parte, la estación con el valor más bajo fue la 1 con 0.693 (Tabla 13).

### **8.6.2. Equidad – índice de Shannon**

En cuanto al índice de equidad de Shannon\_H, los valores más altos se encontraron en las estaciones 8 (2.382), 6 (2.158) y 9 (2.121) y los más bajos en las estaciones 1 (1.292) y 2 (1.471). Este índice asume que valores por encima de 3 se consideran diversos (Shannon & Weaver, 1949), indicando que ninguna estación presentó alta diversidad, sin embargo, la que más acercó fue EVC (Tabla 13).

### **8.6.3. Dominancia – índice de Simpson**

Al igual que en el índice anterior, los valores del índice de Simpson\_1-D más altos se presentaron en las estaciones 6 a la 9. Para la Dominancia\_D la estación 1 presenta el valor más alto (0.346), seguido de la estación 2 (0.299), sin embargo, ninguna de las estaciones se acerca a 1 que se consideran alta dominancia (baja diversidad). Cabe resaltar que los valores más cercanos a 0 se asumen como baja dominancia (alta diversidad) (Tabla 13).

**Tabla 13:** Índices ecológicos de riqueza, diversidad y dominancia por estaciones.

	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>5.</b>	<b>6.</b>	<b>7.</b>	<b>8.</b>	<b>9.</b>	<b>10.</b>
	<b>EET</b>	<b>ESC</b>	<b>ECT</b>	<b>ETT</b>	<b>EPM</b>	<b>ERU</b>	<b>EVD</b>	<b>EVC</b>	<b>EBA</b>	<b>ETC</b>
Riqueza	21	23	33	25	35	46	37	54	46	29
Cobertura	6684	11365	10030	8462	6363	7139	7021	10048	9641	3698
Margalef	0.693	0.801	0.967	0.844	0.787	1.644	1.046	2.053	1.479	0.847
Shannon	1.292	1.471	1.561	1.502	1.553	2.158	1.803	2.382	2.121	1.647
Simpson	0.654	0.701	0.715	0.714	0.749	0.863	0.809	0.886	0.855	0.793
Dominancia	0.346	0.299	0.285	0.286	0.251	0.137	0.191	0.114	0.145	0.207

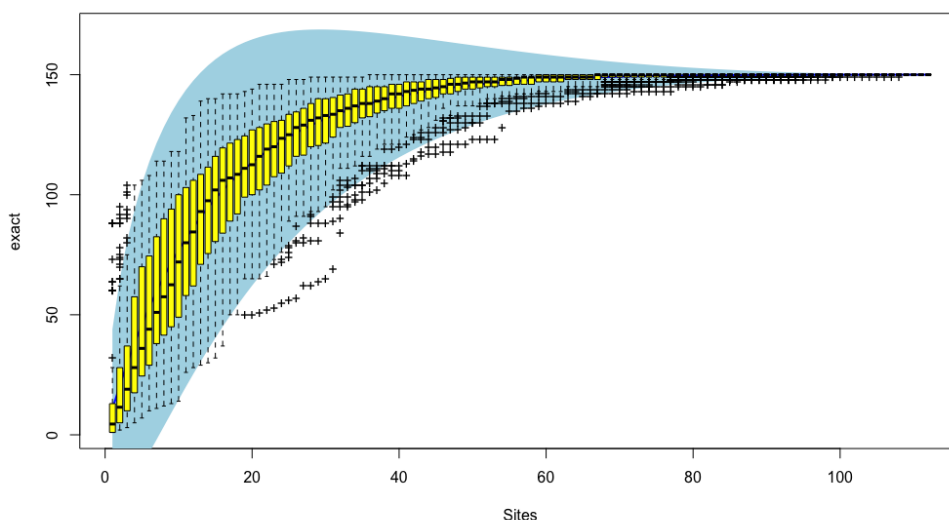
Con base en los resultados de los índices, específicamente a Margalef, ninguna de las estaciones evidenció alta riqueza de especies, el valor más alto se dio en EVC (2.053) y es posible, debido a que la estación 8 al estar ubicada en una zona de bajo tráfico vehicular y con buena composición arbórea favorece una mayor colonización de las especies, a diferencia de la estación 1 que se ubica en una zona de alto tráfico vehicular como la vía Panamericana (ambas en la comuna 1), donde, los contaminantes se dispersan más fácilmente, reduciendo notoriamente la riqueza de especies (Canseco *et al.* 2006; Sáenz *et al.* 2007; Torres, 2014). Del mismo modo, el efecto estocástico de dispersión de las especies, podría haber afectado la riqueza (Kelly *et al.* 2004; Cáceres *et al.* 2007; Soto-Medina *et al.* 2012).

Por su parte Shannon y Simpson presentan un patrón similar al registrar la mayor diversidad en estaciones ubicadas en vías terciarias y alejadas de las fuentes de contaminación como el alto tráfico vehicular de las avenidas principales, además, de presentar una buena composición arbórea que genera una mayor cantidad de microhábitats que los líquenes aprovechan para su colonización (Rosabal *et al.* 2012). De la misma manera, la baja diversidad de las estaciones 1 y 2, es posible que se deba a la influencia de algunas especies como *Lepraria* sp., *Dirinaria* sp., *Punctelia* cf. *rudecta* y *Parmotrema sancti-angelii*, que albergaron la mayor cobertura y dominancia en estas estaciones.

## 8.7. Curva de acumulación de especies

### 8.7.1. Estimación Paramétrica

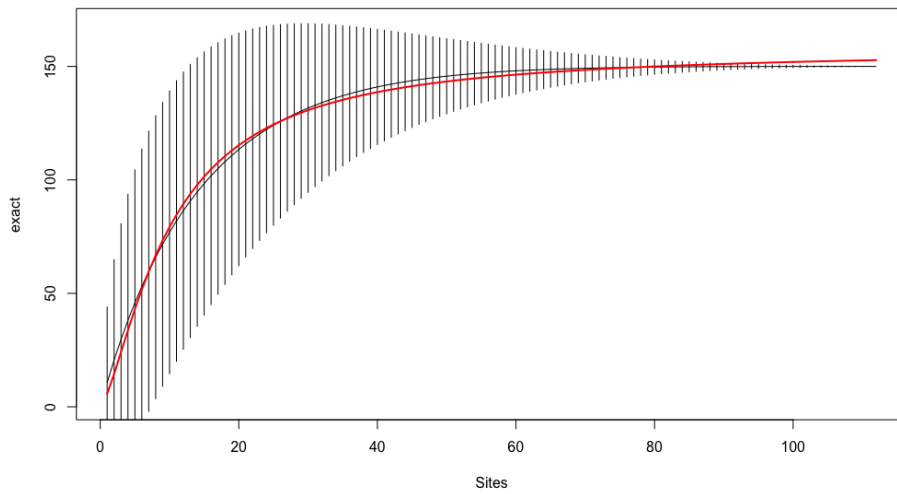
La curva de acumulación de especies muestra que la riqueza de especies aumenta progresivamente con el número de unidades de muestreo, hasta una tendencia asintótica, para los 150 puntos de muestreo (forófitos). En este sentido, los resultados permitieron observar que el número máximo asintótico será de encontrar 157 especies, con una pendiente máxima de incremento de especies de 4.2, es decir, que el incremento de la riqueza es de 4 veces por forófito. Así mismo, se obtuvo, que el área para la cual se alcanza la mitad de la riqueza es de 10 forófitos, es decir, cerca de 60 especies, indicando una alta eficiencia y esfuerzo del muestreo en ambas comunas (Figura 6).



**Figura 6:** Curva de acumulación de especies - Paramétrica

Para este caso, el modelo LoMolino muestra el ajuste entre las dos curvas (roja y negra), así mismo, los residuales están por debajo de la unidad de muestreo que es 1, donde Mediana (0.1466) y la Media (0.1257), siendo un muy buen registro para el estudio (Figura 7).

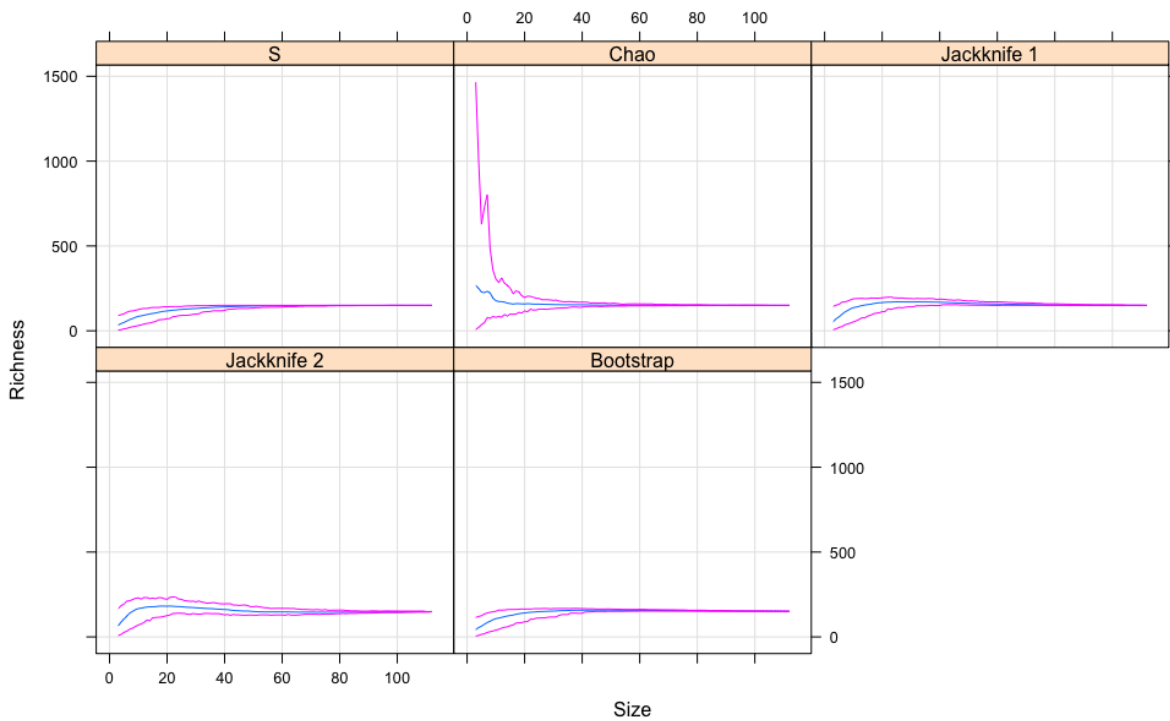




**Figura 7:** Curva proyectada modelo LoMolino

### 8.7.2. Estimación No paramétrica

Respecto de los indicadores no paramétricos los más ajustados y de menor variabilidad de la riqueza de especies de líquenes fueron Jackknife 1 ( $150 \pm 0$ ) y Bootstrap ( $158 \pm 1.45$ ), estando exacto de la muestral que fue 150 (Figura 8).



**Figura 8:** Curva acumulación No Paramétrica bajo los estimadores Chao, Jackknife 1, 2 y Bootstrap

## 8.8. Diversidad beta

### 8.8.1. Análisis de similitud

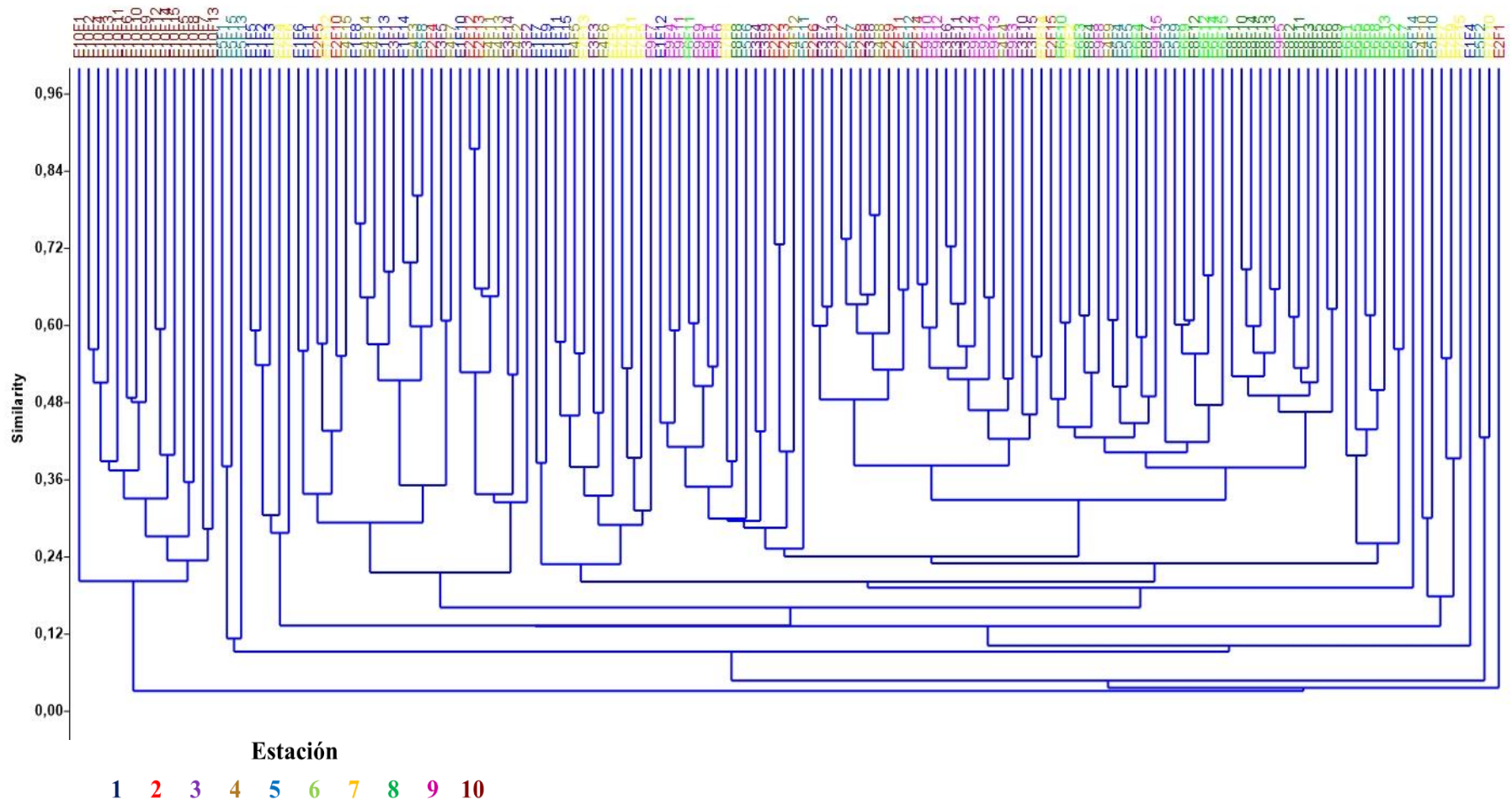
El dendrograma o clúster se realizó a partir del coeficiente de Bray-Curtis, analizando el agrupamiento entre las especies y los sitios (Figura 9). Un grupo amplio dividido en tres segmentos se establece, en el primero en su gran mayoría las estaciones 8, 6, con algunos forófitos de la estación 5, en el segundo con forófitos de estaciones 2, 3, 9 en buena parte y algunos de estaciones 4 y 5 que alcanza un porcentaje de similitud del 30% y el tercero con forófitos de estaciones 9 en mayor medida y algunos de la 2, 4 y 8, que al compararlos no se presenta una estrecha relación dando como resultado una similitud del 25% entre los tres segmentos. Lo anterior, es debido a la influencia de la riqueza y diversidad de especies, así como de los sitios muestreados, donde sus características son contrastantes en gran medida, puesto que las estaciones 6 y 8 fueron las que albergaron mayor riqueza y mejor calidad del aire, a diferencia de las estaciones 2, 3 y 4. Por otra parte, se genera un patrón distinto con los hospederos de la estación 9 que presentan una buena cantidad de especies debido a la cercanía a un bosque de roble en buen estado de conservación.

Igualmente, el segmento uno la mayor similitud fue del 70% compartiendo especies representativas, debido, que se asumen a sitios de buena calidad del aire como *Herpothallon rubrocinctum*, *Usnea* sp. *Crocodia aurata*, *Ramalina complanata* y *Leucodermia leucomelos*. Sin embargo, se registró especies exclusivas como Costroso sp.5, Costroso sp.6, Costroso sp.7, Costroso sp.8, *Tephromela atra*, *Bulbothrix bicornuta*, *Parmotrema reticulatum*, *Sticta* sp.3, lo que sugiere que gran parte de este agrupamiento no se de una alta similitud, solo relacionado a unos pocos hospederos. En el segmento dos y tres la mayor similitud es del 76% y 72% respectivamente y se sigue el patrón anterior, que unos pocos forófitos comparten gran parte de especies. Al mismo tiempo, un alto número de hospederos de las estaciones 1 y 7 relacionado con el segmento anterior alcanza una similitud del 22%, presentando diferencias en su composición, muy posiblemente a la ubicación de cada una que contrasta sus características de riqueza, diversidad y variables de

cobertura y frecuencia de las especies liquénicas, donde, su porcentaje de similitud entre sus forófitos está por debajo del 60%.

En otros segmentos, se agrupan forófitos de estaciones 1, 2, 3, 4 y 5 con la mayor similitud del estudio con 89%, compartiendo especies *Physcia undulata*, *Parmotrema sancti-angelii*, *Lepraria* sp. *Candelaria concolor*, siendo posible, debido a sus características de baja riqueza de especies y que fueron representativas por su alta frecuencia y cobertura en el estudio. Comparando este grupo, con los anteriores, donde relaciona forófitos de estaciones con mayor riqueza (6, 8 y 9), la similitud arrojada es del 15%, dando a entender las diferencias en composición específica entre las estaciones.

La estación 10 ubicada en la comuna 3, conforma un grupo aparte con un porcentaje de similitud de cerca del 4%, con el resto de las estaciones, muy posiblemente al ser la referente, además, albergó especies únicas para esta área como fueron *Bacidia* sp. 2, *Caloplaca* sp.3, *Coenogonium* cf. *linkii*, *Coenogonium strigosum*, *Coniocarpum cinnabarinum*, *Malmidea hypomelaena*, *Lecanora* sp. 5, *Leptogium* sp. 2, *Pertusaria* sp. y *Sticta cometiella*. Otra razón, es por las especies hospederas que fueron totalmente distintas a las demás estaciones.



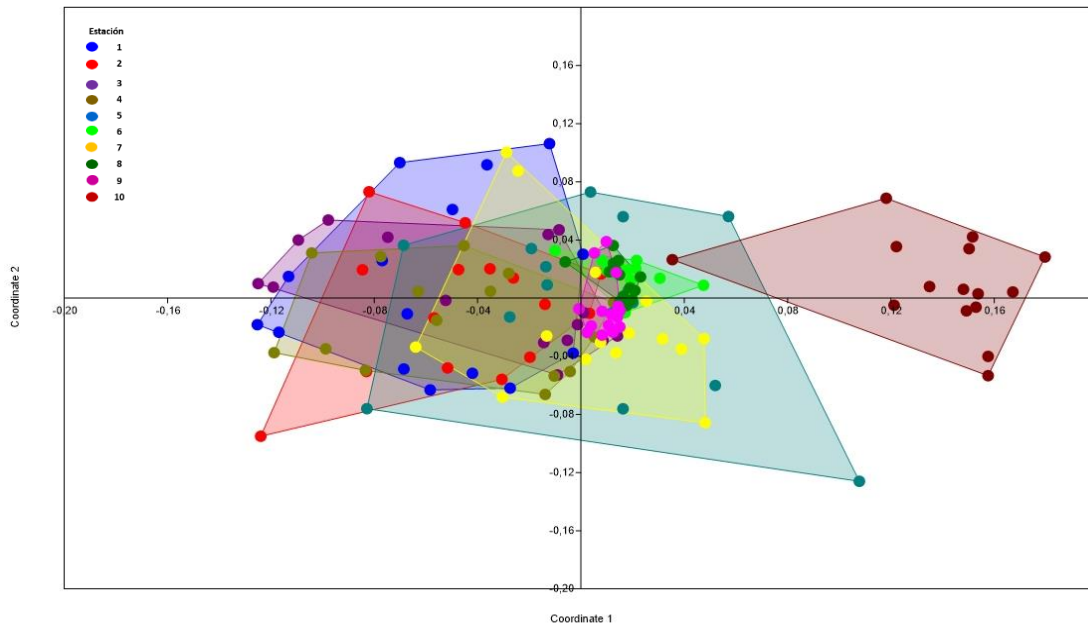
**Figura 9:** Dendrograma de similitud

## 8.9. Escalamiento no Métrico Multidimensional - NMS

El análisis de Escalamiento no Métrico Multidimensional (NMS), muestra un patrón de distribución en el espacio disperso hacia la estación referente (10) y algunos forófitos de la estación 5 y otro patrón más agrupado y transpuesto en las demás estaciones (Figura 10).

Las estaciones 6, 8 y 9 presentan una alta agrupación hacia el centro del plano con alta sobreposición de datos, explicándose, por la alta similaridad en cuanto a riqueza, diversidad de especies, además, de las características propias de las estaciones. En cambio, estaciones 1 a la 4, se alinean hacia un extremo en el espacio, con una sobreposición menos marcada y es debido a las particularidades de las estaciones como ubicación, alto flujo vehicular y baja riqueza de especies.

De esta manera, los resultados observados en el NMS, son coherentes con lo evidenciado en el clúster. Las estaciones 7 y 8 el patrón es distinto, con alta dispersión de los datos en el plano con sobreposición en todas las estaciones (excepto la 10).



**Figura 10:** Análisis NMS

Caso específico, la estación 10 la gran mayoría de los forófitos presenta diferencias marcadas respecto de los otros sitios de muestreo, evidenciando diferencias en cuanto a

riqueza y composición de especies, algo, coherente con el clúster (Figura 9), donde, el porcentaje de similitud es cerca del 4% y es debido a la naturaleza misma de la estación, que alberga un área conservada con características microclimáticas distintas (alta humedad y baja luminosidad) y con la posibilidad de generar mayor cantidad de hábitats para la colonización de líquenes (Rosabal *et al.* 2012), lo que conduce a poder establecer muy probablemente otras especies, que no se registran en el área netamente urbana. Así mismo el ensamblaje sugiere un patrón distinto a las demás estaciones.

#### **8.10. Análisis de especies indicadoras**

El análisis de especies indicadoras (Simulación de Monte Carlo), arrojó que 14 especies presentaron mayor nivel de significancia estadística  $p \leq 0.005$  (\*\*), mientras que 4 especies mostraron preferencias a nivel de  $p < 0.05$  (\*) (Tabla 14). De acuerdo a los resultados, las especies *Parmotrema tinctorum*, *Parmotrema* sp. (Parmeliaceae) y *Heterodermia* sp. y *Physcia erumpens* (Physciaceae), se registran para estaciones de baja riqueza y diversidad de especies (1, 2, 3, 7), asumiéndose como indicadoras de sitios con presencia de contaminantes atmosféricos, además, de restringirse solo a dichas estaciones. Del mismo modo, Käffer *et al.* (2011), con el método de trasplante evaluó los cambios morfológicos en distintas especies, entre ellas *P. tinctorum*, siendo apropiada para evaluación de calidad del aire en áreas urbanas (Rincón, 2011). Así mismo, las familias mencionadas anteriormente se incluyen como potenciales bioindicadoras de la calidad del aire y su alta presencia en áreas urbanas respectivamente (Correa-Ochoa *et al.* 2020). Por su parte, las especies *Crocodia aurata* y *Phaeographis lobata*, *Parmotrema* cf. *austrosinense*, *Caloplaca* sp.2, *Ramalina complanata*, *Hypotrachyna costaricensis*, *Lecanora* sp.3, *Parmotrema reticulatum*, se registran para estaciones de alta riqueza de especies, en su gran mayoría en las estaciones 6 y 8, considerándolas como indicadoras de sensibilidad. Si bien, *P. cf. austrosinense*, *C. aurata* e *H. costaricensis*, se presentan en otras estaciones, su alta frecuencia y cobertura en las estaciones 6 y 8, demuestran este nivel de importancia, al ubicarse en zonas que no presentan condiciones adversas para su crecimiento.

**Tabla 14:** Especies indicadoras para las estaciones de muestreo

<b>Especies</b>	<b>Estación</b>	<b>Stat.</b>	<b>p.</b>
<i>Parmotrema tinctorum</i>	1	0.516	0.005 **
<i>Pyxine cf. sorediata</i>	5	0.527	0.005 **
<i>Crocodia aurata</i>	6	0.609	0.005 **
<i>Phaeographis lobata</i>	6	0.462	0.005 **
<i>Parmotrema sp.</i>	2	0.462	0.015 *
<i>Coenogonium cf. linkii</i>	10	0.683	0.005 **
<i>Hypotrachyna sp.</i>	10	0.632	0.005 **
<i>Herpothallon pustulatum</i>	10	0.581	0.005 **
<i>Sticta cometia</i>	10	0.462	0.010 **
<i>Parmotrema cf. austrosinense</i>	8	0.733	0.005 **
<i>Caloplaca sp.2</i>	8	0.689	0.005 **
<i>Ramalina complanata</i>	8	0.645	0.005 **
<i>Hypotrachyna costaricensis</i>	8	0.581	0.005 **
<i>Lecanora sp.3</i>	8	0.447	0.005 **
<i>Parmotrema reticulatum</i>	8	0.447	0.020 *
<i>Heterodermia sp.2</i>	7	0.516	0.010 **
<i>Physcia erumpens</i>	7	0.462	0.020 *
<i>Bogoriella sp.</i>	7	0.387	0.045 *

Las especies *Coenogonium cf. linkii* y *Hypotrachyna sp.*, *Herpothallon pustulatum* y *Sticta cometia* ubicadas en la estación 10, se restringen sólo a esta zona, excepto *S. cometia* y *H. pustulatum* que se registraron a otras estaciones, indicándose con importancia de sensibilidad, al ubicarse en el área referente y con un buen grado de conservación. Todas las especies a pesar, de no presentar altos valores de cobertura y frecuencia, en las mencionadas zonas si fue más representativo. La especie *Pyxine cf. sorediata*, si bien se encontró en dos estaciones, en la que radica la importancia (5) presentó la mayor cobertura y dicha estación presentó una riqueza media de especies.

Se demuestra que, si bien la ciudad la calidad del aire es relativamente buena, los procesos de urbanización y crecimiento acelerada de la urbe, junto con el parque automotor influyen directamente en la riqueza y diversidad de líquenes, evidenciado en la baja riqueza en estaciones de alta concentración de emisiones como las ubicadas en las vías principales y la presencia de especies resistentes comparado con estaciones más alejadas o en vías terciarias y zonas privadas, con una buena presencia de especies sensibles. De esta manera, se sigue el patrón de una disminución paulatina de especies tolerantes en zonas que ofrecen mayor cantidad de hábitats y menor contaminación y una disminución considerable de

especies sensibles en áreas y condiciones propias de alta presencia de especies resistentes (LeBlanc, 1961; Brodo, 1966; Torres, 2014).

### **8.11. IPA y FCA**

Para el IPA se estableció de acuerdo al método tradicional de LeBlanc (1972). Con la aplicación del método suizo de Kricke & Loppi, (2002), se ajustó los valores de este índice. Basado en los valores del IPA, se estableció el FCA y de acuerdo a Díaz (2012) y Torres (2014), esta clasificación es recomendable emplearla en zonas donde se hayan realizado estudios previos, para lograr un mejor ajuste a las condiciones propias del área y para la Ciudad de Popayán, el único antecedente de este tipo de investigación usó otra clasificación, por ende, no es comparable en su totalidad. De acuerdo a la clasificación de áreas muestreadas se determinaron 3 zonas (Tabla 15 – Figura 12 - Anexo 2).

#### **8.11.1. Zona II – Pobre en líquenes**

Comprende las estaciones número 2 (ESC), 3 (ECT) y 4 (ETT) y es la de menor riqueza de especies con 23, 33 y 25 especies respectivamente. Se encuentran ubicadas en una zona de alto tráfico vehicular como es la vía Panamericana, en sectores de alta concentración de población urbana y comercio. Por su parte los valores de IPA fueron 91, 90 y 120 y de FCA 12.7, 13.2 y 12.6 (Tabla 15- Figura 11 -Anexo 2). Hacen parte especies de alta cobertura y frecuencia como *Flavoparmelia* sp. (5360 cm<sup>2</sup>), *Lepraria* sp. (3580 cm<sup>2</sup>), *Dirinaria* sp. (2951 cm<sup>2</sup>) e *Hyperphyscia syncolla* (2720 cm<sup>2</sup>). Los de menor cobertura fueron *Graphis chondroplaca* (16 cm<sup>2</sup>), *Bacidia rosella* (10 cm<sup>2</sup>) y *Caloplaca* sp.1 (8 cm<sup>2</sup>). La frecuencia, es dada por el crecimiento libre de estas especies resistentes y su baja competencia (LeBlanc, 1961; Brodo, 1966; Garty, 1977; Garty, 1997; Díaz, 2012). Sin embargo, en muchos forófitos el crecimiento y cobertura fue limitado a muy pocas especies, dominando unas pocas.

De la misma manera, algunas especies como *Parmotrema sancti-angelii*, *Physcia undulata* y *Flavoparmelia* sp. presentaron necrosis en sus talos, al igual, una resequedad evidenciada por su coloración pálida a grisácea. Se observaron poca cantidad de especies acompañantes, destacándose bromelias y algunos briófitos y helechos. Los biotipos que



predominaron fueron los foliosos y algunos costrosos. Además, la presencia de biotipos fruticosos fue nula, lo que conlleva a una posible explicación a la clasificación del FCA estimada basado en los valores del IPA. También, hay que considerar el tema de la dirección del viento, al ser áreas abiertas y con alta presencia de contaminantes por fuentes móviles principalmente, los pueden proliferar más rápido, dejando establecer con éxito una gran cantidad de especies en otras áreas (Bustamante, Monge & González, 2011). Sumado a esto, alta influencia de fuentes fijas, al estar en áreas comerciales.

En el análisis del FCA es importante destacar el efecto de las morfologías para la categorización de las zonas. En este sentido, una mayor abundancia de biotipos costrosos y foliosos disminuye el valor final, y tienden a ser más frecuentes en zonas con mayor grado de alteración (Käffer *et al.* 2011; Díaz, 2012), reduciendo así mismo los valores de IPA, situación evidenciada, en las estaciones de esta clasificación. Por el contrario, al aumentar los fruticosos, se presume que sean mayores los valores de IPA a pequeñas fluctuaciones de la cobertura, indicado una mayor calidad del ambiente (Käffer *et al.* 2011; Díaz, 2012), pero, dicha zona presentó ausencia de este biotipo, dando una explicación a los valores del FCA.

### **8.11.2. Zona III – Transición**

De la zona III hacen parte las estaciones número 1 (EET), 5 (EPM), 7 (EVD) y 10 (ETC), presentando una mayor riqueza de especies, respecto de la anterior zona con 21, 35, 37, 29 especies y los valores del IPA de 73, 138, 152, 98 y FCA 20.4, 27.6, 21.3 y 29.4 respectivamente (Tabla 15 – Figura 11 -Anexo 2). La conforman zonas de vías secundarias, parques, a estación referente y una vía principal, esta última ubicada en la avenida Panamericana. En cuanto a la cobertura se destacan especies como *Parmotrema sancti-angelii* (2246 cm<sup>2</sup>), *Dirinaria* sp. (1763 cm<sup>2</sup>) y *Punctelia* cf. *rudecta* (2108 cm<sup>2</sup>) y menor cobertura *Malmidea hypomelaena* (16 cm<sup>2</sup>) y *Cratiria obscurior* (12 cm<sup>2</sup>). A excepción de la estación 1 (presentó clorosis en algunos individuos de *P. sancti-angelii* y *P. undulata*), se observó colores más vivos y texturas más blandas por la humedad presente en los sitios. Al igual, mayor cantidad de especies acompañantes en los forófitos como bromelias, orquídeas, helechos, briófitos, hongos e insectos. Además, es posible, debido a la amplia circulación del viento, ya que, es un área abierta, donde a los lados ubican pastizales, más

no edificaciones como estaciones más abajo, que si pueden sobre acumular y aumentar las emisiones (tipo fijas) por la presencia de edificaciones a cada lado de la vía. Variables como la cobertura y frecuencia son fundamentales para la determinación del IPA Y FCA y que a pesar que se registren altos o bajos datos de diversidad, dichas variables pueden regular las zonas de isocontaminación de un área determinada, es por ello, que es recomendable emplear escalas establecidas en estudios previos sobre una misma área para que se ajusten los valores a las condiciones propias de la zona (Díaz-Escandón *et al.* 2014, Torres, 2014).

Se evidencia un patrón contrario a la anterior respecto a su clasificación, puesto que, la estación 5 alberga una alta cantidad de biotipos costrosos y foliosos. Igualmente, es debido posiblemente, por la ubicación que se aleja de las vías principales y sus condiciones de alta humedad y baja intensidad lumínica (Lakatos *et al.* 2006; Rincón-Espitia, *et al.* 2011), que les permite adaptarse más fácilmente y no se establece una clasificación distinta, debido a la ausencia de biotipos fruticosos que podrían aumentar considerablemente los valores de IPA y FCA. La estación 10 que es la referente, se esperaría que estuviera en una zona más óptima, sin embargo, presentó una baja riqueza de especies y una cantidad considerable de biotipos costrosos y foliosos, que pudo influenciar los valores IPA y FCA y a pesar que albergó buena presencia de fruticosos. La cobertura fue reducida, pero, el valor de FCA se acercó a la clasificación de Zona IV, sin embargo, al ser la referente, con un bosque sin demasiada alteración, presentó algunos claros permitiendo una buena entrada de luminosidad y su baja presencia de contaminantes propios de esta morfología (McCune *et al.* 1997, Rosabal *et al.* 2012), con ello logrando adaptarse de manera satisfactoria. La estación 7, si presenta coherencia respecto a la clasificación por su representativo número de costrosos y foliosos y ausencia de fruticosos, con especial atención, porque, su valor de FCA, no es lejano a la clasificación de la zona II y puede ser, por la presencia de emisiones móviles en gran medida (en vías terciarias) y fijas al ser una zona comercial y residencial.

Por su parte, la estación 1 que se encuentra en un área expuesta altamente a contaminantes por fuentes móviles, presumiblemente presenta mejores condiciones, debido al alto número en la suma del grupo de fruticosos por la presencia de *Ramalina celastri*, no

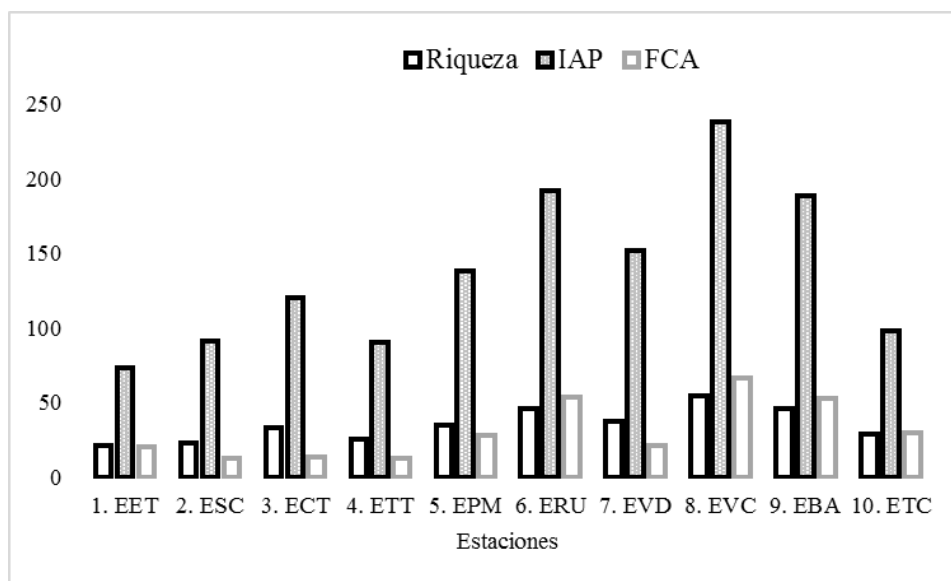
siendo representativa por su bajo valor de cobertura y frecuencia, además, de su alta presencia de costrosos que disminuyó los valores de IPA y FCA.

### 8.11.3. Zona IV – Normal

En esta última clasificación hicieron parte las estaciones número 6 (ERU), 8 (EVC) y 9 (EBA), registrando la mayor riqueza de especies del estudio con 46, 54, 46 especies y valores de IPA oscilan en 192, 238, 189 y FCA 53.8, 66.6 y 52.9 respectivamente (Figura 11). La conforman un área privada y dos públicas, una de ellas institucional y la otra una vía secundaria con buena presencia de parque automotor y comercio (Tabla 15 – Anexo 2). Las especies con mayor cobertura fueron *Flavoparmelia* sp. 3821 cm<sup>2</sup>, *Parmotrema sancti-angelii* 3569 cm<sup>2</sup>, *Punctelia* cf. *rudecta* 2606 cm<sup>2</sup> y *Pyxine cocoes* 1148 cm<sup>2</sup> y menor cobertura *Graphis chondroplaca* 16 cm<sup>2</sup> y *Lecanora* sp. 4 10 cm<sup>2</sup>. En relación, a las especies acompañantes se observaron una amplia variedad de especies epifitas vasculares y no vasculares, como orquídeas, bromelias, helechos y briófitos, así mismo, insectos, hormigas y algunos saurios como lagartijas.

La estación 9 a pesar de estar ubicada en una vía secundaria con alto flujo vehicular, presentó una alta riqueza de especies y es posible que, al estar a un lado de la vía, cerca de un curso hídrico y de un bosque conservado dominado por (*Quercus humboldtii*), generando efecto barrera, por el tamaño de los árboles, estableciendo una buena cantidad de microhábitats que le permitieron albergar amplia cantidad de líquenes (Rosabal *et al.* 2012), además, de la alta representatividad de fruticosos. En las otras dos estaciones, una de tipo público y la otra privado, se observa un área bien conservada con árboles de gran tamaño y con baja presencia tanto de vehículos como de personas, siendo muy probable la explicación a la alta riqueza de especies. Sumado a lo anterior, biotipos costrosos y foliosos se destacaron con una cantidad apreciable, sin embargo, el alto número de fruticosos (*Ramalina celastri*, *Ramalina complanata*, *Usnea* sp. y *Teloschistes flavicans*) aumentaron los valores del IPA y FCA, generando estaciones con la clasificación de mejor calidad del aire en el estudio por su indicación de pureza ambiental (Käffer *et al.* 2011, Díaz, 2012). Este mismo patrón, se estableció en el estudio de Torres (2014), influenciaron directamente los valores del FCA, mejorando la calidad ambiental del área.

Los métodos de IPA y FCA, asumen mayor representatividad al realizarse de manera continua y los modelos más confiables se logran con muestreos reiterativos (Kricke & Loppi, 2002; Díaz, 2012; Torres, 2014). De esta manera, los resultados evidenciaron que las estaciones de mejor calidad del aire fueron la 6, 8 y 9; moderada calidad del aire, estaciones 1,5,7 y 10 y de mayor contaminación las estaciones 2, 3 y 4 (Tabla 15).



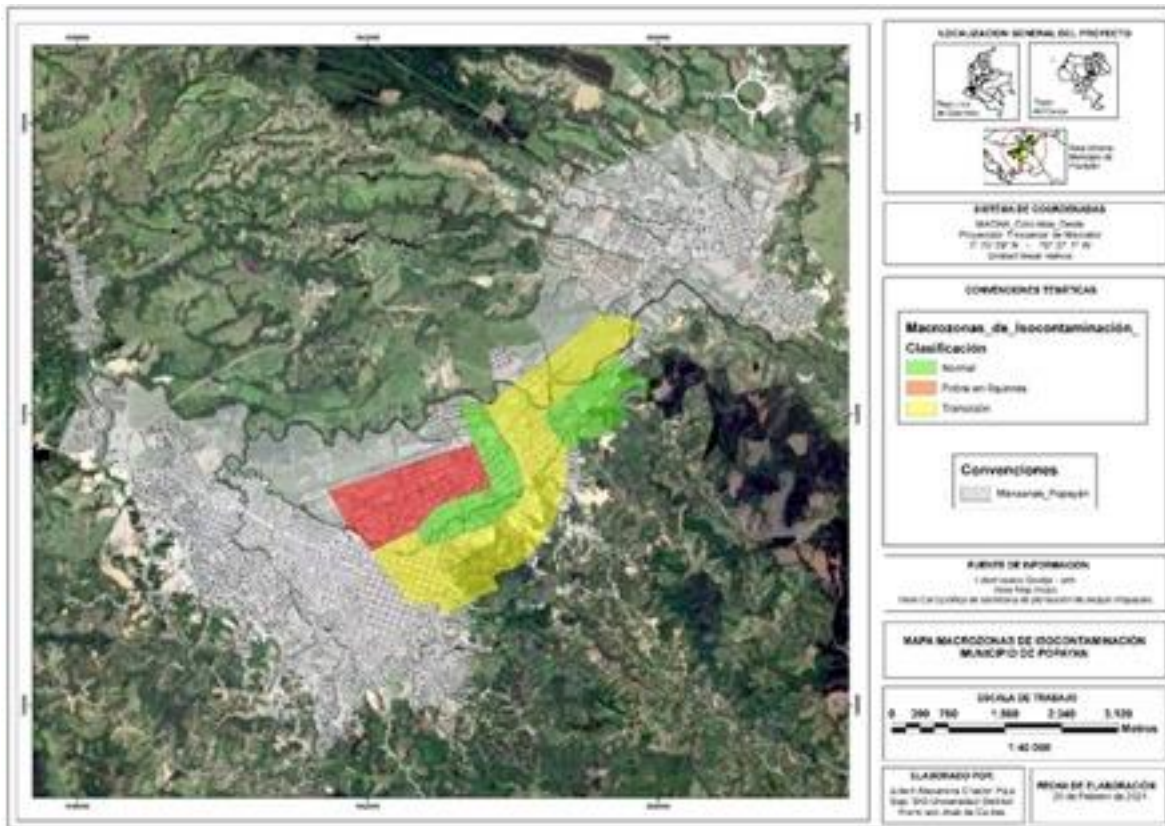
**Figura 11:** Relación riqueza especies – IPA y FCA por estaciones

La figura 11, presenta los valores del IPA y el número de especies por estación, donde se observa una relación directamente proporcional entre las variables, donde, a mayor valor del IPA, mayor riqueza de especies de líquenes. Del mismo modo, los valores más altos de IPA a las zonas de baja contaminación y mejor calidad del aire, como las estaciones 6, 8 y 9.

**Tabla 15:** Clasificación FCA

Estación	CGMc	CGMfo	CGMfr	Suma	IAP	FCA	Clasificación
1	9	4	15	28	73	20,4	Zona III - Transición
2	9	4	1	14	91	12,7	Zona II - Pobre en líquenes
3	7	3	1	11	120	13,2	Zona II - Pobre en líquenes
4	9	4	1	14	90	12,6	Zona II - Pobre en líquenes
5	9	10	1	20	138	27,6	Zona III - Transición
6	7	6	15	28	192	53,8	Zona IV - Normal
7	7	6	1	14	152	21,3	Zona III - Transición
8	7	6	15	28	238	66,6	Zona IV - Normal
9	7	6	15	28	189	52,9	Zona IV - Normal
10	7	8	15	30	98	29,4	Zona III - Transición

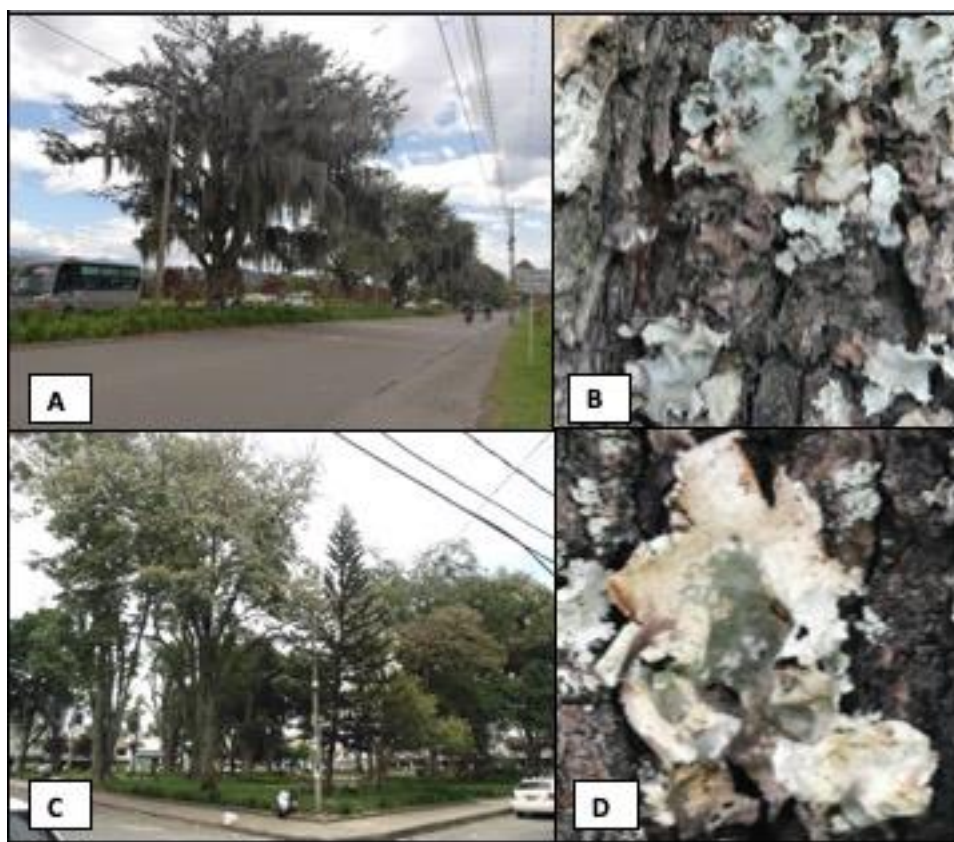
En cuanto al factor de resistencia  $Q_i$ , se destacaron las siguientes especies por los valores menores que son referente de mayor resistencia: *Parmotrema tinctorum*, *Pyrenula macrospora*, *Hyperphyscia adglutinata*, *Physcia pachyphylla*, *Hyperphyscia syncolla*, *Chrysothrix candelaris*, *Leptogium cyanescens*, *Physcia erumpens*, *Dirinaria* sp. *Physcia undulata* y *Pyxine cocoes*. Estas especies están catalogadas al hacer presencia en áreas urbanas y con cierto grado de alteración. Por el contrario, especies con valores alto (menor resistencia) se encuentran *Herpothallon rubrocinctum*, *Herpothallon pustulatum*, *Leucodermia leucomelos*, *Teloschistes flavicans*, *Parmotrema* cf. *austrosinense*, *Usnea* sp., *Ramalina complanata*, *Bulbothrix bicornuta*, *Parmotrema reticulatum* (Tabla 16). Lo anterior, se respalda con estudios donde catalogan especies de los géneros *Physcia* y *Dirinaria* como cierto grado de resistencia o tolerancia a emisiones de tipo vehicular (Sáenz *et al.* 2007; Torres, 2014). De mismo modo, en el Valle de Aburrá se registró la especie *Parmotrema austrosinense* como sensible a la contaminación (Jaramillo & Botero, 2010). La presencia de la especie *Chrysothrix candelaris* que, si bien no dominó en las estaciones donde, se registró, la catalogan como una especie indicadoras de zonas alteradas (Torres, 2014), propia de los sitios encontrados como fue las estaciones 2 y 4 con valores bajos de IPA y FCA, que a su vez registraron la menor riqueza de especies. Caso similar ocurrió con *Hyperphyscia adglutinata*, *Dirinaria* sp. y *Pyxine cocoes*, donde su mayor cobertura y frecuencia se establecieron en estaciones pobres en líquenes constituidas como tolerantes a la contaminación (Saipunkaew *et al.* 2004; Hawksworth *et al.* 2005), indicado una similitud en los estudios.



**Figura 12:** Zonas de isocontaminación establecidas con el IPA y FCA

En relación al estudio de Cantor & Urbano (2002), realizado en la ciudad de Popayán, se establecieron 4 zonas de isocontaminación (zona I – contaminación alta, zona II – contaminación media, zona III – contaminación moderada y zona IV contaminación baja). Dicho estudio, a las zonas determinadas en este estudio, no se encontraron rangos para catalogar zonas de alta contaminación, además, se aplicaron distintas fórmulas para el cálculo del IPA, lo que hace no comparable los resultados. Sin embargo, se debe resaltar que, para ese tiempo, aunque había menor cantidad de parque automotor principal causante de las emisiones y alto niveles de contaminación en ciudades, estos, no presentaban sistemas de combustión apropiados, lo que posiblemente generaba eso altos niveles, evidenciado en la presencia de hidrocarburos (gasolina entera, metano, etano, propano) y Plomo (Pb). En cambio, en este momento, existe un alto número de vehículos, pero, con sistemas que generan menor contaminación, siendo, una probable explicación a la clasificación de estos rangos en el estudio actualmente.

De igual manera, estaciones catalogadas como pobre en líquenes (2, 3 y 4) y hasta la estación 1 que, si bien se clasificó como transición, presenta niveles considerables de contaminación por el alto flujo vehicular que transitan por la avenida Panamericana y evidenciado por la presencia de necrosis y resequeidad en los talos (Figura 13). Además, de la baja riqueza de especies, indican la eficiencia de los líquenes como bioindicadores, por el cual, se deben tomar acciones a corto y mediano plazo de control y manejo para evitar situaciones a futuro de incremento de la contaminación atmosférica.



**Figura 13:** Estaciones y especies con necrosis. A. Estación 1 (EET). B. *Parmotrema*. C. Estación 3 (ECT). D. *Parmotrema*.

En la tabla 16, la riqueza de especies en las columnas se incrementa a medida que los valores de IPA son más altos (izquierda a derecha), disminuyendo presumiblemente la contaminación. Así mismo, en las filas los valores de Qi aumentan de abajo hacia arriba (disminuye la resistencia de las especies), indicando que los valores bajos una mayor resistencia.

En términos generales se encontró una buena calidad del aire reflejado en un buen número de especies en las estaciones y los valores tanto de IPA como FCA y una de las razones, se deben a que de acuerdo con los estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) en variables de material particulado (PM10) y Ozono (O<sub>3</sub>), se evidencian valores por debajo (16,88 µg/m<sup>3</sup>) de los límites permisibles (75 µg/m<sup>3</sup>) según la Resolución 2254 de 2017 del MADS – (CRC, 2019). De igual modo, al ser una ciudad no industrializada, se cumple con los estándares establecidos en la normatividad ambiental, sin embargo, el principal foco de contaminación es de tipo antrópico, por el considerable tránsito de vehículos con motores de combustión interna, que emplean combustibles como gasolina y ACPM, fuente principal de los compuestos de PM10 y Ozono (CRC, 2019).



**Tabla 16.** Coberturas registradas de cada especie por estación, factor de resistencia por especie, clasificación de zonas muestreadas IPA. Cobertura total por estación, Valores IPA y número de especies por estación

Zona Especies /Estación	Zona II		Zona III				Zona IV			Qi	
	2	4	3	1	10	5	7	6	9		8
<i>Parmotrema tinctorum</i>	0	0	0	252	0	0	0	0	0	0	20,0
<i>Punctelia stictica</i>	0	0	0	308	0	0	0	0	0	0	20,0
<i>Sticta</i> sp.1	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	20,0
<i>Pyrenula macrospora</i>	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,0
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	0	38	0	0	0	0	0	0	0	0	24,0
<i>Letrouitia flavidula</i>	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	24,0
<i>Sticta</i> sp.2	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	24,0
<i>Parmotrema</i> sp.	958	0	112	0	0	0	0	0	0	0	27,5
<i>Leptogium</i> sp.2	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	28
<i>Coniocarpum cinnabarinum</i>	0	0	0	0	58	0	0	0	0	0	28
<i>Coenogonium</i> cf. <i>linkii</i>	0	0	0	0	282	0	0	0	0	0	28
<i>Sticta</i> cf. <i>luteocyphellata</i>	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	28
<i>Malmidea hypomelaena</i>	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	28
<i>Caloplaca</i> sp.3	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	28
<i>Hypotrachyna</i> sp.	0	0	0	0	390	0	0	0	0	0	28
<i>Sticta plumbeociliata</i>	0	0	0	0	56	0	0	0	0	0	28
<i>Sticta cometiella</i>	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	28
<i>Coenogonium strigosum</i>	0	0	0	0	112	0	0	0	0	0	28
<i>Pertusaria</i> sp.	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	28
<i>Lecanora</i> sp.5	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	28
<i>Sticta laminobeaouisii</i>	0	0	0	0	68	0	0	0	0	0	28
Costroso 1	0	70	22	0	0	0	0	0	0	0	28,5
<i>Physcia pachyphylla</i>	0	80	80	0	0	0	0	0	0	0	28,5
<i>Lepraria</i> sp.	1272	1340	968	1080	0	226	0	0	86	45	30,1
<i>Hyperphyscia syncolla</i>	1580	520	620	40	0	0	110	16	0	0	30,7

<i>Sticta pseudosylvatica</i>	0	0	0	0	56	36	0	0	0	0	31,5
<i>Chrysothrix candelaris</i>	144	312	0	0	0	0	0	0	256	0	31,7
<i>Caloplaca</i> sp.1	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	32,0
<i>Physcia</i> sp.2	0	0	210	0	0	0	0	0	0	0	32,0
<i>Cladonia cerathophylla</i>	0	0	88	0	0	0	0	0	0	0	32,0
<i>Haematomma flexuosum</i>	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	32,0
<i>Leptogium cyanescens</i>	0	8	175	0	0	0	68	228	154	0	32,2
<i>Cladonia</i> sp.	0	0	0	88	16	96	0	20	0	0	32,5
<i>Physcia erumpens</i>	0	0	116	0	0	0	248	0	0	0	33,5
<i>Bacidia rosella</i>	0	0	10	0	0	20	0	0	0	0	33,5
<i>Coccocarpia palmicola</i>	16	12	40	28	0	12	0	22	0	28	33,7
<i>Punctelia</i> sp.	0	0	0	28	0	0	0	0	28	0	34,0
<i>Physcia solediosa</i>	144	0	0	0	0	0	0	48	0	0	34,0
<i>Collema</i> sp.	40	0	0	0	140	0	148	0	32	0	34,0
Costroso 2	0	0	0	0	0	38	0	0	0	0	34,0
<i>Brigantiaea leucoxantha</i>	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	34,0
<i>Fellhanera</i> sp.	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	34,0
<i>Parmotrema sancti-angelii</i>	1266	462	348	760	96	1182	208	1063	1272	1234	34,8
<i>Herpothallon minimum</i>	0	20	100	12	344	180	174	0	98	28	34,9
<i>Parmotrema permutatum</i>	0	508	112	0	0	38	238	0	68	0	35,0
<i>Heterodermia kurokawae</i>	0	152	0	0	0	0	0	32	0	0	35,0
<i>Dirinaria</i> sp.	998	1216	737	996	0	545	222	350	99	142	35,4
<i>Leptogium isidiosellum</i>	672	286	456	200	0	168	394	170	386	332	35,4
<i>Punctelia rudecta</i>	666	1008	908	860	0	298	950	240	1752	614	35,4
<i>Candelaria concolor</i>	236	280	204	300	0	112	58	88	142	134	35,4
<i>Physcia undulata</i>	388	72	160	500	0	0	406	120	225	108	35,5
Costroso 3	0	0	0	0	0	26	90	0	0	0	35,5
<i>Heterodermia</i> sp.1	96	616	444	0	0	120	112	0	36	82	36,0
<i>Heterodermia</i> sp.2	0	0	0	0	0	0	420	0	0	0	36,0

<i>Bacidia</i> sp.1	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	36,0
<i>Dirinaria applanata</i>	0	38	0	612	0	0	0	0	283	140	36,3
<i>Leptogium phyllocarpum</i>	72	0	0	12	56	0	0	44	54	16	36,3
<i>Sticta cometia</i>	0	0	0	0	152	0	0	28	0	0	37,0
<i>Pyxine cocoes</i>	268	388	1204	0	0	394	594	508	348	292	37,3
<i>Flavoparmelia</i> sp.	2364	930	2336	0	0	930	592	894	1440	1487	37,3
<i>Polyblastidium japonicum</i>	48	22	88	0	0	144	356	459	60	174	37,3
<i>Lecanora helva</i>	24	12	40	0	0	60	22	20	56	34	37,3
<i>Leptogium</i> sp.1	0	0	0	12	0	0	0	0	0	16	37,5
<i>Pyrenula thelomorpha</i>	0	0	24	0	0	88	24	18	0	0	37,5
<i>Pyxine</i> sp.	40	0	0	140	0	0	36	32	64	178	37,7
<i>Bacidia</i> sp.2	0	0	0	0	36	0	0	0	44	0	38
<i>Ramalina celastri</i>	0	0	0	8	126	0	0	98	16	184	39,0
<i>Alyxoria varia</i>	0	0	0	0	0	56	58	4	0	0	39,0
<i>Sticta scabrosa</i>	0	0	128	0	0	36	104	450	222	0	39,6
<i>Graphis chlondroplaca</i>	0	0	16	0	0	0	0	0	16	0	40,0
<i>Pyxine</i> cf. <i>sorediata</i>	0	0	0	0	0	324	0	76	0	0	40,0
<i>Physcia</i> sp.1	41	0	0	0	0	0	0	0	56	108	40,7
<i>Ramboldia russula</i>	16	0	0	0	0	0	0	12	0	136	40,7
<i>Crespoa crosalzana</i>	0	0	0	424	0	0	0	38	314	266	40,8
<i>Herpothallon rubrocinctum</i>	0	0	0	0	470	32	0	109	0	38	41,0
<i>Herpothallon pustulatum</i>	0	0	0	0	396	124	66	46	56	46	41,5
<i>Heterodermia albicans</i>	0	0	46	0	0	180	376	38	484	48	41,7
<i>Heterodermia obscurata</i>	0	0	36	0	0	112	0	0	180	176	41,8
<i>Pannaria</i> sp.	0	0	86	0	0	336	0	104	108	34	42,6
<i>Pertusaria cicatricosa</i>	0	0	76	0	0	276	0	104	90	36	42,6
<i>Graphis scripta</i>	0	0	0	0	0	10	0	30	16	0	42,7
<i>Crocodia aurata</i>	0	0	0	0	154	0	79	620	78	276	42,8
<i>Leucodermia leucomelos</i>	0	0	0	0	116	0	144	170	108	148	42,8

<i>Lecanora</i> sp.2	0	0	0	0	0	16	16	14	0	14	43,0
<i>Teloschistes flavicans</i>	0	0	0	0	28	0	0	32	0	64	43,0
<i>Parmotrema austrosinense</i>	0	0	0	0	96	0	0	0	260	948	43,7
<i>Lecanora</i> sp.1	0	0	0	0	0	68	36	64	12	62	44,0
<i>Usnea</i> sp.	0	0	0	0	142	0	0	322	36	282	44,3
Costroso 5	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	45,0
<i>Bogoriella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	103	0	0	28	45,5
<i>Caloplaca</i> sp.2	0	0	0	0	0	0	12	0	0	108	45,5
<i>Sticta minutula</i>	0	0	0	0	0	0	72	0	0	48	45,5
<i>Coenogonium</i> sp	0	0	0	0	0	0	112	0	0	58	45,5
<i>Physcia</i> sp.3	0	0	0	0	0	0	63	0	0	48	45,5
<i>Cratiria obscurior</i>	0	0	0	0	0	12	0	18	56	38	45,8
<i>Hypotrachyna costaricensis</i>	0	0	0	0	0	0	230	96	152	598	46,3
<i>Lecanora</i> sp.3	0	0	0	0	0	0	30	18	28	32	46,3
Costroso 4	0	0	0	0	0	0	0	48	42	0	46,5
Folioso 1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	47
Costroso 9	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	47
Folioso 2	0	0	0	0	0	0	0	0	288	0	47
<i>Ramalina complanata</i>	0	0	0	0	0	0	0	30	20	192	49,3
<i>Glyphis cicatricosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	98	0	100	50,0
<i>Phaeographis lobata</i>	0	0	0	0	0	0	0	88	0	18	50,0
<i>Tephromela atra</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	54,0
Costroso 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	54,0
<i>Lecanora</i> sp.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	54,0
<i>Bulbothrix bicornuta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72	54,0
<i>Parmotrema reticulatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	496	54,0
Costroso 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	54,0
Costroso 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	54,0
<i>Sticta</i> sp.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	54,0

<b>Cobertura total x estación</b>	11365	8462	10030	6684	3698	6363	7021	7139	9641	10048
<b>Número especies x estación</b>	23	25	33	21	29	35	37	46	46	54
<b>Valor IPA</b>	91	90	120	73	98	138	152	192	189	238

---

Una conclusión de la presente investigación define que las alternativas de manejo de la calidad del aire son importantes para una ciudad que crece aceleradamente. Es por ello, que la vinculación de Popayán dentro de las ciudades sostenibles y competitivas por el Banco Interamericano de Desarrollo - BID y la Financiera de Desarrollo Territorial S.A - FINDETER, es una apuesta positiva a futuro, para el manejo y prevención de esta problemática. Con ello, se posibilita una mayor eficiencia de las medidas a tomar como reducción a fuentes de emisión, en el control al aumento progresivo del parque automotor, renovación en la flota del sistema de transporte que haya cumplido su vida útil, la búsqueda de sistemas de transporte alternativo no contaminante (DNP, 2018), como el uso de la bicicleta, automotores eléctricos, con una mejora en la infraestructura vial, la implementación de estaciones de monitoreo de la calidad del aire y seguir apostando a este tipo de estudios ecológicos con organismo bioindicadores con monitoreos constantes que permitan abarcar toda la ciudad y con ello, la construcción de políticas públicas para abarcar el tema de la contaminación atmosférica. Así mismo, contrastar los datos con estudios epidemiológicos que ayuden a obtener datos más precisos y con ellos soluciones más rápidas y correctas. Lo anterior, es posible con una buena planeación territorial que esté relacionado con la estructura ecológica principal de la ciudad, aumentando progresivamente las áreas verdes, con especies vegetales que posibiliten mayor cantidad de servicios ecosistémicos tanto de regulación, soporte, aprovisionamiento y cultural, buscando el beneficio al ambiente y la misma población, además, del acompañamiento de las Instituciones Educativas, empresas y comunidad en procesos de investigación (inventarios biodiversidad urbana), desarrollo tecnológico y educación ambiental en áreas urbanas fomentando ciencia ciudadana responsable.

## 9. Conclusiones

Se registraron 112 especies de líquenes distribuidos en 28 familias y 47 géneros, donde familias como Physciaceae, Parmeliaceae y Peltigeraceae fueron las más representativas por su alta riqueza de géneros y especies.

Con base en los resultados de los índices ecológicos, se observó que las estaciones más diversas y de mayor riqueza son las ubicadas en las zonas de bajo tráfico vehicular o vías terciarias que presentan una mayor cobertura arbórea, estando distanciadas de las fuentes de contaminación, lo que permitió una mayor colonización de especies en el sustrato cortícola.

El forófito que albergó mayor cantidad especies fue *Fraxinus uhdei*, además, de ser el hospedero con menor cantidad de individuos, seguido de *Handroanthus chrysanthus* y *Tabebuia rosea*.

Se registró la presencia de metales como Fe, Mg, Zn y Cu en cuatro muestras homogenizadas y evaluadas por medio de la técnica de EAA, dando a entender que la Ciudad si bien la calidad del aire es buena, el alto número del parque automotor evidencia contaminante atmosféricos, en especial en las zonas como avenidas principales, donde la riqueza de especies fue menor respecto de las demás.

Los estimadores Jackknife 1 y Bootstrap (no paramétrica) fueron los más ajustados al estudio. La curva proyectada de LoMolino el número máximo asintótico fue de 157, alcanzando con 10 forófitos la mitad de las especies registradas, indicando una alta eficiencia de muestreo en ambas comunas.

El análisis de Escalamiento no Métrico Multidimensional (NMS), presentó distintos patrones de agrupación, formando un grupo para estación 10 y otro patrón más agrupado y transpuesto en las demás estaciones, lo que indica diferencias en la composición y diversidad de especies.

En el análisis de especies indicadoras *Parmotrema tinctorum*, *Parmotrema* sp., *Heterodermia* sp. y *Physcia erumpens* se asumen como resistentes; por el contrario,

*Parmotrema cf. austrosinense*, *Caloplaca sp.2*, *Ramalina complanata* e *Hypotrachyna costaricensis* indicaron importancia como especies sensible a la contaminación.

Las estaciones se clasificaron en tres zonas distintas de acuerdo a los rangos de IPA y FCA como zona II (pobre en líquenes), Zona III (Transición) y Zona IV (Normal), donde la primera evidencia una menor riqueza de especies frente a las demás. Sumado a esto las últimas dos estaciones, se evidenciaron una mayor presencia de biotipos fruticosos, indicando presumiblemente una mejor calidad del aire.

De acuerdo a la clasificación del IPA y FCA la ciudad cuenta con buena calidad del aire en estas zonas evaluadas, sin embargo, algunas estaciones (zona II) por sus bajos valores en los índices aplicados, reflejado en una menor riqueza de especies, indican una menor calidad del aire, que con el paso del tiempo puede ir aumentando paulatinamente, con el ritmo acelerado de crecimiento de la ciudad, que aumenta progresivamente el parque automotor y disminuye las zonas verdes, que son potenciales áreas de colonización de estas especies bioindicadoras. Caso similar a la estación 1, que presenta clasificación de transición, pero por sus características de alto flujo vehicular, podría, bajar a pobre en líquenes, sino se establecen medidas para contrarrestar esta problemática y evitar problemas de salud en la población.

El índice Qi evidencia que las especies más resistentes son *Hyperphyscia adglutinata*, *Physcia pachyphylla*, *Chrysothrix candelaris*, *Physcia erumpens*, *Dirinaria sp.* y *Pyxine cocoes* y como especies sensibles *Herpothallon rubrocinctum*, *Leucodermia leucomelos*, *Teloschistes flavicans*, *Parmotrema cf. austrosinense*, *Usnea sp.*, y *Ramalina complanata*.

Los valores obtenidos del IPA y FCA para las comunas 1 y 3 de la ciudad de Popayán, las estaciones de mejor calidad del aire fueron la 6, 8 y 9; moderada calidad del aire, estaciones 1, 5, 7 y 10 y de mayor contaminación las estaciones 2, 3 y 4.



## 10. Recomendaciones

Ampliar el estudio a los demás sectores de la Ciudad, para así determinar a mayor escala la calidad del aire de la misma. Así mismo, se recomienda emplear los mismos métodos de IPA y FCA, para que tomen un valor más representativo y un modelo de estudio más confiable.

En el caso de los forófitos, su número puede ser menor, debido que la curva de acumulación de especies, indicó una alta eficiencia de muestreo, no se hace necesario la misma cantidad de este estudio para cada estación.

Evaluar el estado de calidad del aire con un monitoreo continua anual, con la implementación de una red de monitoreo de calidad del aire, que pueda tener datos más precisos de los cambios de este recurso, priorizando el recurso aire dentro de los planes de acción de las entidades municipales y ambientales.

Importante que desde la secretaría de salud se realicen revisiones periódicas de la población respecto de la afectación de la calidad de vida por temas de polución, especialmente, en las estaciones que se clasificaron como pobre en líquenes, para, obtener datos que puedan compararse y optar por eficientes medidas de manejo a futuro.

Tomar en cuenta en próximos estudios la medición de rasgos funcionales de los líquenes, para ampliar su contribución como indicadores de medio.

Una variable a incluir en próximos estudios es la dirección del viento, debido, a al alto porte de los forófitos de distintas estaciones, pueden generar un efecto barrera y con ello afectar los microhábitats dispuestos en estas zonas.

Evaluar interacciones y ecología con las especies de flora y fauna acompañantes

## 11. Referencias

- Aguirre, J. & Valencia, M. (1995). Líquenes. Santa Fe de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Ahmadjian, V. (1996). Lichens. New York and London: Academic Press, *Symbiosis*. 35-97 pp.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá – AMVA (2020). Aunar esfuerzos técnicos y financieros para evaluar los componentes claves de aerosoles atmosféricos en la contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá Fase II, a partir de la generación de conocimiento obtenido en un estudio de caracterización química. Convenio interadministrativo 734 de 2019. Informe final. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Medellín, Colombia. 262 pp.
- Aragón-Pina, A., Campos-Ramos, A., Leyva-Ramos, R., Hernández-Orta, M., Miranda-Ortiz, N. & Luszczewski-Kudra, A. (2006). Influencia de emisiones industriales en el polvo atmosférico de la ciudad de San Luis Potosí, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 22(1):5-19. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/370/37022101.pdf>
- Barreno, E. & Pérez-Ortega, S. (2003). Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Asturias: Líquenes y el medio. En: Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructura del Principado de Asturias: KRK ediciones. 83-112 pp.
- Bold, H., Alexopoulos, J. & Develoryas, T. (1989). Morfología de las plantas y los hongos. Barcelona: Omega.
- Brodo, I. M. (1966). Lichen growth and cities: a study on Long Island, New York. *The Bryologist*, 69, 427-449
- Brodo, I. (1973). "Substrate Ecology". In: V. Ahmadjian & M.E. Hale (eds.), *The Lichens*. Academic Press. New York. London. 401-440 pp.
- Bustamante, E., Monge-Nájera, J & González, M. (2011). Air pollution in a tropical city: the relationship between wind direction and lichen bio-indicators in San José, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 59 (2): 899-905.

- Cabrera-Amaya, D., Fajardo-Gutiérrez, F. y Rojas-Zamora, O. (2015). Diversidad de líquenes, musgos y hepáticas en el Corregimiento de Pasquilla (Bogotá-Colombia). Presentación en VIII Congreso Colombiano de Botánica. Manizales, Colombia.
- Cáceres, M. Lücking, R. & Rambold, G. (2007). Phorophyte specificity and environmental parameters versus stochasticity as determinants for species composition of corticolous crustose lichen communities in the Atlantic rain forest of northeastern Brazil. *Mycol. Progress*.10: 190-210.
- Cáceres, M. Lücking, R. & Rambold, G. (2008). Efficiency of sampling methods for accurate estimation of species richness of corticolous microlichens in the Atlantic rainforest of northeastern Brazil. *Biodivers Conserv*. Vol. 17(6): 1285-1301.
- Calatayud, V. & Sanz, M. J. (2000). Guía de líquenes epífitos. Ministerio de Medio Ambiente-Parques Nacionales, Serie Técnica, Madrid, 185 pp.
- Canseco A, Anze R, Franken M. (2006). Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. *Acta Nova*. Vol. 3(2):286-307
- Cantor, S. & Urbano, S. (2002). Estudio de líquenes como bioindicadores de calidad de aire en la ciudad de Popayán, Departamento del Cauca, Colombia. (Tesis de pregrado). Fundación Universitaria de Popayán. Popayán.
- Chao, A. (1987). Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics* 43, 783–791.
- Chaparro, M. & Aguirre, J. (2002). Hongos liquenizados. Bogotá: El Malpensante S.A.
- Chaves J.L. (2005). Informe del inventario nacional de biodiversidad. Líquenes de la región ecológica Talamanca. Programa conjunto Instituto Nacional de Biodiversidad – Sistema Nacional de Áreas de Conservación. p. 21.
- Chilito-López, L. G. (2016). Effects of microclimate on species diversity and functional traits of corticolous lichens in the Popayan Botanical Garden (Cauca, Colombia). *Cryptogamie, Mycologie*, 37 (2): 205-215.
- Chilito-López, L.G. (2017). Diversidad de líquenes cortícolas de los parques de la ciudad de Popayán, Departamento del Cauca. Proyecto Joven Investigador Convocatoria N° 003-2016. Programa de Ecología. Fundación Universitaria de Popayán. Popayán, Colombia.

- Chilito-López, L.G. & Soto-Medina, E.A. (2020). Líquenes cortícolas de los parques de la Ciudad de Popayán, Departamento del Cauca. Programa de Ecología: Guía de campo No. 1. Fundación Universitaria de Popayán. Popayán, Colombia, 76 p.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2018). CONPES 3550. Lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá D.C. 54 pp.
- Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC. (2019). Informe técnico relacionado con monitoreo de la calidad del aire, Municipio de Popayán, 08 de abril al 10 de mayo de 2019. Popayán, Cauca. 11 pp.
- Correa-Ochoa, M.A., Vélez-Monsalve, L.C., Saldarriaga-Molina, J.C. & Jaramillo-Ciro, M.M. (2020). Evaluation of the Index of Atmospheric Purity in an American tropical valley through the sampling of corticolous lichens in different phorophyte species. *Ecological Indicators*, 115, 106355. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X20302922?via%3Dihub>.
- Díaz, D. (2012). Líquenes cortícolas como indicadores ambientales en los alrededores de la mina de azufre El Vinagre (Cauca). (Tesis de Pregrado). Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Díaz-Escandón, D., Soto-Medina, E., Lüking, R. & Silverstone-Sopkin, P. (2014). Corticolous lichens as environmental indicators of natural sulphur emissions near the sulphur mine El Vinagre (Cauca, Colombia). *The Lichenologist*. Vol.46: 1-16.
- De Caceres M, Jansen J. Package “indicspecies”. Relationship between species and groups of sites. 2020: version 1.7.9. <https://cran.r-project.org/web/packages/indicspecies/indicspecies.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2019). Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Popayán, Cauca. <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informaciontecnica/presentacionesterritorio/190814-CNPV-presentacion-Resultados-generales-Cauca.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación DNP. (2018). Calidad del aire: Una prioridad de política pública en Colombia.

[https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentaci%C3%B3n%20Calidad%20del%20Aire%2015\\_02\\_2018.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentaci%C3%B3n%20Calidad%20del%20Aire%2015_02_2018.pdf)

- Divakar, P.K., Crespo, A., Blanco, O., Lumbsch, H.T. (2006). Phylogenetic significance of morphological characters in the tropical Hypotrachyna clade of parmelioid lichens (Parmeliaceae, Ascomycota). *Mol. Phylogenet. Evol.* 40 (2), 448–458. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2006.03.024>
- Drapper, D., Tomlinson, R. & Williams, P. (2000). Pollutant concentrations in road runoff: Southeast Queensland case study. *J. Environ. Eng.* Vol. 126: 313-319
- Estrabou, C., Stiefkens, L., Hadid, M., Rodríguez, J. & Pérez, A. (2005). Estudio comparativo de la comunidad líquénica en cuatro ecosistemas de la Provincia de Córdoba. *Bol. Soc. Argent.* Vol. 40 (1-2): 1-10.
- García, L. & Rubiano, L. (1984). Comunidades de Líquenes como Indicadoras de niveles de Calidad de Aire en Colombia. *Cont. Amb.* Vol. 8, Cap. 13. Medellín Colombia.
- García, J. (2004). Mapa de estrés atmosférico de Cedritos (Bogotá) a partir de diversidad líquénica. (Tesis de pregrado). Bogotá: Universidad del Bosque. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental.
- Garty, J., Fuchs, C., Zisapel, N. & M. Galun. (1977). Heavy metals in the lichen *Caloplaca aurantia* from urban, suburban and rural regions in Israel (a comparative study). *Water Air Soil Pollut.* 8: 171-188.
- Garty, J. Kloog, N., Cohen, Y., Wolfson, R. & A. Karnieli. (1997). The effect of air pollution on the integrity of chlorophyll, spectral reflectance response, and on concentrations of nickel, vanadium, and sulfur in the lichen *Ramalina duriaei* (De Not.) *Bagl. Environ. Res.* 74:174-187.
- Giordani, P. (2007). Is the diversity of epiphytic lichens a reliable indicator of air pollution? A case study from Italy. *Environmental Pollution.* Vol. 146(2): 317-323
- Gómez H, Fernández R, Benzo Z, Galarraga F, Hernández J, Roschman-González A. (2003). Líquenes como biomonitores de la contaminación atmosférica por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) - revisión - *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.* 28(1):45-58.
- Gómez D., Giné A., Sánchez P., S. J. (2005). Antimony: A traffic -related element in the atmosphere of Buenos Aires. *Environmental Monitoring* 7, 1162–1168.

- Grazia, M., Vaccano, S., Granluigi, V. & Vecchi, R. (2001). Characterization of PM 10 and PM2.5 particulate matter in the ambient air of Milan (Italy). *Atmospheric Environment*. 35: 4639 – 4650
- González, W. (2006). Hongos liquenizados como bioindicadores. Macrozonas de isocontaminación atmosférica de Bogotá D.C. (Cundinamarca, Colombia). *Pérez Arbealezia* 17: 137-154
- Hammer O., Harper D. & Ryan P. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontología Electrónica*. Vol. 4(1):1-9.
- Hawksworth, D. (1988). The variety of fungal-algal symbioses, their evolutionary significance, and the nature of lichens. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 96:3-20. Doi: 10.1111/j.1095-83391988.tb00623
- Hawksworth, D., Iturriaga, T & Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología*. Vol. 22: 71-82.
- Hawksworth, D. & Grube, M. (2020). Lichens redefined as complex ecosystems. *New Phytologist*. 227: 1281-1283.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2018). Informe del estado de la calidad del aire en Colombia 2017. Primera Edición. Bogotá, D.C. 47 pp.
- Jaramillo, M. & Botero, L. (2010). Comunidades de liquénicas como bioindicadores de calidad del aire en el Valle de Aburrá. *Revista Gestión y Ambiente*. Vol. 13(1): 97-110.
- Jaramillo, M. (2020). Com. Pers.
- Käffer, M., Martins, S., Alves, C., Pereira, V., Fachelc, J. & Vargas, V. (2011) Corticolous lichens as environmental indicators in urban areas in southern Brazil. *Ecological Indicators* 11:1319–1332.
- Kelly, D.L., G. O'Donovan, J. Feehan, S. Murphy, S.O. Drangeid & L. Marcano-Berti. (2004). The epiphyte communities of a montane rain forest in the Andes of Venezuela: patterns in the distribution of the flora. *J. Trop. Ecol.* 20: 643-666.

- Kennedy, K. & Gadd, J. (2003). Preliminary examination of trace elements in tyres, brake pads, and road bitumen in New Zealand. 1st ed. Ed. Ministry of Transport. Auckland. pp. 5-16
- Koch, N., Matos, P., Branquinho, C., Pinho, P., Lucheta, F., Martins, S. & Vargas, V. (2019). Selecting lichen functional traits as ecological indicators of the effects of urban environment. *Science of the Total Environment*. Vol. 654: 705-713
- Kricke R. & Loppi S. (2002). Bioindication: The I.A.P. approach. En: Monitoring with lichens Monitoring lichens (P. L. Nimis, C. Scheidegger y P. A. Wolseley, Eds.). Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 21-37.
- Lakatos M., Rascher U., & Büdel B., 2006 — Functional characteristics of corticolous lichens in the understory of a tropical lowland moist forest. *New Phytologist*, 172: 679-695.
- Leblanc, F. (1961). Influence de l'atmosphère polluée des grandes agglomérations urbaines sur les épiphytes corticoles. *Rev. Canad. Biol*, 20(4), 823-827.
- LeBlanc, F., Rao, D. N. & Corneau, G. (1972) Indices of atmospheric purity and fluoride pollution pattern in Arvida, Quebec. *Canadian Journal of Botany* 50:519–528
- Litjjeroff, R. Lima, L. & Prieri, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la Ciudad de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25 (2) 111-120
- Lücking, R., 1997. Abstracta Botanica. *Akadémiai Kiadó* 21 (1), 99–116
- Lücking R., Archer A. & Aptroot A. (2009). A World-wide key to the genus *Graphis* (Ostropales: Graphidaceae). *The Lichenologist* 41(4): 363-452.
- Lücking R, Moncada B, Soto-Medina E, Simijaca D & Sipman, H. (2021). Actualización nomenclatural y taxonómica del Catálogo de Líquenes de Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.*  
<https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1266>
- Machado, A., García, N., García, C., Acosta, L., Córdova, A. *et al.* (2008). Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 24 (4): 171-182.  
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v24n4/v24n4a3.pdf> -

- Maldonado, J., Malavé, R., Henao, M., Franco, C., Gómez, H., Roschman-González, A., Benzo, Z. & Galarraga, F. (2017). Lichens and air in Latin America. *Ecotoxicology in Latin America*. (Book chapter). Nova Science Publishers, Inc. 417-435 pp.
- Méndez VH & Monge, J. (2011). El uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel mundial. *Biocenosis*. 25(1-2):51-67.
- Méndez, P. & Vallejo, M. (2003). Evaluación de la presencia o ausencia de líquenes foliosos corticícolas en las especies *Pinus oocarpa* y *Heliocarpus popayanensis* en el Jardín Botánico de Popayán, Cauca. (Tesis de pregrado). Fundación Universitaria de Popayán.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT (2010). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de diseño de sistema de vigilancia de la calidad del aire. Bogotá D.C. 135 pp.
- Moncada, L.B. (2012). El género *Sticta* (Schreb.) Ach. En Colombia: Taxonomía, Ecogeografía e Importancia. (Tesis de postgrado). Doctorado en Ciencias-Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.
- Moncada, B., Lüicking, R. y Sipman, H.J.M. (2015). Líquenes de los páramos, bosques y zonas del Distrito Capital. Plegables del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis & Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin,
- Monge-Nájera, J., González, M., & Rivas, M. (2002). A new method to assess air pollution using lichens as bioindicator. *Revista Biología Tropical*. Vol. 50(1): 321-325.
- Moreno C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol.1. Zaragoza, 84 pp.
- Muhammad, N., Hashim, N., Khairuddin, N., Yusof, H., Jusoh, S., Abas, A., Talip, B., Abdullah, N. & Din, L. (2018). Identification of most tolerant lichen species to vehicular traffic's pollutants: A case study at Batu Pahat. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*. Vol. 1(1). 57-64.
- Nash T. & Whirt W. (1988). Lichens, bryophytes and air quality *Bibliotheca Lichenologica*. J. Cramer. Berlin. Stuttgart. p. 297
- Nimis, P.L., Castello, M., Perotti, M. (1990). Lichens as biomonitors of sulphur dioxide pollution in la spezia (northern italy). *Lichenologist* 22 (3), 333–344.<https://doi.org/10.1017/S0024282990000378>



- Cislagui, C. & Nimis, P.L. (1997). Lichens, air pollution and lung cancer. *Nature* 387.
- Nuria, Durán. (1997). Botánica los Hongos Algas y Líquenes. Barcelona. Editorial Centauro.
- Nylander, W. (1866) Les lichens du Jardin de Luxemburg. Francia: Bull *Soc Bot.* France.
- Organización Mundial de la Salud – OMS. (2018). Calidad del aire. Datos y cifras.  
[http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O’Hara, R.B. et al. (2013). Package ‘vegan’ version 2.0-10. En Community ecology package.  
<http://www.r-project.org>
- Pachón, J. & Sarmiento, H. (2008). Análisis espacio-temporal de la concentración de metales pesados en la localidad de Puente Aranda de Bogotá-Colombia. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* 43: 120-133.
- Perlmutter, G., Blank, G., Wentworth, T., Lowman, M., Neufeld, H. & Rivas-Plata, E. (2017). Highway pollution effects on microhabitat community structure of corticolous lichens. *The Bryologist*. Vol. 120(1): 1-10. <https://doi.org/10.1639/0007-2745-120.1.001>
- Portilla, O. (10 de marzo de 2019). Transporte informal en Popayán, entre la necesidad y la ilegalidad. *El Nuevo Liberal*, p. 8
- Quijano, A., Quijano, M. & Quijano, S. (2018). Matales en el aire de Bucaramanga-Colombia en el día de no carro. *Revista Infometric@ - Serie Ingeniería, Básicas y Agrícolas*. 1(2): 33-40. <http://infometrica.org/index.php/syh/article/view/31/29>
- Rincón- Espitia, A. Aguirre, J. & Lücking R. (2011). Líquenes corticícolas de Caribe Colombiano. *Caldasia*. Vol. 33(2): 331-347.
- Rincón, J. (2012). Líquenes como bioindicadores en el monitoreo de la calidad del aire. (Tesis de posgrado). Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Programa de Química Ambiental.
- Rindita, Sudirman, L.I., Koesmaryono (2015). Air quality bioindicator using the population of epiphytic macrolichens in Bogor City, West Java. *HAYATI J. Biosci.*, 22(2), 53–74. <https://doi.org/10.4308/hjb.22.2.53>

- Rosabal, D., Burgaz, A. & Reyes, O. (2012). Diversidad y distribución vertical de líquenes corticícolas en la pluvisilva montana de la Gran Piedra, Cuba. *Botánica Complutensis* 36: 19-30. [http://dx.doi.org/10.5209/rev\\_BOCM.2012.v36.39439](http://dx.doi.org/10.5209/rev_BOCM.2012.v36.39439)
- Rubiano, L.J., (2002). Monitoria de áreas de isocontaminación en la región de influencia de la Central Termoeléctrica Martín del Corral utilizando líquenes como bioindicadores. *Pérez-Arbelaezia*, 13: 91–104.
- Rubiano, L. & Chaparro, M. (2006). Delimitación de áreas de isocontaminación atmosférica en el campus de la Universidad Nacional de Colombia mediante el análisis de bioindicadores (líquenes epífitos). *Acta biol. Colomb.*, Vol. 11(2): 87-102.
- Rubiano L. (1987). Delimitación de áreas de isocontaminación en Cali y Medellín utilizando líquenes como bioindicadores. *Pérez Arbelaezia*. Vol. 1(4):7-41.
- Sáenz, A., Flores, F., Madrigal, L., y Di Stefano, J. (2007). Estimación del grado de contaminación del aire por medio de la cobertura de líquenes sobre troncos de árboles en la ciudad de San José, Costa Rica. *Revista Brenesia*. 68, 29-35
- Saipunkaew W, Wolseley P, Chimonides J, Boonpragob K. (2004). Lichens as monitors of urban pollution in northern Thailand. In: Randle T, Saag A (Eds.) IAL5 book of abstracts: Lichens in focus. Tartu, University of Tartu, 67-68.
- Sistema de Información para la gestión del arbolado de Popayán – SIGAPO++. (2018). Visor geográfico. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P. Versión 1.  
<http://censoarboreo.acueductopopayan.com.co/sigapo/index.php/mapa/general>
- Simijaca-Salcedo, D., Morales, M. & Pérez, C. (2011). Líquenes y contaminación atmosférica en la universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Boyacá. *Rev. Ciencia en Desarrollo*, Vol. 3(2): 69-88.
- Simijaca-Salcedo, DF, Vargas-Rojas DL, Morales-Puentes ME. (2014). Uso de organismos vegetales no vasculares como indicadores de contaminación atmosférica urbana (Tunja, Boyacá, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*. Vol. 19(2): 221-232.
- Sipman H., Hekking W. & Aguirre J. (2006). Checklist of lichenized and lichenicolous fungi from Colombia. In: Biblioteca José Jerónimo Triana, pp. 235

- Sipman, H. & Aptroot, A. (2007). Lichen biodiversity in New Guinea. En: Marshall, A.J. y Beehler, B.M. (Eds.). *Ecology of Indonesian Papua Part One*. (pp 303-319). Hong Kong: Periplus editions (HK) Ltd.
- Sipman, H. (2011). Diversity of Lichenized Fungi in the Tropical Andes. En: Herzog, S., Martinez, R., Jorgensen, P. y Tiessen, H. (Eds.). *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*. (pp 220-223). Paris, Francia: Inter-American Institute for Global Change Global (IAI) y Scientific Committee of the Environment (SCOPE).
- Spribile, T., Tuovinen, V., Resl, P., *et al.* (2016). Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens. *Science*. 353:488-492
- Soto-Medina, E., Lücking, R. & Bolaños-Rojas, A. (2012). Especificidad de forófito y preferencias microambientales de los líquenes cortícolas en cinco forófitos del bosque premontano de finca Zíngara, Cali, Colombia. *Revista Biológica Tropical*. Vol. 60(2): 843-856.
- Soto-Medina E, Díaz D, Montaña J. (2021). Biogeografía y riqueza de los líquenes de Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.*  
<https://raccefyn.co/index.../raccefyn/article/view/1224/2951>
- Statsoft. (2005). *Statistica (Data analysis software system)*, Version 7.1. Tulsa: Statsoft, Inc. Retrieved from <http://www.statsoft.com>.
- Torres, J.M. (2014). Estudio de la liquenobiota presente en las cuencas de los ríos Fucha y Arzobispo (Bogotá-Colombia) como bioindicadores de calidad del aire. (Trabajo de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C.
- Varela, Z., López-Sánchez, G., Yáñez, M., Pérez, C., Fernández, J., Matos, P., Branquinho, C. & Aboal, J. (2018). Changes in epiphytic lichen diversity are associated with air particulate matter levels: The case study of urban areas in Chile. *Ecological Indicators*. Vol. 91: 307-314.
- Ya-Fen, W., Huangb, K., Lic, C. Mia, H., Luoc, J. & P. Tsaid. (2003). Emissions of fuel metals content from a diesel vehicle engine. *Atmospheric Environment*. 37: 4637 – 4643.
- Zafra, C., Luengas, E. & Temprano, J. (2013) Influencia del tráfico en la acumulación de metales pesados sobre vías urbanas: Torrelavega (España) – Soacha (Colombia). *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*. 67: 146-160

## 12. Anexos

### 12.1. Anexo 1. Tabla ubicación estaciones

Comuna	Estación	Ubicación	Vegetación	Uso del suelo	Fuentes de emisión	Tipo de vía	Tipo distribución	Tipo de zona	Tipo de área	Clasificación estación
1	1	Av. Panamericana, sector El Tablazo	Guayacán rosado y guayacán amarillo principalmente.	Campestre, con algunas viviendas cercanas a la vía en el sector sur.	Muy alto flujo vehicular (Todo tipo de transporte urbano, intermunicipal y nacional)	Principal	Árboles ubicados en el separador vial	Urbana	Tráfico	Urbana de tráfico
1	2	Av. Panamericana, Sector Catay	Guayacán (amarillo, rosado) y Urapán	Comercial e Institucional, presencia de algunas viviendas cercanas	Muy alto flujo vehicular (Todo tipo de transporte urbano, intermunicipal y nacional)	Principal	Árboles ubicados en el separador vial	Urbana	Tráfico	Urbana de tráfico
1	3	Sector Carantanta	Principalmente Guayacán amarillo y rosado, Urapán, guayacán de Manizales, Casco de buey, Leucaena.	Comercial, residencial	Muy alto flujo vehicular (Todo tipo de transporte urbano, intermunicipal y nacional)	Principal	Árboles ubicados en el separador vial y en el parque	Urbana	Tráfico	Urbana de tráfico
1	4	Terminal de transportes	Leucaena, Guayacán amarillo y rosado, Tulipán africano, Urapán.	Comercial	Muy alto flujo vehicular (Todo tipo de transporte urbano, intermunicipal y nacional)	Principal	Árboles ubicados en el separador vial y en el parque	Urbana	Tráfico	Urbana de tráfico
3	5	Parque Mosquera	Guayacán amarillo y rosado, Álamo,	Institucional (estación	Bajo flujo vehicular	Terciaria	Todos en el parque	Urbana	Entorno de fondo	Urbana de fondo

				Tulipán, Urapán, guayacán de Manizales	Policía) y (particulares y algunos taxis)							
3	6	Residencias femeninas Universidad del Cauca		Urapán, guayacán amarillo y rosado.	Institucional	Medio flujo vehicular (particulares, taxis y algunas rutas urbanas)	Secundaria	Ubicados dentro de la zona Unicauca	urbana	Entorno de fondo	Urbana de fondo	de
3	7	Parque Docente	Villa	Mayor presencia guayacanes amarillo, rosado y Urapán	Residencial	Bajo flujo vehicular (particulares y algunos taxis)	terciaria	Ubicados en el parque y a un lado de la vía	Urbana	Entorno de fondo	Urbana de fondo	de
1	8	Villa Comfacauca		Urapán principalmente, guayacán amarillo, rosado y vainillo	Comercial e Institucional (caja de compensación)	Medio flujo vehicular (particulares, taxis y algunas rutas urbanas)	Secundaria	Árboles ubicados en el separador vial	Urbana	Entorno de fondo	Urbana de fondo	de
3	9	Cra. Barrio Alicante	6N,	Vainillo, Urapán, guayacán de Manizales, guayacán amarillo, tulipán y fresno	Residencial comercial	Alto flujo vehicular (particular, taxis y rutas urbanas)	Principal	Árboles ubicados a uno de los lados de la vía	Urbana	Entorno de fondo	Urbana de fondo	de
3	10	Cerro cruces	Tres	Roble, balso blanco, guayacán de manizales, balso tambor, yarumo, laurel, siete cueros.	Campestre	No hay flujo vehicular	NA	Remanente de bosque	Suburbana	Entorno de fondo	Semiurbana	

**12.2. Anexo 2.** Registro valores IPA con el método tradicional IPA LeBlanc *et al.* (1972) y método suizo Kricke & Loppi, (2002). Frecuencia, especies acompañantes, sumatoria de especies acompañantes, factor de resistencia y cobertura.

Estació i	Genero	epíteto	n° foróf.	C A	F	Co	Esp. acomp.	S spp acomp.	N est.	IQ	IAP
<b>1</b>	<i>Crespoa</i>	<i>crozalziana</i>	4	0,01	1	1	20	163	4	40,8	4,1
	<i>Dirinaria</i>	sp.	12	0,07	1	1	20	319	9	35,4	3,5
	<i>Leptogium</i>	<i>phyllocarpum</i>	1	0,00	1	1	20	218	6	36,3	3,6
	<i>Physcia</i>	<i>undulata</i>	3	0,02	1	1	20	284	8	35,5	3,6
	<i>Parmotrema</i>	<i>sancti-angelii</i>	11	0,10	2	2	20	348	<b>10</b>	34,8	7,0
	<i>Parmotrema</i>	<i>tinctorum</i>	4	0,00	1	1	20	20	1	20,0	2,0
	<i>Punctelia</i>	<i>stictica</i>	2	0,00	1	1	20	20	1	20,0	2,0
	<i>Leptogium</i>	sp.1	1	0,00	1	1	20	75	2	37,5	3,8
	<i>Leptogium</i>	<i>isidiosellum</i>	6	0,04	1	1	20	319	9	35,4	3,5
	<i>Sticta</i>	sp.1	1	0,00	1	1	20	20	1	20,0	2,0
	<i>Dirinaria</i>	<i>applanata</i>	2	0,01	1	1	20	145	4	36,3	3,6
	<i>Punctelia</i>	cf. <i>rudecta</i>	8	0,09	1	1	20	319	9	35,4	3,5
	<i>Lepraria</i>	sp.	5	0,06	1	1	20	211	7	30,1	3,0
	<i>Cladonia</i>	sp.	2	0,00	1	1	20	130	4	32,5	3,3
	<i>Coccocarpia</i>	<i>palmicola</i>	1	0,00	1	1	20	236	7	33,7	3,4
	<i>Punctelia</i>	sp.	1	0,00	1	1	20	68	2	34,0	3,4
	<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	6	0,02	1	1	20	319	9	35,4	3,5
	<i>Pyxine</i>	sp.	3	0,01	1	1	20	226	6	37,7	3,8
	<i>Hyperphyscia</i>	<i>syncolla</i>	2	0,04	1	1	20	184	6	30,7	3,1
	<i>Herpothallon</i>	<i>minimum</i>	1	0,01	1	1	20	279	8	34,9	3,5
	<i>Ramalina</i>	<i>celastri</i>	1	0,01	1	1	20	195	5	39,0	3,9
<b>Total especies: 21</b>											<b>73</b>
<b>2</b>	<i>Dirinaria</i>	sp.	8	0,07	1	1	22	319	9	35,4	3,5

	<i>Leptogium</i>	<i>phyllo carpum</i>	1	0,00	1	1	22	218	6	36,3	3,6
	<i>Physcia</i>	<i>undulata</i>	4	0,02	1	1	22	284	8	35,5	3,6
	<i>Parmotrema</i>	<i>sancti-angelii</i>	11	0,10	2	2	22	348	10	34,8	7,0
	<i>Leptogium</i>	<i>isidiosellum</i>	8	0,04	1	1	22	319	9	35,4	3,5
	<i>Punctelia</i>	<i>cf. rudecta</i>	6	0,09	1	1	22	319	9	35,4	3,5
	<i>Lepraria</i>	sp.	4	0,06	1	1	22	211	7	30,1	3,0
	<i>Coccocarpia</i>	<i>palmicola</i>	1	0,00	1	1	22	236	7	33,7	3,4
	<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	12	0,02	1	1	22	319	9	35,4	3,5
	<i>Pyxine</i>	sp.	1	0,01	1	1	22	226	6	37,7	3,8
	<i>Hyperphyscia</i>	<i>syncolla</i>	10	0,04	1	1	22	184	6	30,7	3,1
	<i>Physcia</i>	<i>sorediosa</i>	1	0,00	1	1	22	68	2	34,0	3,4
	<i>Parmotrema</i>	sp.	4	0,01	1	1	22	55	2	27,5	2,8
	<i>Pyxine</i>	<i>cocoes</i>	6	0,05	1	1	22	298	8	37,3	3,7
	<i>Heterodermia</i>	sp.1	2	0,02	1	1	22	252	7	36,0	3,6
	<i>Flavoparmelia</i>	sp.	8	0,14	3	3	22	298	8	37,3	11,2
	<i>Collema</i>	sp.	1	0,00	1	1	22	136	4	34,0	3,4
	<i>Chrysothrix</i>	<i>candelaris</i>	1	0,01	1	1	22	95	3	31,7	3,2
	<i>Physcia</i>	sp.1	1	0,00	1	1	22	122	3	40,7	4,1
	<i>Polyblastidium</i>	<i>japonicum</i>	1	0,02	1	1	22	298	8	37,3	3,7
	<i>Lecanora</i>	<i>helva</i>	1	0,00	1	1	22	298	8	37,3	3,7
	<i>Ramboldia</i>	<i>russula</i>	1	0,00	1	1	22	122	3	40,7	4,1
	<i>Pyrenula</i>	<i>macrospora</i>	1	0,00	1	1	22	22	1	22,0	2,2
	<b>Total especies: 23</b>										<b>91</b>
<b>3</b>	<i>Dirinaria</i>	sp.	4	0,07	1	1	32	319	9	35,4	3,5
	<i>Physcia</i>	<i>undulata</i>	2	0,00	1	1	32	284	8	35,5	3,6
	<i>Parmotrema</i>	<i>sancti-angelii</i>	4	0,10	1	1	32	348	10	34,8	3,5
	<i>Leptogium</i>	<i>isidiosellum</i>	8	0,04	1	1	32	319	9	35,4	3,5
	<i>Punctelia</i>	<i>cf. rudecta</i>	7	0,09	1	1	32	319	9	35,4	3,5
	<i>Lepraria</i>	sp.	9	0,06	1	1	32	211	7	30,1	3,0

	<i>Coccocarpia</i>	<i>palmicola</i>	1	0,00	1	1	32	236	7	33,7	3,4
	<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	12	0,02	1	1	32	319	9	35,4	3,5
	<i>Hyperphyscia</i>	<i>syncolla</i>	5	0,04	1	1	32	184	6	30,7	3,1
	<i>Herpothallon</i>	<i>minimum</i>	3	0,01	1	1	32	279	8	34,9	3,5
	<i>Parmotrema</i>	sp.	1	0,01	1	1	32	55	2	27,5	2,8
	<i>Pyxine</i>	<i>cocoes</i>	10	0,05	1	1	32	298	8	37,3	3,7
	<i>Heterodermia</i>	sp.1	6	0,02	1	1	32	252	7	36,0	3,6
	<i>Flavoparmelia</i>	sp.	11	0,14	2	2	32	298	8	37,3	7,5
	<i>Polyblastidium</i>	<i>japonicum</i>	2	0,02	1	1	32	298	8	37,3	3,7
	<i>Lecanora</i>	<i>helva</i>	1	0,00	1	1	32	298	8	37,3	3,7
	<i>Parmotrema</i>	<i>permutatum</i>	3	0,01	1	1	32	175	5	35,0	3,5
	<i>Caloplaca</i>	sp.1	1	0,00	1	1	32	32	1	32,0	3,2
	<i>Physcia</i>	sp.2	1	0,00	1	1	32	32	1	32,0	3,2
	<i>Sticta</i>	<i>scabrosa</i>	3	0,01	1	1	32	198	5	39,6	4,0
	<i>Leptogium</i>	<i>cyanescens</i>	3	0,00	1	1	32	161	5	32,2	3,2
	<i>Physcia</i>	<i>erumpens</i>	1	0,00	1	1	32	67	2	33,5	3,4
	<i>Graphis</i>	<i>chondroplaca</i>	1	0,00	1	1	32	80	2	40,0	4,0
	<i>Heterodermia</i>	<i>albicans</i>	1	0,01	1	1	32	250	6	41,7	4,2
	<i>Cladonia</i>	<i>cerathophylla</i>	1	0,00	1	1	32	32	1	32,0	3,2
	<i>Pannaria</i>	sp.	1	0,00	1	1	32	213	5	42,6	4,3
	<i>Bacidia</i>	<i>rosella</i>	1	0,00	1	1	32	67	2	33,5	3,4
	<i>Heterodermia</i>	<i>obscurata</i>	1	0,00	1	1	32	167	4	41,8	4,2
	<i>Pertusaria</i>	<i>cicatricosa</i>	2	0,00	1	1	32	213	5	42,6	4,3
	Costroso	sp.1	1	0,00	1	1	32	57	2	28,5	2,9
	<i>Haematomma</i>	<i>flexuosum</i>	1	0,00	1	1	32	32	1	32,0	3,2
	<i>Pyrenula</i>	<i>thelomorpha</i>	1	0,00	1	1	32	150	4	37,5	3,8
	<i>Physcia</i>	<i>pachyphylla</i>	1	0,00	1	1	32	57	2	28,5	2,9
	<b>Total de especies: 33</b>										<b>120</b>
<b>4</b>	<i>Dirinaria</i>	sp.	7	0,07	1	1	24	319	9	35,4	3,5



	<i>Physcia</i>	<i>undulata</i>	2	0,00	1	1	24	284	8	35,5	3,6
	<i>Parmotrema</i>	<i>sancti-angelii</i>	7	0,10	2	2	24	348	10	34,8	7,0
	<i>Leptogium</i>	<i>isidiosellum</i>	4	0,04	1	1	24	319	9	35,4	3,5
	<i>Dirinaria</i>	<i>applanata</i>	1	0,01	1	1	24	145	4	36,3	3,6
	<i>Punctelia</i>	<i>cf. rudecta</i>	7	0,09	1	1	24	319	9	35,4	3,5
	<i>Lepraria</i>	sp.	6	0,06	1	1	24	211	7	30,1	3,0
	<i>Coccocarpia</i>	<i>palmicola</i>	1	0,00	1	1	24	236	7	33,7	3,4
	<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	14	0,02	1	1	24	319	9	35,4	3,5
	<i>Hyperphyscia</i>	<i>syncolla</i>	5	0,04	1	1	24	184	6	30,7	3,1
	<i>Herpothallon</i>	<i>minimum</i>	1	0,01	1	1	24	279	8	34,9	3,5
	<i>Pyxine</i>	<i>cocoes</i>	8	0,05	1	1	24	298	8	37,3	3,7
	<i>Heterodermia</i>	sp.1	6	0,02	1	1	24	252	7	36,0	3,6
	<i>Flavoparmelia</i>	sp.	8	0,14	2	2	24	298	8	37,3	7,5
	<i>Chrysothrix</i>	<i>candelaris</i>	5	0,01	1	1	24	95	3	31,7	3,2
	<i>Polyblastidium</i>	<i>japonicum</i>	1	0,02	1	1	24	298	8	37,3	3,7
	<i>Lecanora</i>	<i>helva</i>	1	0,00	1	1	24	298	8	37,3	3,7
	<i>Parmotrema</i>	<i>permutatum</i>	5	0,01	1	1	24	175	5	35,0	3,5
	<i>Leptogium</i>	<i>cyanescens</i>	1	0,01	1	1	24	161	5	32,2	3,2
	Costroso sp.1		1	0,00	1	1	24	57	2	28,5	2,9
	<i>Physcia</i>	<i>pachyphylla</i>	1	0,00	1	1	24	57	2	28,5	2,9
	<i>Heterodermia</i>	<i>kurokawae</i>	1	0,00	1	1	24	70	2	35,0	3,5
	<i>Hyperphyscia</i>	<i>adglutinata</i>	1	0,00	1	1	24	24	1	24,0	2,4
	<i>Letrouitia</i>	<i>flavidula</i>	1	0,00	1	1	24	24	1	24,0	2,4
	<i>Sticta</i>	sp.2	1	0,00	1	1	24	24	1	24,0	2,4
	<b>Total especies : 25</b>										
<b>5</b>	<i>Dirinaria</i>	sp.	7	0,07	1	1	34	319	9	35,4	3,5
	<i>Parmotrema</i>	<i>sancti-angelii</i>	8	0,10	2	2	34	348	10	34,8	7,0
	<i>Leptogium</i>	<i>isidiosellum</i>	3	0,04	1	1	34	319	9	35,4	3,5
	<i>Punctelia</i>	<i>cf. rudecta</i>	6	0,09	1	1	34	319	9	35,4	3,5

<i>Lepraria</i>	sp.	3	0,06	1	1	34	211	7	30,1	3,0
<i>Cladonia</i>	sp.	1	0,00	1	1	34	130	4	32,5	3,3
<i>Coccocarpia</i>	<i>palmicola</i>	1	0,00	1	1	34	236	7	33,7	3,4
<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	3	0,02	1	1	34	319	9	35,4	3,5
<i>Herpothallon</i>	<i>minimum</i>	3	0,01	1	1	34	279	8	34,9	3,5
<i>Pyxine</i>	<i>cocoes</i>	6	0,05	1	1	34	298	8	37,3	3,7
<i>Heterodermia</i>	sp.1	1	0,02	1	1	34	252	7	36,0	3,6
<i>Flavoparmelia</i>	sp.	7	0,14	2	2	34	298	8	37,3	7,5
<i>Polyblastidium</i>	<i>japonicum</i>	3	0,02	1	1	34	298	8	37,3	3,7
<i>Lecanora</i>	<i>helva</i>	1	0,00	1	1	34	298	8	37,3	3,7
<i>Parmotrema</i>	<i>permutatum</i>	1	0,01	1	1	34	175	5	35,0	3,5
<i>Sticta</i>	<i>scabrosa</i>	1	0,01	1	1	34	198	5	39,6	4,0
<i>Heterodermia</i>	<i>albicans</i>	2	0,01	1	1	34	250	6	41,7	4,2
<i>Pannaria</i>	sp.	3	0,01	1	1	34	213	5	42,6	4,3
<i>Bacidia</i>	<i>rosella</i>	1	0,00	1	1	34	67	2	33,5	3,4
<i>Heterodermia</i>	<i>obscurata</i>	1	0,01	1	1	34	167	4	41,8	4,2
<i>Pertusaria</i>	<i>cicatricosa</i>	4	0,01	1	1	34	213	5	42,6	4,3
<i>Pyrenula</i>	<i>thelomorpha</i>	1	0,00	1	1	34	150	4	37,5	3,8
<i>Lecanora</i>	sp.1	1	0,00	1	1	34	220	5	44,0	4,4
<i>Lecanora</i>	sp.2	1	0,00	1	1	34	172	4	43,0	4,3
<i>Graphis</i>	<i>scripta</i>	1	0,00	1	1	34	128	3	42,7	4,3
<i>Alyxoria</i>	<i>varia</i>	2	0,00	1	1	34	117	3	39,0	3,9
<i>Sticta</i>	<i>pseudosylvatica</i>	1	0,00	1	1	34	63	2	31,5	3,2
<i>Pyxine</i>	cf. <i>sorediata</i>	5	0,00	1	1	34	80	2	40,0	4,0
Costroso sp.2		1	0,00	1	1	34	34	1	34,0	3,4
Costroso sp.3		1	0,00	1	1	34	71	2	35,5	3,6
<i>Herpothallon</i>	<i>rubrocinctum</i>	1	0,01	1	1	34	164	4	41,0	4,1
<i>Herpothallon</i>	<i>pustulatum</i>	2	0,01	1	1	34	249	6	41,5	4,2
<i>Brigantiaea</i>	<i>leucoxantha</i>	1	0,00	1	1	34	34	1	34,0	3,4

	<i>Cratiria</i>	<i>obscurior</i>	1	0,00	1	1	34	183	4	45,8	4,6
	<i>Fellhanera</i>	sp.	1	0,00	1	1	34	34	1	34,0	3,4
	<b>Total especies : 35</b>										<b>138</b>
<b>6</b>	<i>Crespoa</i>	<i>crozalziana</i>	1	0,01	1	1	45	163	4	40,8	4,1
	<i>Dirinaria</i>	sp.	7	0,07	1	1	45	319	9	35,4	3,5
	<i>Leptogium</i>	<i>phyllocarpum</i>	2	0,00	1	1	45	218	6	36,3	3,6
	<i>Physcia</i>	<i>undulata</i>	1	0,02	1	1	45	284	8	35,5	3,6
	<i>Parmotrema</i>	<i>sancti-angelii</i>	15	0,10	2	2	45	348	10	34,8	7,0
	<i>Leptogium</i>	<i>isidiosellum</i>	5	0,04	1	1	45	319	9	35,4	3,5
	<i>Punctelia</i>	cf. <i>rudecta</i>	4	0,09	1	1	45	319	9	35,4	3,5
	<i>Cladonia</i>	sp.	1	0,00	1	1	45	130	4	32,5	3,3
	<i>Coccocarpia</i>	<i>palmicola</i>	1	0,00	1	1	45	236	7	33,7	3,4
	<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	5	0,02	1	1	45	319	9	35,4	3,5
	<i>Pyxine</i>	sp.	1	0,01	1	1	45	298	6	49,7	5,0
	<i>Hyperphyscia</i>	<i>syncolla</i>	1	0,04	1	1	45	184	6	30,7	3,1
	<i>Ramalina</i>	<i>celastri</i>	6	0,01	1	1	45	195	5	39,0	3,9
	<i>Physcia</i>	<i>sorediosa</i>	1	0,00	1	1	45	68	2	34,0	3,4
	<i>Pyxine</i>	<i>cocoes</i>	8	0,05	1	1	45	298	8	37,3	3,7
	<i>Flavoparmelia</i>	sp.	9	0,14	2	2	45	298	8	37,3	7,5
	<i>Polyblastidium</i>	<i>japonicum</i>	12	0,02	1	1	45	298	8	37,3	3,7
	<i>Lecanora</i>	<i>helva</i>	4	0,00	1	1	45	298	8	37,3	3,7
	<i>Ramboldia</i>	<i>russula</i>	2	0,00	1	1	45	122	3	40,7	4,1
	<i>Sticta</i>	<i>scabrosa</i>	6	0,01	1	1	45	198	5	39,6	4,0
	<i>Leptogium</i>	<i>cyanescens</i>	7	0,01	1	1	45	161	5	32,2	3,2
	<i>Heterodermia</i>	<i>albicans</i>	1	0,01	1	1	45	250	6	41,7	4,2
	<i>Pannaria</i>	sp.	2	0,01	1	1	45	213	5	42,6	4,3
	<i>Pertusaria</i>	<i>cicatricosa</i>	2	0,01	1	1	45	213	5	42,6	4,3
	<i>Pyrenula</i>	<i>thelomorpha</i>	1	0,00	1	1	45	150	4	37,5	3,8
	<i>Heterodermia</i>	<i>kurokawae</i>	1	0,00	1	1	45	70	2	35,0	3,5

	<i>Lecanora</i>	sp.1	7	0,00	1	1	45	220	5	44,0	4,4
	<i>Lecanora</i>	sp.2	2	0,00	1	1	45	172	4	43,0	4,3
	<i>Graphis</i>	<i>scripta</i>	2	0,00	1	1	45	128	3	42,7	4,3
	<i>Alyxoria</i>	<i>varia</i>	1	0,00	1	1	45	117	3	39,0	3,9
	<i>Pyxine</i>	cf. <i>sorediata</i>	1	0,00	1	1	45	80	2	40,0	4,0
	<i>Herpothallon</i>	<i>rubrocinctum</i>	6	0,01	1	1	45	164	4	41,0	4,1
	<i>Herpothallon</i>	<i>pustulatum</i>	1	0,01	1	1	45	249	6	41,5	4,2
	<i>Cratiria</i>	<i>obscurior</i>	1	0,00	1	1	45	183	4	45,8	4,6
	<i>Crocodia</i>	<i>aurata</i>	10	0,02	1	1	45	214	5	42,8	4,3
	<i>Usnea</i>	sp.	7	0,01	1	1	45	177	4	44,3	4,4
	<i>Leucodermia</i>	<i>leucomelos</i>	5	0,01	1	1	45	214	5	42,8	4,3
	<i>Sticta</i>	<i>cometia</i>	1	0,00	1	1	45	74	2	37,0	3,7
	<i>Hypotrachyna</i>	<i>costaricensis</i>	2	0,01	1	1	45	185	4	46,3	4,6
	<i>Teloschistes</i>	<i>flavicans</i>	1	0,00	1	1	45	129	3	43,0	4,3
	<i>Ramalina</i>	<i>complanata</i>	3	0,00	1	1	45	148	3	49,3	4,9
	Costroso sp.4		1	0,00	1	1	45	93	2	46,5	4,7
	<i>Glyphis</i>	<i>cicatricosa</i>	3	0,00	1	1	45	100	2	50,0	5,0
	<i>Phaeographis</i>	<i>lobata</i>	4	0,00	1	1	45	100	2	50,0	5,0
	<i>Lecanora</i>	sp.3	1	0,00	1	1	45	185	4	46,3	4,6
	Costroso sp.5		1	0,00	1	1	45	45	1	45,0	4,5
	<b>Total especies : 46</b>										<b>192</b>
<b>7</b>	<i>Dirinaria</i>	sp.	3	0,07	1	1	36	319	9	35,4	3,5
	<i>Physcia</i>	<i>undulata</i>	4	0,02	1	1	36	284	8	35,5	3,6
	<i>Parmotrema</i>	<i>sancti-angelii</i>	2	0,10	2	2	36	348	10	34,8	7,0
	<i>Leptogium</i>	<i>isidiosellum</i>	8	0,04	1	1	36	319	9	35,4	3,5
	<i>Punctelia</i>	cf. <i>rudecta</i>	7	0,09	1	1	36	319	9	35,4	3,5
	<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	4	0,02	1	1	36	319	9	35,4	3,5
	<i>Pyxine</i>	sp.	1	0,01	1	1	36	298	6	49,7	5,0
	<i>Hyperphyscia</i>	<i>syncolla</i>	1	0,01	1	1	36	184	6	30,7	3,1

<i>Herpothallon</i>	<i>minimum</i>	6	0,04	1	1	36	279	8	34,9	3,5
<i>Pyxine</i>	<i>cocoes</i>	9	0,05	1	1	36	298	8	37,3	3,7
<i>Heterodermia</i>	sp.1	2	0,02	1	1	36	252	7	36,0	3,6
<i>Flavoparmelia</i>	sp.	6	0,14	2	2	36	298	8	37,3	7,5
<i>Collema</i>	sp.	2	0,00	1	1	36	136	4	34,0	3,4
<i>Polyblastidium</i>	<i>japonicum</i>	6	0,02	1	1	36	298	8	37,3	3,7
<i>Lecanora</i>	<i>helva</i>	2	0,00	1	1	36	298	8	37,3	3,7
<i>Parmotrema</i>	<i>permutatum</i>	2	0,01	1	1	36	175	5	35,0	3,5
<i>Sticta</i>	<i>scabrosa</i>	2	0,01	1	1	36	198	5	39,6	4,0
<i>Leptogium</i>	<i>cyanescens</i>	2	0,01	1	1	36	161	5	32,2	3,2
<i>Physcia</i>	<i>erumpens</i>	4	0,00	1	1	36	67	2	33,5	3,4
<i>Heterodermia</i>	<i>albicans</i>	6	0,01	1	1	36	250	6	41,7	4,2
<i>Pyrenula</i>	<i>thelomorpha</i>	1	0,00	1	1	36	150	4	37,5	3,8
<i>Lecanora</i>	sp.1	3	0,00	1	1	36	220	5	44,0	4,4
<i>Lecanora</i>	sp.2	2	0,00	1	1	36	172	4	43,0	4,3
<i>Alyxoria</i>	<i>varia</i>	1	0,00	1	1	36	117	3	39,0	3,9
Costroso	sp.3	1	0,00	1	1	36	71	2	35,5	3,6
<i>Herpothallon</i>	<i>pustulatum</i>	2	0,01	1	1	36	249	6	41,5	4,2
<i>Crocodia</i>	<i>aurata</i>	1	0,02	1	1	36	214	5	42,8	4,3
<i>Leucodermia</i>	<i>leucomelos</i>	3	0,01	1	1	36	214	5	42,8	4,3
<i>Hypotrachyna</i>	<i>costaricensis</i>	3	0,01	1	1	36	185	4	46,3	4,6
<i>Lecanora</i>	sp.3	2	0,00	1	1	36	185	4	46,3	4,6
<i>Heterodermia</i>	sp.2	4	0,01	1	1	36	36	1	36,0	3,6
<i>Bogoriella</i>	sp.	3	0,00	1	1	36	91	2	45,5	4,6
<i>Bacidia</i>	sp.1	1	0,00	1	1	36	36	1	36,0	3,6
<i>Caloplaca</i>	sp.2	1	0,00	1	1	36	91	2	45,5	4,6
<i>Sticta</i>	<i>minutula</i>	2	0,00	1	1	36	91	2	45,5	4,6
<i>Coenogonium</i>	sp.	1	0,00	1	1	36	91	2	45,5	4,6
<i>Physcia</i>	sp.3	1	0,00	1	1	36	91	2	45,5	4,6

<b>Total especies : 37</b>											<b>152</b>
<b>8</b>	<i>Crespoa</i>	<i>crozalziana</i>	3	0,01	1	1	53	163	4	40,8	4,08
	<i>Dirinaria</i>	sp.	2	0,07	1	1	53	319	9	35,4	3,54
	<i>Leptogium</i>	<i>phyllocarpum</i>	1	0,00	1	1	53	218	6	36,3	3,63
	<i>Physcia</i>	<i>undulata</i>	2	0,02	1	1	53	284	8	35,5	3,55
	<i>Parmotrema</i>	<i>sancti-angelii</i>	15	0,10	2	2	53	348	10	34,8	6,96
	<i>Leptogium</i>	sp.1	1	0,00	1	1	53	75	2	37,5	3,75
	<i>Leptogium</i>	<i>isidiosellum</i>	9	0,04	1	1	53	319	9	35,4	3,54
	<i>Dirinaria</i>	<i>applanata</i>	2	0,01	1	1	53	145	4	36,3	3,63
	<i>Punctelia</i>	cf. <i>rudecta</i>	7	0,09	1	1	53	319	9	35,4	3,54
	<i>Lepraria</i>	sp.	1	0,06	1	1	53	211	7	30,1	3,01
	<i>Coccocarpia</i>	<i>palmicola</i>	1	0,00	1	1	53	236	7	33,7	3,37
	<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	9	0,02	1	1	53	319	9	35,4	3,54
	<i>Pyxine</i>	sp.	5	0,01	1	1	53	226	6	37,7	3,77
	<i>Herpothallon</i>	<i>minimum</i>	1	0,04	1	1	53	279	8	34,9	3,49
	<i>Ramalina</i>	<i>celastri</i>	10	0,01	1	1	53	195	5	39,0	3,90
	<i>Pyxine</i>	<i>cocoes</i>	6	0,05	1	1	53	298	8	37,3	3,73
	<i>Heterodermia</i>	sp.1	2	0,02	1	1	53	252	7	36,0	3,60
	<i>Flavoparmelia</i>	sp.	15	0,14	2	2	53	298	8	37,3	7,45
	<i>Physcia</i>	sp.1	2	0,00	1	1	53	122	3	40,7	4,07
	<i>Polyblastidium</i>	<i>japonicum</i>	5	0,02	1	1	53	298	8	37,3	3,73
	<i>Lecanora</i>	<i>helva</i>	3	0,00	1	1	53	298	8	37,3	3,73
	<i>Ramboldia</i>	<i>russula</i>	10	0,00	1	1	53	122	3	40,7	4,07
	<i>Heterodermia</i>	<i>albicans</i>	1	0,01	1	1	53	250	6	41,7	4,17
	<i>Pannaria</i>	sp.	1	0,01	1	1	53	213	5	42,6	4,26
	<i>Heterodermia</i>	<i>obscurata</i>	4	0,01	1	1	53	167	4	41,8	4,18
	<i>Pertusaria</i>	<i>cicatricosa</i>	1	0,01	1	1	53	213	5	42,6	4,26
	<i>Lecanora</i>	sp.1	5	0,00	1	1	53	220	5	44,0	4,40
	<i>Lecanora</i>	sp.2	2	0,00	1	1	53	172	4	43,0	4,30

	<i>Herpothallon</i>	<i>rubrocinctum</i>	2	0,01	1	1	53	164	4	41,0	4,10
	<i>Herpothallon</i>	<i>pustulatum</i>	1	0,01	1	1	53	249	6	41,5	4,15
	<i>Cratiria</i>	<i>obscurior</i>	2	0,00	1	1	53	183	4	45,8	4,58
	<i>Crocodia</i>	<i>aurata</i>	4	0,02	1	1	53	214	5	42,8	4,28
	<i>Usnea</i>	sp.	11	0,01	1	1	53	177	4	44,3	4,43
	<i>Leucodermia</i>	<i>leucomelos</i>	4	0,01	1	1	53	214	5	42,8	4,28
	<i>Hypotrachyna</i>	<i>costaricensis</i>	9	0,01	1	1	53	185	4	46,3	4,63
	<i>Teloschistes</i>	<i>flavicans</i>	2	0,00	1	1	53	129	3	43,0	4,30
	<i>Ramalina</i>	<i>complanata</i>	9	0,00	1	1	53	148	3	49,3	4,93
	<i>Glyphis</i>	<i>cicatricosa</i>	5	0,00	1	1	53	100	2	50,0	5,00
	<i>Phaeographis</i>	<i>lobata</i>	1	0,00	1	1	53	100	2	50,0	5,00
	<i>Lecanora</i>	sp.3	6	0,00	1	1	53	185	4	46,3	4,63
	<i>Bogoriella</i>	sp.	1	0,00	1	1	53	91	2	45,5	4,55
	<i>Caloplaca</i>	sp.2	8	0,00	1	1	53	91	2	45,5	4,55
	<i>Sticta</i>	<i>minutula</i>	2	0,00	1	1	53	91	2	45,5	4,55
	<i>Coenogonium</i>	sp	1	0,00	1	1	53	91	2	45,5	4,55
	<i>Physcia</i>	sp.3	1	0,00	1	1	53	91	2	45,5	4,55
	<i>Parmotrema</i>	cf. <i>austrosinense</i>	11	0,02	1	1	53	131	3	43,7	4,37
	<i>Tephromela</i>	<i>atra</i>	1	0,00	1	1	53	54	1	54,0	5,40
	Costroso sp.6		1	0,00	1	1	53	54	1	54,0	5,40
	<i>Lecanora</i>	sp.4	1	0,00	1	1	53	54	1	54,0	5,40
	<i>Bulbothrix</i>	<i>bicornuta</i>	1	0,00	1	1	53	54	1	54,0	5,40
	<i>Parmotrema</i>	<i>reticulatum</i>	3	0,01	1	1	53	54	1	54,0	5,40
	Costroso sp.7		1	0,00	1	1	53	54	1	54,0	5,40
	Costroso sp.8		1	0,00	1	1	53	54	1	54,0	5,40
	<i>Sticta</i>	sp.3	1	0,00	1	1	53	54	1	54,0	5,40
	<b>Total species: 54</b>										
<b>9</b>	<i>Crespoa</i>	<i>crossalzana</i>	5	0,01	1	1	45	163	4	40,8	4,08
	<i>Dirinaria</i>	sp.	2	0,07	1	1	45	319	9	35,4	3,54

<i>Leptogium</i>	<i>phyllocarpum</i>	2	0,00	1	1	45	218	6	36,3	3,63
<i>Physcia</i>	<i>undulata</i>	4	0,02	1	1	45	284	8	35,5	3,55
<i>Parmotrema</i>	<i>sancti-angelii</i>	14	0,10	2	2	45	348	10	34,8	6,96
<i>Leptogium</i>	<i>isidiosellum</i>	9	0,04	1	1	45	319	9	35,4	3,54
<i>Dirinaria</i>	<i>applanata</i>	6	0,01	1	1	45	145	4	36,3	3,63
<i>Punctelia</i>	<i>cf. rudecta</i>	12	0,09	1	1	45	319	9	35,4	3,54
<i>Lepraria</i>	sp.	1	0,06	1	1	45	211	7	30,1	3,01
<i>Punctelia</i>	sp.	1	0,00	1	1	45	68	2	34,0	3,40
<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	9	0,02	1	1	45	319	9	35,4	3,54
<i>Pyxine</i>	sp.	2	0,01	1	1	45	226	6	37,7	3,77
<i>Herpothallon</i>	<i>minimum</i>	4	0,04	1	1	45	279	8	34,9	3,49
<i>Ramalina</i>	<i>celastri</i>	1	0,01	1	1	45	195	5	39,0	3,90
<i>Pyxine</i>	<i>cocoes</i>	7	0,05	1	1	45	298	8	37,3	3,73
<i>Heterodermia</i>	sp.1	1	0,02	1	1	45	252	7	36,0	3,60
<i>Flavoparmelia</i>	sp.	10	0,14	2	2	45	298	8	37,3	7,45
<i>Collema</i>	sp.	1	0,00	1	1	45	136	4	34,0	3,40
<i>Chrysothrix</i>	<i>candelaris</i>	5	0,01	1	1	45	95	3	31,7	3,17
<i>Physcia</i>	sp.1	1	0,00	1	1	45	122	3	40,7	4,07
<i>Polyblastidium</i>	<i>japonicum</i>	2	0,02	1	1	45	298	8	37,3	3,73
<i>Lecanora</i>	<i>helva</i>	5	0,00	1	1	45	298	8	37,3	3,73
<i>Parmotrema</i>	<i>permutatum</i>	1	0,01	1	1	45	175	5	35,0	3,50
<i>Sticta</i>	<i>scabrosa</i>	5	0,01	1	1	45	198	5	39,6	3,96
<i>Leptogium</i>	<i>cyanescens</i>	4	0,01	1	1	45	161	5	32,2	3,22
<i>Graphis</i>	<i>chondroplaca</i>	1	0,00	1	1	45	80	2	40,0	4,00
<i>Heterodermia</i>	<i>albicans</i>	10	0,01	1	1	45	250	6	41,7	4,17
<i>Pannaria</i>	sp.	3	0,01	1	1	45	213	5	42,6	4,26
<i>Heterodermia</i>	<i>obscurata</i>	4	0,01	1	1	45	167	4	41,8	4,18
<i>Pertusaria</i>	<i>cicatricosa</i>	2	0,01	1	1	45	213	5	42,6	4,26
<i>Lecanora</i>	sp.1	1	0,00	1	1	45	220	5	44,0	4,40



<i>Graphis</i>	<i>scripta</i>	1	0,00	1	1	45	128	3	42,7	4,27
<i>Herpothallon</i>	<i>pustulatum</i>	1	0,01	1	1	45	249	6	41,5	4,15
<i>Cratiria</i>	<i>obscurior</i>	2	0,00	1	1	45	183	4	45,8	4,58
<i>Crocodia</i>	<i>aurata</i>	1	0,02	1	1	45	214	5	42,8	4,28
<i>Usnea</i>	sp.	1	0,01	1	1	45	177	4	44,3	4,43
<i>Leucodermia</i>	<i>leucomelos</i>	3	0,01	1	1	45	214	5	42,8	4,28
<i>Hypotrachyna</i>	<i>costaricensis</i>	2	0,01	1	1	45	185	4	46,3	4,63
<i>Ramalina</i>	<i>complanata</i>	1	0,00	1	1	45	148	3	49,3	4,93
Costroso sp.4		1	0,00	1	1	45	93	2	46,5	4,65
<i>Lecanora</i>	sp.3	2	0,00	1	1	45	185	4	46,3	4,63
<i>Parmotrema</i>	cf. <i>austrosinense</i>	3	0,02	1	1	45	131	3	43,7	4,37
Folioso sp.1		1	0,00	1	1	45	47	1	47,0	4,70
<i>Bacidia</i>	sp.2	2	0,00	1	1	45	76	2	38,0	3,80
Costroso sp.9		1	0,00	1	1	45	47	1	47,0	4,70
Folioso sp.2		1	0,00	1	1	45	47	1	47,0	4,70
<b>Total species: 46</b>										<b>189</b>

---

<b>10</b>	<i>Leptogium</i>	<i>phyllo carpum</i>	1	0,00	1	1	28	218	6	36,3	3,6
	<i>Parmotrema</i>	<i>sancti-angelii</i>	1	0,10	1	1	28	348	10	34,8	3,5
	<i>Cladonia</i>	sp.	1	0,00	1	1	28	130	4	32,5	3,3
	<i>Herpothallon</i>	<i>minimum</i>	9	0,01	1	1	28	279	8	34,9	3,5
	<i>Ramalina</i>	<i>celastri</i>	5	0,01	1	1	28	195	5	39,0	3,9
	<i>Collema</i>	sp.	3	0,00	1	1	28	136	4	34,0	3,4
	<i>Sticta</i>	<i>pseudosylvatica</i>	1	0,00	1	1	28	63	2	31,5	3,2
	<i>Herpothallon</i>	<i>rubrocinctum</i>	13	0,01	1	1	28	164	4	41,0	4,1
	<i>Herpothallon</i>	<i>pustulatum</i>	9	0,01	1	1	28	249	6	41,5	4,2
	<i>Crocodia</i>	<i>aurata</i>	2	0,02	1	1	28	214	5	42,8	4,3
	<i>Usnea</i>	sp.	4	0,01	1	1	28	177	4	44,3	4,4

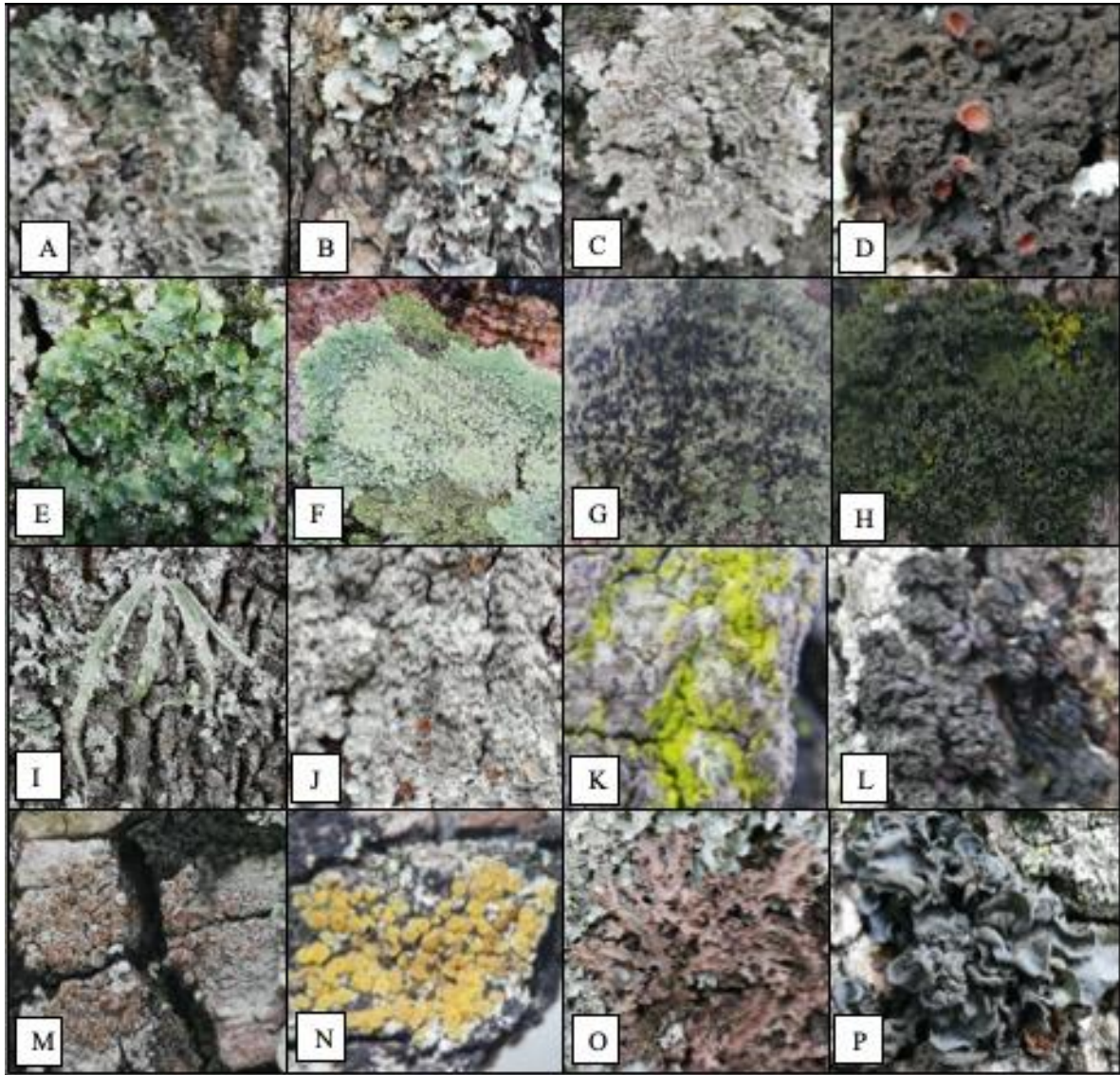
---

	<i>Leucodermia</i>	<i>leucomelos</i>	3	0,01	1	1	28	214	5	42,8	4,3
--	--------------------	-------------------	---	------	---	---	----	-----	---	------	-----

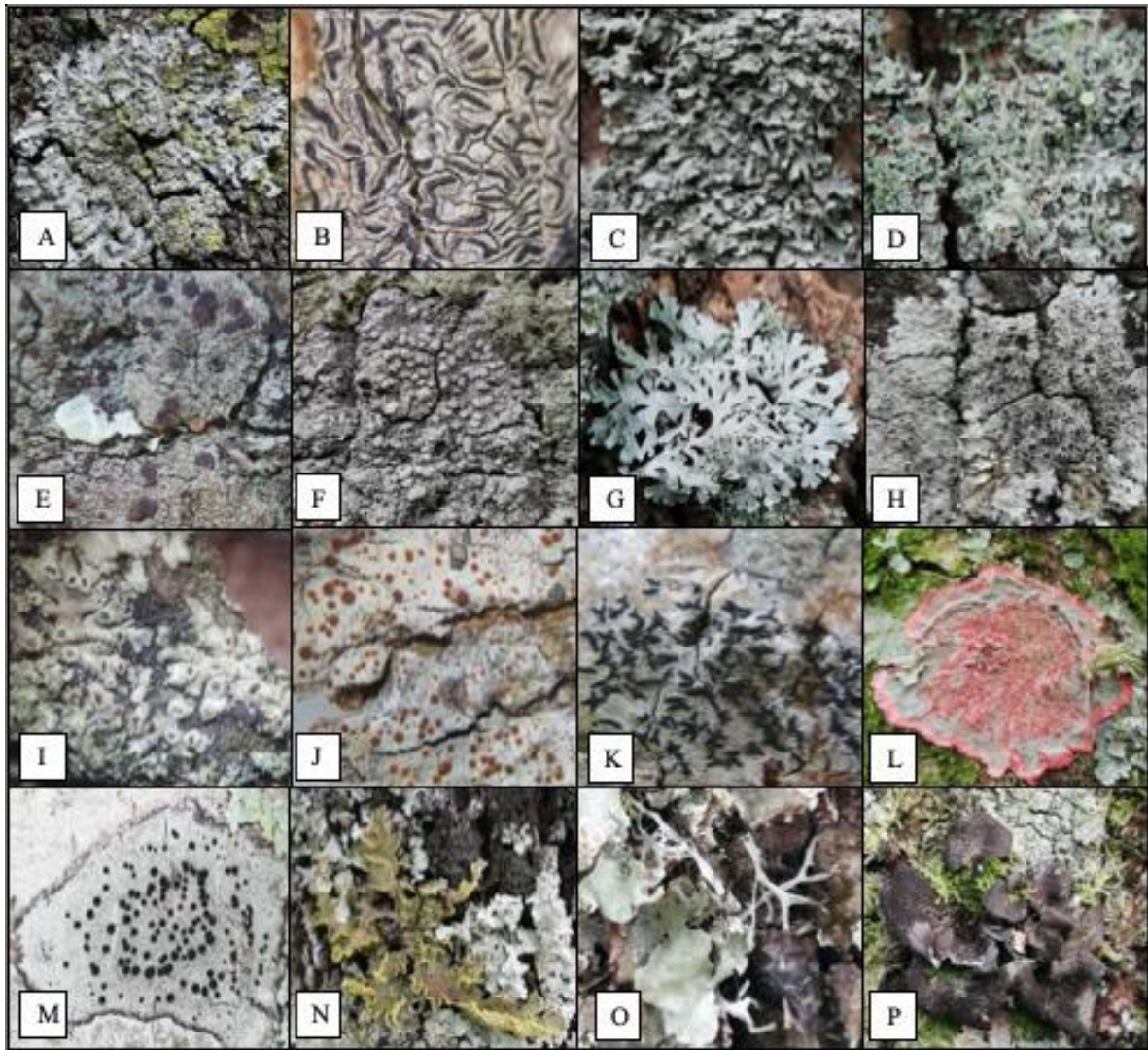
<i>Sticta</i>	<i>cometia</i>	4	0,00	1	1	28	74	2	37,0	3,7
<i>Teloschistes</i>	<i>flavicans</i>	1	0,00	1	1	28	129	3	43,0	4,3
<i>Parmotrema</i>	cf. <i>austrosinense</i>	1	0,02	1	1	28	131	3	43,7	4,4
<i>Bacidia</i>	sp.2	1	0,00	1	1	28	76	2	38,0	3,8
<i>Leptogium</i>	sp.2	1	0,00	1	1	28	28	1	28,0	2,8
<i>Coniocarpum</i>	<i>cinnabarinum</i>	2	0,00	1	1	28	28	1	28,0	2,8
<i>Coenogonium</i>	cf. <i>linkii</i>	7	0,00	1	1	28	28	1	28,0	2,8
<i>Sticta</i>	cf. <i>luteocyphellata</i>	1	0,00	1	1	28	28	1	28,0	2,8
<i>Malmidea</i>	<i>hypomelaena</i>	1	0,00	1	1	28	28	1	28,0	2,8
<i>Caloplaca</i>	sp.3	1	0,00	1	1	28	28	1	28,0	2,8
<i>Hypotrachyna</i>	sp.	6	0,00	1	1	28	28	1	28,0	2,8
<i>Sticta</i>	<i>plumbeociliata</i>	1	0,00	1	1	28	28	1	28,0	2,8
<i>Sticta</i>	<i>cometiella</i>	1	0,00	1	1	28	28	1	28,0	2,8
<i>Coenogonium</i>	<i>strigosum</i>	1	0,00	1	1	28	28	1	28,0	2,8
<i>Pertusaria</i>	sp.	1	0,00	1	1	28	28	1	28,0	2,8
<i>Lecanora</i>	sp.5	1	0,00	1	1	28	28	1	28,0	2,8
<i>Sticta</i>	<i>laminobeauvoisii</i>	1	0,00	1	1	28	28	1	28,0	2,8
<b>Total species: 29</b>										<b>98</b>

---

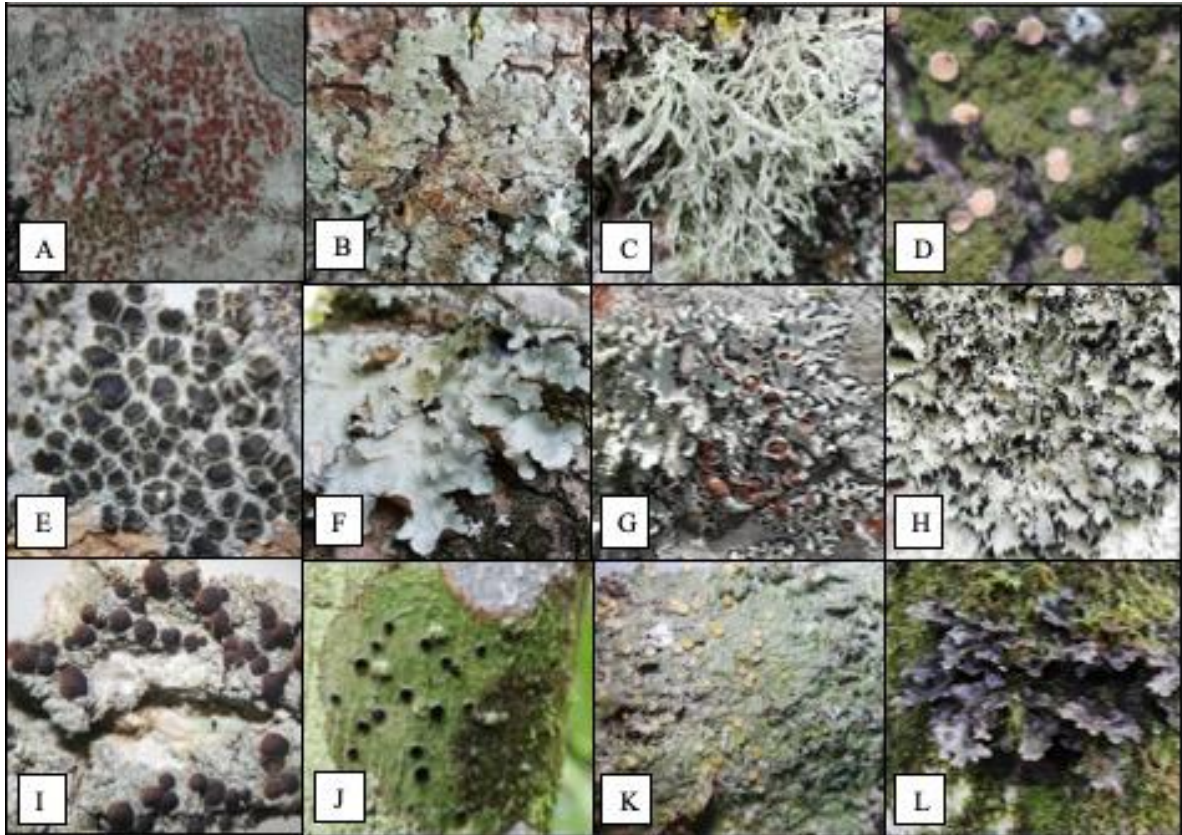
12.3. Anexo 3: Imágenes representativas



Especies registradas en el estudio. **A.** *Crespoa crosalziana*. **B.** *Parmotrema sancti-angelii*. **C.** *Physcia undulata*. **D.** *Leptogium isidiosellum*. **E.** *Punctelia* cf. *rudecta*. **F.** *Dirinaria applanata*. **G.** *Pyxine cocoes*. **H.** *Hyperphyscia syncolla*. **I.** *Ramalina celastri*. **J.** *Flavoparmelia* sp. **K.** *Chrysothrix candelaris*. **L.** *Collema* sp. **M.** *Lecanora helva*. **N.** *Caloplaca* sp.1. **O.** *Sticta scabrosa*. **P.** *Leptogium cyanescens*.



Especies registradas en el estudio. **A.** *Physcia erumpens* **B.** *Graphis chondroplaca* **C.** *Heterodermia albicans* **D.** *Cladonia ceratophylla* **E.** *Bacidia rosella* **F.** *Pertusaria cicatricosa* **G.** *Heterodermia obscurata* **H.** *Physcia pachyphylla* **I.** *Hyperphyscia adglutinata* **J.** *Letrouitia flavidula* **K.** *Alyxoria varia* **L.** *Herpothallon rubrocinctum* **M.** *Cratiria obscurior* **N.** *Crocodia aurata* **O.** *Leucodermia leucomelos* **P.** *Sticta* cf. *minutula*.



Especies registradas en el estudio. **A.** *Ramboldia russula* **B.** *Hypotrachyna costaricensis* **C.** *Ramalina complanata* **D.** *Coenogonium* sp. **E.** *Tephromela atra* **F.** *Parmotrema* cf. *austrosinense* **G.** *Bulbothrix bicornuta* **H.** *Parmotrema reticulatum* **I.** *Bacidia* sp. **J.** *Malmidea hypomelaena* **K.** *Coenogonium strigosum* **L.** *Sticta* cf. *plumbeociliata*.