

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ATMOSFÉRICA EN ZONAS DE TRÁFICO  
VEHICULAR Y ZONAS VERDES EN EL MUNICIPIO DE MELGAR-TOLIMA,  
POR MEDIO DE ÍNDICES BASADOS EN COMUNIDADES LIQUÉNICAS

CAROLINA VILLARRAGA ARTEAGA  
DANIELA SÁNCHEZ ANGARITA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL  
IBAGUÉ - TOLIMA  
2019

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ATMOSFÉRICA EN ZONAS DE TRÁFICO  
VEHICULAR Y ZONAS VERDES EN EL MUNICIPIO DE MELGAR-TOLIMA,  
POR MEDIO DE ÍNDICES BASADOS EN COMUNIDADES LIQUÉNICAS

CAROLINA VILLARRAGA ARTEAGA  
DANIELA SÁNCHEZ ANGARITA

Trabajo de grado para obtener el título de administradores ambientales

Director

Miguel Moreno Palacios, M.Sc.

Codirector

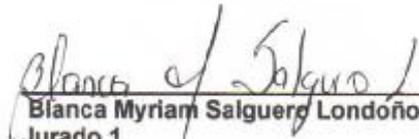
Alfredo José Torres Benítez, (c) M.Sc.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL  
IBAGUÉ - TOLIMA

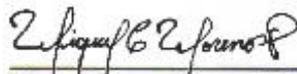
2019

**NOTA DE ACEPTACIÓN:**

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Administrador del Medio Ambiente y los Recursos Naturales.

  
Blanca Myriam Salguero Londoño  
Jurado 1

  
Natalie Charlotte Cortés Rendón  
Jurado 2

  
Miguel Cesar Moreno Palacios  
Director

  
Alfredo José Torres Benítez  
Codirector

**IBAGUÉ, SEPTIEMBRE DE 2019**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN .....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	15
1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	16
2. JUSTIFICACIÓN .....	17
3. OBJETIVOS .....	18
3.1 GENERAL .....	18
3.2 ESPECÍFICO .....	18
4. MARCO REFERENCIAL .....	19
4.1 MARCO CONCEPTUAL.....	19
4.2 MARCO TEÓRICO .....	21
4.2.1 Contexto internacional.....	21
4.2.2 Contexto nacional.....	22
4.2.3 Contexto regional .....	23
4.3 MARCO LEGAL .....	25
5. METODOLOGÍA.....	26
5.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	26
5.2 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	27
5.2.1 Premuestreo .....	27
5.2.2 Muestreo .....	27

5.2.3 Colecta e identificación del material vegetal.....	28
5.2.4 Temporalidad del muestreo.....	28
6. RESULTADOS .....	35
6.1 RIQUEZA Y COBERTURA.....	35
6.2 COBERTURA RELATIVA DE ESPECIES LIQUÉNICAS .....	36
6.3 ÍNDICES DE DIVERSIDAD ALFA .....	39
6.4 ÍNDICE DE DIVERSIDAD LIQUÉNICA (LDV).....	45
6.5 ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA (IPA).....	47
6.6 TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA.....	50
6.7 CORRELACIONES ENTRE VARIABLES E ÍNDICES.....	53
6.8 MODELOS LINEALES GENERALES (MLG) .....	53
7. DISCUSIÓN .....	55
7.1 COMPOSICIÓN ABUNDANCIA LIQUÉNICA.....	55
7.2 ÍNDICES DE DIVERSIDAD ALFA .....	58
7.3 ÍNDICE DE DIVERSIDAD LIQUÉNICA (LDV).....	60
7.4 ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA (IPA).....	60
8. CONCLUSIONES.....	64
9. RECOMENDACIONES .....	65
10. BIBLIOGRAFÍA .....	66

## LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Cobertura de las especies liquénicas en las zonas verdes y de tráfico vehicular.....	36
Tabla 2. Prueba de Hipótesis Marginales IPA – L.....	53
Tabla 3. Medias ajustadas y errores estándares para las zonas IPA – L. ....	54

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Localización de las zonas verdes (ZV) y las zonas de tráfico vehicular (ZTV) en el municipio de Melgar.....	26
Figura 2. Riqueza de especies por familia. ....	35
Figura 3. Cobertura relativa de las especies liquénicas. ....	36
Figura 4. Cobertura relativa entre zonas verdes y zonas de tráfico vehicular ...	39
Figura 5. Índices de diversidad Alfa Shannon y Margalef. ....	40
Figura 6. Índices de diversidad Alfa Dominancia y Equitatividad. ....	40
Figura 7. Índice de Margalef promedio entre las zonas. ....	41
Figura 8. Índice de Margalef en las zonas verdes y las zonas de tráfico vehicular.....	42
Figura 9. Índice de Shannon promedio entre las zonas. ....	43
Figura 10. Índice de Shannon para las zonas verdes y las zonas de tráfico vehicular. ....	43
Figura 11. Índice de Dominancia promedio entre las zonas. ....	44
Figura 12. Índice de dominancia para las zonas verdes y las zonas de tráfico vehicular. ....	45
Figura 13. Índice de Diversidad Liquéncia (LDV) para las zonas verdes y las zonas de tráfico vehicular. ....	46
Figura 14. Índice de diversidad líquénica (LDV) entre las zonas verdes y las zonas de tráfico vehicular. ....	47
Figura 15. Índice de pureza atmosférica (IPA) modificado por Jaramillo y Botero entre zonas verdes y de zonas de tráfico vehicular.....	48
Figura 16. Índice de pureza atmosférica (IPA) Le Blanc y De Sloover entre zonas verdes y de zonas de tráfico vehicular. ....	49
Figura 17. Índice de pureza atmosférica (IPA) modificado por Jaramillo y Botero. ....	49

Figura 18. Índice de pureza atmosférica (IPA) Le Blanc y De Sloover. ....	50
Figura 19. Temperatura promedio de las zonas verdes y zonas de tráfico vehicular.....	51
Figura 20. Humedad promedio de las zonas verdes y zonas de tráfico vehicular.....	52

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. <i>Mangifera indica</i> . .....	73
Anexo 2. Brújula. ....	73
Anexo 3. Aplicación GPS. ....	73
Anexo 4. Bolsa ziploc. ....	73
Anexo 5. Formato de campo. ....	74
Anexo 6. <i>Pyxine pyxinoides</i> . ....	74
Anexo 7. <i>Phyllopsora sp</i> .....	74
Anexo 8. <i>Leptogium cf. Isidioselloides</i> . ....	75
Anexo 9. <i>Crypthotecia sp.1</i> .....	75
Anexo 10. <i>Candelaria concolor</i> . ....	75
Anexo 11. <i>Leptogium sp.3</i> .....	75
Anexo 12. <i>Haematomma sp</i> . ....	75
Anexo 13. <i>Leptogium sp.1</i> .....	75
Anexo 14. <i>Pyrenula sp</i> . ....	76
Anexo 15. <i>Crypthotecia sp.3</i> .....	76
Anexo 16. <i>Cryptothecia striata</i> . ....	76
Anexo 17. <i>Heterodermia japonica</i> .....	76
Anexo 18. <i>Chrysothrix sp.1</i> . ....	76
Anexo 19. <i>Physcia cf. aipolia</i> .....	76
Anexo 20. <i>Lecanora sp.2</i> . ....	77
Anexo 21. <i>Lecanora sp.1</i> .....	77
Anexo 22. <i>Leptogium sp.2</i> . ....	77
Anexo 23. <i>Mycomicrothelia sp</i> .....	77
Anexo 24. <i>Graphis sp.1</i> . ....	77
Anexo 25. <i>Chrysothrix sp.2</i> .....	77

Anexo 26. <i>Crypthotecia sp.2</i> .....	78
Anexo 27. <i>Haematomma leprarioides</i> .....	78
Anexo 28. <i>Fissurina sp.</i> .....	78
Anexo 29. <i>Graphis sp.2</i> .....	78
Anexo 30. Listado de líquenes documentados para el municipio de Melgar.....	78
Anexo 31. Resultado índice de Margalef en las zonas verdes y de tráfico vehicular.....	80
Anexo 32. Resultado índice de Shannon en las zonas verdes y de tráfico vehicular.....	80
Anexo 33. Resultado índice de dominancia en las zonas verdes y de tráfico vehicular.....	81
Anexo 34. Resultado índice de diversidad líquénica (LDV).....	82
Anexo 35. Resultado índice de pureza atmosférica (IPA - J).....	82
Anexo 36. Cobertura en porcentaje de las especies líquénicas.....	83
Anexo 37. Resultado índice de pureza atmosférica (IPA - L).....	85

## RESUMEN

Los líquenes son organismos constituidos por la asociación simbiótica entre un hongo y un alga o cianobacteria. Se caracterizan debido a que no poseen raíz ni cutícula adquiriendo todos los nutrientes por exposición directa de la atmósfera, por este motivo son bioindicadores de calidad del aire muy efectivos. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad atmosférica en zonas de tráfico vehicular y zonas verdes del municipio de Melgar-Tolima, por medio de índices basados en comunidades liquénicas. Para ello, se seleccionó 10 zonas verdes (ZV) y 10 zonas de tráfico vehicular (ZTV) recolectando las especies liquénicas presentes en cada forofito. Las especies más abundantes fueron *Pyxine pyxinoidea* (3014 cm<sup>2</sup>), *Crypthotecia sp.3* (2102 cm<sup>2</sup>) y *Crypthotecia sp.1* (1756 cm<sup>2</sup>). Para realizar la evaluación de calidad atmosférica de las ZV y ZTV, se utilizó el Índice de Diversidad Liquénica (LDV) el cual mostró que las ZV presentó el valor más alto. El Índice de Pureza Atmosférica (IPA) modificado por Jaramillo y Botero arrojó que las ZV presentó un valor más alto que las ZTV, este mismo resultado se evidenció en el índice IPA de Le Blanc y Sloover, en donde se determinó por medio de los modelos lineales generales que si existe una diferencia significativa entre las dos zonas. Adicionalmente, se determinaron parámetros de humedad, temperatura, DAP, elevación y altura, asimismo, se emplearon los índices de Shannon, Margalef y Dominancia, donde Shannon y Margalef revelaron mayores valores en las ZV, mientras que Dominancia fue en las ZTV donde se presentó valores más elevados.

Palabras claves: Líquenes, LDV, IPA, bioindicadores, calidad atmosférica, diversidad alfa.

## INTRODUCCIÓN

La calidad atmosférica puede indicar cuánto el aire está libre de contaminantes atmosféricos y por lo tanto apto para ser respirado. No gozar de un ambiente con aire de calidad es un problema que implica riesgo o daño para la seguridad y la salud de las personas y el medio ambiente <sup>1</sup>.

La contaminación del aire se ha identificado como uno de los principales problemas ambientales en las zonas urbanas del mundo, debido a factores como la producción industrial y el flujo intenso de vehículos <sup>2</sup>. En las ciudades, el tráfico es una de las principales fuentes de contaminación atmosférica, la emisión de óxidos nitrosos y partículas en suspensión producen efectos nocivos a la salud humana <sup>3</sup>.

Los líquenes se utilizan comúnmente para evaluar la contaminación ambiental, son bioindicadores de calidad del aire muy efectivos porque no tienen raíz ni cutícula adquiriendo todos los nutrientes por exposición directa de la atmósfera. El uso de bioindicadores presenta numerosas ventajas frente a los métodos tradicionales de evaluación de contaminación ambiental, ya que los bioindicadores añaden el componente temporal correspondiente a la residencia de un organismo en un sistema en particular <sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> SÁNCHEZ, Anibal. VIII Calidad del aire. Encuesta Nacional de Programas Estratégicos 2011-2014. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015. p. 135-139.

<sup>2</sup> OCHOA, Diego, et al. Cambio en la composición de líquenes epifitos relacionados con la calidad del aire en la ciudad Loja (Ecuador) En: Caldasia. Diciembre, 2015, vol. 37, no. 2, p. 333-343.

<sup>3</sup> MARTÍNEZ, Cristina. La importancia de la calidad del aire. En: La nueva España. Diciembre, 2009, vol.1 no 2, p.23.

<sup>4</sup> MARES, Irene. Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire. Trabajo de grado. Madrid, España. Universidad Complutense. Facultad de Farmacia. 2017. 3 p.

La alta sensibilidad de los líquenes a la contaminación ambiental está relacionada con su biología, debido a que no tienen sistema vascular que conduzcan el agua ni los nutrientes, por lo cual han desarrollado mecanismos eficientes para obtenerlos de fuentes atmosféricas <sup>5</sup>.

Además, no todos los líquenes presentan distinta sensibilidad a un determinado contaminante, las especies que son sensibles a estos pueden desaparecer localmente, pero otras con cierta tolerancia al mismo son capaces de persistir. Es esta sensibilidad diferente la verdadera útil para interpretar los efectos de la contaminación del aire <sup>6</sup>.

Los primeros indicios de la sensibilidad de los líquenes como bioindicadores de calidad atmosférica, datan a finales del siglo XIX, Nylander quien tras estudiar la flora líquénica del jardín de Luxemburgo (París) 1866, constata la alta sensibilidad de los líquenes y propone su utilización como bioindicadores, partiendo de esto, se han realizado miles de estudios relevantes como “Lichens as indicators of air pollution in the Tyne Valley” y “Biological estimation of air pollution” <sup>7</sup>.

El municipio de Melgar Tolima es considerado como un destino turístico en el cual es posible desarrollar diferentes actividades de entretenimiento, especialmente por la variedad de discotecas y piscinas que le permiten cambiar la cotidianidad del turista <sup>8</sup>, cuenta con un total de 36.641 habitantes, esta dinámica se entiende porque es un municipio reconocido por ser uno de los

---

<sup>5</sup> MARES, Irene. Op. cit., p. 7.

<sup>6</sup> NASH, Thomas. Lichen Biology. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, EE.UU. 2008. 486 p. ISBN 9780511790478.

<sup>7</sup> MARES, Irene. Op. cit., p. 8.

<sup>8</sup> GARCÍA, Caterine y HERRERA, Katherine Alejandra. Reportaje investigativo: “Melgar Extremo” alternativas turísticas en Melgar - Tolima a través de sus deportes de aventura. Trabajo de grado comunicadora social y periodística. Girardot, Cundinamarca.: Corporación universitaria minuto de Dios. Facultad ciencias de la comunicación, 2017. 1997 p.

centros turísticos más importantes del Tolima, ya que posee el centro vacacional Cafam, cabañas hasta por más de 4 habitaciones, piscinas, discotecas, zoológico, jardín botánico, canchas deportivas y zonas de camping para más de 300 carpas, A pesar de ser un municipio en cuanto al turismo más importante a nivel departamental y de Colombia <sup>9</sup>, no se han realizado estudios para evaluar los impactos ambientales que este ha traído consigo. Por otro lado, los estudios acerca a la calidad del aire son inexistentes y no existe allí estrategias para monitorear emisiones contaminantes.

Por tal motivo, este estudio tiene como objetivo evaluar la calidad atmosférica tanto en las zonas verdes como en las zonas de tráfico vehicular, por medio de índices basados en el estudio de comunidades liquénicas: Índice de Pureza Atmosférica (IPA) y el Valor de la Diversidad Liquélica (LDV).

---

<sup>9</sup> Redacción El Tiempo. Melgar, sol y corazón del Tolima. En: El Tiempo. Bogotá D.C. 20, marzo, 1996.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia, la contaminación atmosférica se ha constituido en uno de los principales problemas ambientales; el deterioro de la calidad del aire ha propiciado que se incrementen efectos sobre la salud humana y el medio ambiente <sup>10</sup>.

Un líquen es un organismo constituido por la asociación simbiótica entre un hongo y un alga o cianobacteria <sup>11</sup>. Los líquenes pueden desarrollarse en diferentes tipos de sustratos como hojas, árboles y rocas, esto se debe a que la mayor parte del agua y los nutrientes son tomados directamente de la atmósfera <sup>12</sup>. Sin embargo, esta dependencia de la atmósfera los hace muy sensibles a cambios en la calidad del aire lo que afecta su abundancia y diversidad, a pesar de conocer la importancia que poseen los líquenes como bioindicadores de calidad atmosférica, en el municipio de Melgar Tolima no existen estudios en el cual se evalúe su calidad del aire <sup>13</sup>.

Por lo cual, al ser Melgar uno de los sitios más importante a nivel de turismo, y al constante flujo de tráfico vehicular, se vio la necesidad de realizar un estudio sobre líquenes como bioindicadores de calidad atmosférica, para así establecer

---

<sup>10</sup> Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. 48 p.

<sup>11</sup> SAN, Miryam y MARÍN, Matías. Líquenes. Microbiología. Universidad de Granada. 2003. 3 p.

<sup>12</sup> CHAPARRO, Martha. y AGUIRRE CEBALLOS, Jaime. En: Hongos Liquenizados. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2002. p. 9.

<sup>13</sup> JARAMILLO, Margarita y BOTERO, Liliana. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Comunidades líquénicas como bioindicadores de calidad del aire. Medellín. Mayo, 2010, vol. 13, no. 1. ISSN 0124.177X.

si hay diferencias en la calidad del aire, tanto en las zonas verdes como de tráfico vehicular, a través del índice de diversidad liquénica (LDV) e Índice de pureza atmosférica (IPA).

## 1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Existe una diferencia en la calidad del aire entre las zonas verdes y zonas de tráfico vehicular en el municipio de Melgar - Tolima?

## 2. JUSTIFICACIÓN

Los hongos son incapaces de sintetizar los hidratos de carbono a partir del CO<sub>2</sub> atmosférico, al no poseer un sistema vascular, han desarrollado mecanismos para obtener nutrientes y agua de las fuentes atmosféricas. Por ende, estos son susceptibles a los cambios que pueda presentar la atmósfera, por lo que son reconocidos como bioindicadores de la calidad atmosférica <sup>14</sup>.

Los líquenes pueden emplearse como bioindicadores de contaminación atmosférica debido a que poseen mecanismos muy eficientes para absorber el agua y los nutrientes de la atmósfera, la sensibilidad de los líquenes a los niveles de CO<sub>2</sub> se conoce desde hace muchos años, y es así que desde la industrialización se han extinguido en grandes zonas <sup>15</sup>.

En el municipio de Melgar no existen estudios relacionados acerca de cómo la diversidad de líquenes pueden indicar la calidad atmosférica en un área determinada; al ser un municipio con mayor importancia en turismo y al aumento considerable que se tiene debido a las grandes concentraciones de CO<sub>2</sub> que se originan por el flujo vehicular, no se conoce su calidad del aire <sup>16</sup>. Por ende, este proyecto tiene como fin evaluar la calidad atmosférica en zonas verdes y zonas de tráfico vehicular en el municipio de Melgar Tolima, como insumo para el análisis de respuesta de las comunidades liquénicas a las condiciones del municipio.

---

<sup>14</sup> MARES, Irene. Op. cit., p. 7.

<sup>15</sup> CUBAS, P., NUÑES, A., CRESPO., y DIVAKAR, P. Los líquenes: que son y su uso como bioindicadores. En: GEMM- proyecto de innovación. Universidad de Complutense de Madrid, 2010, p. 1-8.

<sup>16</sup> GUALTEROS, Rafael Eduardo y PÉREZ Cheryl. Evaluación preliminar de la calidad atmosférica en zonas verdes de la ciudad de Ibagué a través del estudio de líquenes cortícolas. Trabajo de grado administración ambiental. Ibagué.: Universidad de Ibagué. Facultad de ciencias naturales y matemáticas. Departamento de Administración ambiental, 2017. 81 p.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 GENERAL

Evaluar la calidad atmosférica en zonas de tráfico vehicular y zonas verdes del municipio de Melgar-Tolima, por medio de índices basados en comunidades liquénicas.

#### 3.2 ESPECÍFICO

- Determinar la riqueza y abundancia de líquenes de las zonas verdes y de tráfico vehicular del municipio de Melgar-Tolima.
- Establecer la diferencia de la calidad atmosférica entre las zonas verdes y zonas de tráfico vehicular del municipio utilizando el Índice de Diversidad Liquénica (LDV) e Índice de Pureza Atmosférica (IPA).

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 MARCO CONCEPTUAL

Líquenes: Organismos simbióticos compuestos por un componente fúngico o micobionte, y uno o más componentes fotosintéticos o fotobionte <sup>17</sup>.

Componentes de la simbiosis

- Hongo:

La mayoría de los hongos que pueden liquenizarse pertenecen al filo Ascomycetos. Protege al alga de la deshidratación y de las condiciones desfavorables. Es quien consigue la comida. El hongo es el que aporta la mayor parte de la biomasa y es el que controla la asociación.

- Alga:

Las algas más comunes que participan son: Trebouxia, Coccomyxa... Aproximadamente el 92% de los líquenes contienen algas verdes comunes, y solo el 8% cianobacterias. Cuando el fotobionte es un alga azul le cede al hongo glucosa y macronutrientes derivados del N. si es un alga verde le cede ridicol. Cualquiera de estos dos productos al estar dentro del hongo se transforman en alcohol. Dan pigmentación al liquen: verde (Trebouxia), anaranjado (Trentepholia) o verde azulado (Nostoc). Es la encargada de aumentar la población <sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> PEREZ, Oscar. Líquenes de la provincia del Chubut. 1 ed. Argentina.: Rawson, 2011. 239 p. (serie secretaría de cultura del chubut; no. 12). ISBN 978-987-1412-28-0.

<sup>18</sup> SAN, M. y MARÍN, M. Op. cit., p. 3.

- Liquenización:  
Se realiza por:
  - Por simple adherencia entre las paredes de los simbiontes.
  - Penetración intracelular del agua por medio de haustorios emitidos por el hongo <sup>19</sup>.

LDV (Valor de la Diversidad Liguénica): Es un estimador estadístico de las condiciones ambientales en la unidad muestral, y se basa en la suma de las frecuencias medias de las especies para cada franco de cada árbol incluido en la estación <sup>20</sup>.

IPA (Índice de Pureza Atmosférica): El método del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) permite evaluar la calidad del aire con líquenes, combinando el número de especies presentes en un sitio con la sensibilidad de éstas a ciertos contaminantes ambientales. La fórmula del IPA que utiliza la frecuencia como parámetro de bioindicación ha demostrado ser la más eficaz; además que aporta datos sobre la cobertura liquénica y la diversidad de especies <sup>21</sup>.

Diversidad Alfa: Entendida como la riqueza de especies a nivel local de una comunidad que se considera más o menos homogénea <sup>22</sup>.

---

<sup>19</sup> SAN, M. y MARÍN, M. Op. cit., p. 3.

<sup>20</sup> HUAMÁN, María Eugenia. Diversidad de líquenes cortícolas y calidad del aire en el distrito de Huancayo. Trabajo de grado Ingeniero Forestal y Ambiental. Huancayo, Perú. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. 2016. 24 p.

<sup>21</sup> SANTONI, Celina y LIJTEROFF, Ruben. Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la provincia de San Luis, Argentina. En: Redalyc.org. Mayo, 2006. Vol 10, No. 57, p. 51-57.

<sup>22</sup> MEDINA, Guido. Revista de Biología Tropical. Diversidad alfa y beta de la comunidad de reptiles en el complejo cenagoso de Zapatosa, Colombia. Bogotá D.C. Enero, 2011, vol. 59. ISSN-0034-7744.

Bioindicadores: Organismos que manifiestan síntomas particulares en respuesta a cambios medioambientales, generalmente de manera cuantitativa <sup>23</sup>.

## 4.2 MARCO TEÓRICO

### 4.2.1 Contexto internacional

Los líquenes son conocidos por ser sensibles a los cambios en la composición atmosférica indicando posible contaminación, además son utilizados por ser ubicuos encontrándose en aumento en muchos centros urbanos sobre todo en países desarrollados, debido a la disminución del dióxido de azufre en la atmósfera de las ciudades, son organismos relativamente longevos por lo que están expuestos a cambios en los componentes atmosféricos por largos periodos, dicho lo anterior en los Trópicos se realizó un estudio acerca de la contaminación atmosférica y los cambios medioambientales por medios de los líquenes como bioindicadores, esta investigación se realizó debido a los pocos estudios relacionados con la calidad atmosférica en dicho lugar <sup>24</sup>.

En Guatemala, se realizaron estudios de contaminación aérea en el corredor metropolitano de la ciudad de Guatemala por sus elevadas concentraciones de emisiones generadas por los vehículos que transitan diariamente, además de poseer una alta densidad poblacional. Este estudio se desarrolló por medio de los índices que categorizaron los niveles de contaminación atmosférica, además

---

<sup>23</sup> HAWKSWORTH, David; ITURRIAGA, Teresa; CRESPO, Ana. Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio- ambientales en los trópicos. En: Revista iberoamericana de micología. Abril, 2005. Vol. 22, no. 72. p.71-82.

<sup>24</sup> Ibid., p. 71.

se investigó la riqueza y composición liquénica en especies de árboles seleccionados <sup>25</sup>.

En la ciudad de la Paz, Bolivia, se implementó el índice de pureza atmosférica para evaluar la calidad del aire y la influencia que tiene la contaminación sobre las comunidades liquénicas, donde se vio reflejado que en las zonas de tráfico vehicular hay menos presencia de líquenes <sup>26</sup>.

#### 4.2.2 Contexto nacional

Como contexto nacional en cuanto a estudios sobre líquenes, en Bogotá se realizó una investigación sobre la conservación de humedales por medio de la bioindicación de líquenes, en cuanto a calidad atmosférica donde se demostró que estos ecosistemas además de ofrecer servicios ecosistémicos, son fuentes principales de diversidad biológica. A falta de conocimiento, esto ha generado consecuencias en esta biodiversidad ya que no es tenida en cuenta como el indicador de las condiciones ambientales de los humedales <sup>27</sup>.

Un reciente estudio elaborado en esa misma ciudad nos muestra como los componentes demográficos, industriales, tránsito vehicular entre otros, son causantes del aumento de emisiones atmosféricas provocando deterioro en la calidad del aire. La investigación se realizó con el fin de obtener una comparación

---

<sup>25</sup> COHN-BERGER, Gretchen y QUEZADA, Maura. Líquenes como bioindicadores de contaminación aérea en el corredor metropolitano de la ciudad de Guatemala. En: Revista Científica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Abril, 2016. Vol. 26, No. 1, p. 20-36.

<sup>26</sup> CANSECO, Angela; ANZE, Rafael y FRANKEN, Margot. Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. Acta Nova. 2006. vol. 3, no. 2, p. 286-307.

<sup>27</sup> PARDO, Yuddy Judith. Estado de conservación de seis humedales de Bogotá D.C., utilizando líquenes como bioindicadores. Tesis presentada como requisito parcial para optar el título de Magister en Ciencias Ambientales. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ciencias Naturales. 2015. 87 p.

histórica de la contaminación atmosférica entre los años 2015 - 2017 en la zona de las Ferias, utilizando los líquenes como bioindicadores. Se concluye que la calidad del aire varió durante ese tiempo, indicando que el crecimiento del parque automotor influyó en la variación de los datos recolectados <sup>28</sup>.

#### 4.2.3 Contexto regional

A nivel departamental se han realizado estudios de líquenes como bioindicadores de calidad atmosférica, uno de ellos fue el elaborado por Trujillo y Tafur <sup>29</sup> en donde analizaron la diversidad liquénica encontrada en las zonas urbanas y periurbanas en la ciudad de Ibagué. Así mismo, se hizo un estudio desarrollado por Gualteros y Pérez <sup>30</sup> el cual que se asemeja a lo realizado en el municipio de Melgar, sirviendo como apoyo comparativo para el análisis de los resultados encontrados. Se investigó si existe una diferencia en la diversidad de líquenes en las 10 zonas verdes y las 10 principales zonas de tráfico vehicular de la ciudad de Ibagué. Esta información se analizó por distintos índices como el índice de diversidad liquénica (LDV) e Índice de pureza atmosférica (IPA).

Un estudio realizado por Espinoza y Trujillo en el año 2016, en el cual evaluaron la relación entre las concentraciones de óxidos atmosféricos y la diversidad y abundancia de líquenes en la zona urbana y zona periurbana de la ciudad de Ibagué <sup>31</sup>. Así mismo, en el año 2018 un estudio realizado por Zárate Nicolás,

---

<sup>28</sup> FIGUEROA, Egna Vanessa. En: universidad militar nueva granada. Junio, 2017. Vol. 7, No. 14, p. 14-56.

<sup>29</sup> TAFUR, Andrés y TRUJILLO, Luis Miguel. diversidad y composición de líquenes cortícolas en el área urbana y periurbana de la ciudad de Ibagué - Tolima. Trabajo de grado. Administración ambiental. Ibagué-Tolima.: Universidad de Ibagué. Facultad de ciencias naturales y matemáticas. Departamento de administración ambiental, 2016. 55 p.

<sup>30</sup> GUALTEROS, R. y PÉREZ C. Op, cit., p. 81.

<sup>31</sup> ESPINOZA, Nubia Yineth y TRUJILLO, Andrea Carolina. Evaluación de óxidos atmosféricos y su relación con la comunidad liquénica en la ciudad de Ibagué - Tolima. Trabajo de grado. Administración Ambiental. Ibagué- Tolima.; Universidad de Ibagué. Facultad de ciencias naturales y matemáticas. Departamento de Administración ambiental. 2017. 67 p.

quien caracterizó la diversidad de líquenes cortícolas presentes en el bosque subandino El Espejo de la microcuenca de la quebrada Ambalá en la ciudad de Ibagué <sup>32</sup>, e igualmente encontró la especie *Cryptothecia striata* el cual fue un líquen representativo en el presente estudio.

Por otra parte, Cano y Quiroga (2018), estudiaron la dinámica de la calidad del aire y su relación con la presencia de óxidos atmosféricos en la ciudad de Ibagué, donde encontraron una congruencia con las hipótesis generales, en la cuales se plantea que la ciudad cuenta con mayores concentraciones de gases en comparación a la zona periférica debido a su dinámica y sus diferentes actividades antrópicas <sup>33</sup>.

El estudio elaborado por Díaz y Morales en el año 2019 se basó en la utilización de los líquenes cortícolas como bioindicadores en seis reservas de la sociedad civil en la ciudad de Ibagué, con el fin de observar la calidad atmosférica en las reservas escogidas, utilizando índices basados en comunidades líquénicas como el (IPA) Índice de Pureza Atmosférica y el (LDV) Índice de la Diversidad Liquélica <sup>34</sup>.

---

<sup>32</sup> ZÁRATE, Nicolás. Diversidad de Líquenes Cortícolas en el bosque subandino el espejo de la microcuenca de la quebrada Ambalá en la ciudad de Ibagué. Trabajo de grado administración ambiental. Ibagué: Universidad de Ibagué. Facultad de ciencias naturales y matemáticas. Departamento De administración ambiental, 2018. 91 p.

<sup>33</sup> CANO, Paola Andrea, QUIROGA, Angie Margarita. Dinámica de la calidad del aire y su relación con la presencia de óxidos atmosféricos en la ciudad de Ibagué. Trabajo de grado. Administración Ambiental. Ibagué- Tolima.; Universidad de Ibagué. Facultad de ciencias naturales y matemáticas. Departamento de Administración ambiental. 2018. 74 p.

<sup>34</sup> DÍAZ, Estefanía y MORALES, Juan David. Líquenes cortícolas como bioindicadores de calidad atmosférica en reservas de la sociedad civil del municipio de Ibagué. Trabajo de grado Administración del medio ambiente y los recursos naturales. Ibagué: Universidad de Ibagué. Facultad de ciencias naturales y matemáticas. Departamento de Administración ambiental, 2019. 87 p.

### 4.3 MARCO LEGAL

El marco legal requerido en esta investigación, consta de un permiso de colecta, el cual permitirá a los investigadores encargados de realizar los muestreos en las áreas designadas, tomar muestras de especímenes ya sean de líquenes o de los árboles seleccionados en el estudio.

El permiso está reglamentado por el decreto 1376 del 2013 (MINAMBIENTE. 2013)<sup>35</sup>.

---

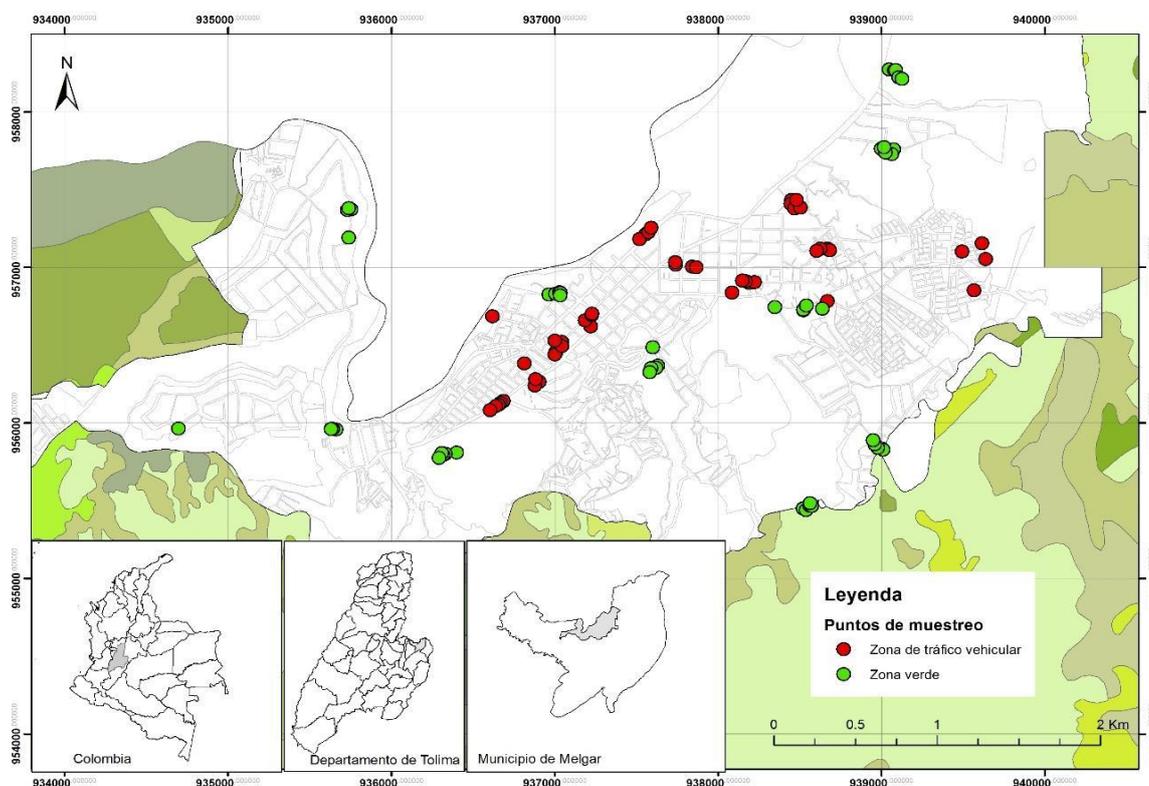
<sup>35</sup> MINISTRO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. DECRETO 1376 DE 2013” Por el cual se reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial” 2013.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Melgar se encuentra situado a 73 kilómetros de la ciudad de Ibagué (4° 12' N) y (74° 39' W) (Figura 1). Cuenta con un área total de 201 kilómetros cuadrados, de los cuales el 7,96% pertenece al área urbana y 92,04% al área rural, en altura 366 m.s.n.m, y con una temperatura máxima alrededor de los 36° C, y mínima de 28° C, posee actualmente una población de 36.047 habitantes, conformado por 48 barrios y el área rural por 26 veredas <sup>36</sup>.

Figura 1. Localización de las zonas verdes (ZV) y las zonas de tráfico vehicular (ZTV) en el municipio de Melgar.



Fuente: Moreno - Palacios (2018).

<sup>36</sup> SECRETARIA DE PLANEACIÓN Y TIC. Estadísticas 2011 – 2014 Melgar.

## 5.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

### 5.2.1 Premuestreo

El pre muestreo se realizó con el fin de identificar las 10 zonas verdes de mayor abundancia y 10 zonas de alto tráfico vehicular, que se ubican aproximadamente a 250 m de distancia a las principales vías. Para el desarrollo del muestreo se escogió el árbol de mango (*Mangifera indica*) como el forofito a evaluar.

### 5.2.2 Muestreo

Para el muestreo de líquenes se escogió el árbol de mango (*Mangifera indica*) (Anexo 1), siendo una de las especies más abundantes en el municipio de Melgar, se realizó el muestreo de cinco individuos por cada zona siendo un total de 100 individuos registrados en el estudio, las especies fueron separadas entre sí por una distancia de al menos 15 m, con Diámetro Altura del Pecho >20, sin alteraciones a la corteza. Como la distancia mínima de separación para cada muestreo (zonas verdes y zonas de tráfico vehicular) se midió 250 metros, y el área total del muestreo fue de 50m x 50m.

En cada zona de muestreo, se aplicó la metodología para el cálculo del Índice de diversidad liquénica (LDV), se utilizó una plantilla de 50cm x 10cm dividida en cinco (5) cuadrantes, esta plantilla se ubicó en el tronco, a un metro de altura y sobre el flanco norte del árbol y posteriormente se movió hacia los siguientes tres flancos completando el área del árbol.

Posteriormente se realizó el muestreo para el caso del índice de pureza atmosférica (IPA); en este caso, se utilizó una plantilla de 10 cm x 10 cm (100 cm<sup>2</sup>) subdividida en cm de tal manera que la abundancia de líquenes fue registrada a través de la medición de la cobertura (cm<sup>2</sup>) contando el número de recuadros de 1 cm<sup>2</sup> ocupados por una determinada especie.

La temperatura y humedad se registraron mediante un termohigómetro, en tres horarios distintos del día, a las 06:00, 12:00 y 17:00 horas, en cada una de las zonas, los datos se obtuvieron en un intervalo de una (1) hora. El muestreo se realizó en una semana y se repitió una semana después, esto con el fin de elaborar una comparación <sup>37</sup>.

### 5.2.3 Colecta e identificación del material vegetal

Para la identificación de los líquenes, se realizó la colecta de las especies obtenidas durante el muestreo en bolsas herméticas (Anexo 4), la mitad del material vegetal fue identificado por la Bióloga Gina Martín Urrego de la Universidad Distrital en el laboratorio de la Universidad de Ibagué, por otro lado, la otra mitad de las determinaciones fueron enviadas al herbario de la Universidad Distrital en la ciudad de Bogotá.

### 5.2.4 Temporalidad del muestreo

Se recolectó la información en un total de siete meses, en el primer mes se realizó el pre muestreo para conocer si las áreas escogidas con anterioridad cumplían con los requisitos para la realización correcta de los muestreos.

---

<sup>37</sup> GUALTEROS, R. y PÉREZ C. Op, cit., p. 23.

Después se realizó el muestreo de los árboles de *Mangifera Indica* en cuatro zonas por mes, con una duración total de cinco meses en el desarrollo del muestreo.

### 5.3 ANÁLISIS DE DATOS

Los índices basados en comunidades liquénicas calculados permiten estimar la calidad atmosférica en términos comparativos, donde mayores valores representan mejor calidad. No obstante, los índices fueron descritos en términos de su promedio y desviación estándar para cada zona, y graficados por medio del programa estadístico InfoStat versión 2018e utilizando diagramas de caja y bigotes, de tal manera que se represente la variabilidad de los datos.

Para los índices de diversidad Alfa se utilizaron el índice de Shannon para determinar la diversidad, el índice de Margalef que define la riqueza y el índice de dominancia, para la evaluación de los índices de diversidad Alfa se utilizó el programa estadístico PAST y se graficaron los resultados con diagramas de barras.

#### **Índice de Shannon Wiener**

El índice se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$H' = \sum P(\ln. pi)$$

Donde:

H' = El índice de Shannon - Wiener

ln = Logaritmo natural

$p_i$  = Abundancia proporcional de la especie  $i$ , es decir, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra.

### **Índice de dominancia de Simpson**

El índice se calcula con la siguiente fórmula:

$$D = \sum (p_i)^2$$

Donde:

D = El índice de Dominancia

$p_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$ , es decir, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra.

### **Índice de Diversidad Liguénica (LDV):**

El valor de diversidad de líquenes (LDV) de una unidad de muestreo es un estimador estadístico de las condiciones ambientales en esa unidad.

El primer paso para calcular el índice de diversidad liquénica (LDV) de una unidad de muestreo ( $j$ ) es sumar las frecuencias de todas las especies de líquenes encontradas en cada árbol ( $i$ ) dentro de la unidad. Dado que se pueden

esperar diferencias sustanciales en el crecimiento de líquenes en diferentes lados de los troncos, las frecuencias deben sumarse por separado para cada aspecto. Por lo tanto, para cada árbol hay cuatro sumas de Frecuencias (Árbol i:  $SF_{iN}$ ,  $SF_{iE}$ ,  $SF_{iS}$ ,  $SF_{iW}$ ).

A continuación, para cada aspecto, se calcula la media aritmética de las Sumas de Frecuencias (MSF) para la unidad de muestreo j:

$$MSF_{Nj} = (SF_{1Nj} + SF_{2Nj} + SF_{3Nj} + SF_{4Nj} + \dots + SF_{nNj}) / n$$

Dónde:

- MSF: Media de las sumas de frecuencias de todos los árboles muestreados de la unidad j
- SF: Suma de frecuencias de todas las especies de líquenes encontradas en un aspecto del árbol i
- N, E, S, W: norte, este, sur, oeste
- n: número de árboles muestreados en la unidad j

El valor de diversidad de líquenes de una unidad de muestreo j ( $LDV_j$ ) es la suma de los MSF de cada aspecto <sup>38</sup>.

$$LDV_j = (MSF_{Nj} + MSF_{Ej} + MSF_{Sj} + MSF_{Wj})$$

---

<sup>38</sup> ASTA, Juliette; FERRETTI, Marco; FORNASIER, Maria; KIRSCHBAUM, Ulrich; NIMIS, Pier; PURVIS, Ole; SCHEIDEGGER, Christoph y WIRTH, Volkmar. Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality. En: Monitoring with Lichens-Monitoring Lichens. Enero, 2002. p. 273-279.

## Índice de Pureza Atmosférica (IPA):

Con los datos obtenidos se calculó el IPA modificado por Jaramillo y Botero para cada área de muestreo, utilizando la siguiente fórmula:

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

En la cual:

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

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

Q: Grado de sensibilidad de las especies encontradas.

n: Número de forofitos censados en la estación j <sup>39</sup>.

Se determina con la relación:

$$Q_i = \sum_j \frac{(A_j - 1)}{N_j}$$

Donde:

- Qi = Factor de resistencia de la especie i.
- Aj = Número de especies presentes en cada estación (j) donde se encuentra la especie i.
- Nj = Número de estaciones (j) donde se encuentra la especie i <sup>40</sup>.

---

<sup>39</sup> FIGUEROA, Eгна Vanessa y MÉNDEZ, Adriana Paola. Evaluación de la calidad del aire en 8 zonas de la ciudad de Bogotá utilizando los líquenes como bioindicadores. Trabajo de grado Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería, 2015. 75 p.

<sup>40</sup> ANZE, Rafael; FRANKEN, Margot; ZABALLA, Mauricio. Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. En: Revista Virtual redesma, junio, 2007. Vol. 1. No.1, p. 14-87.

El cálculo del índice IPA propuesto por Le Blanc y De Sloover se utilizó la siguiente fórmula:

$$IAP = \sum (Q_i * f_i)$$

Donde:

- IAP<sub>j</sub> = Índice de Pureza Atmosférica de la estación j.
- f<sub>i</sub> = Valor total de: Grado de frecuencia de la presencia (frecuencia) más grado de cobertura, más el número de los árboles examinados cubiertos por la especie en cuestión. El valor f se modifica de estación a estación.
- Q<sub>i</sub> = Factor de tolerancia de la especie i, se determina comprobando la cantidad promedio de líquenes asociados a la especie i en cada lugar de muestreo. El valor Q resulta ser una constante para cada especie, en el área de investigación, siendo indirectamente proporcional a la contaminación.

### **Temperatura y humedad relativa**

Los valores obtenidos para la temperatura y humedad relativa tomada de las tres distintas horas del día en las zonas verdes y las zonas de tráfico vehicular se representaron por medio de diagramas de caja y diagramas de barras comparativas.

### **Modelos Lineales Generales (MLG)**

Los índices calculados permiten estimar la calidad atmosférica en términos comparativos, donde mayores índices representan mejor calidad. Sin embargo,

no existen límites superiores de los índices, dado que dependen de la diversidad local de líquenes.

Con el fin de establecer las posibles diferencias en la riqueza y abundancia de líquenes entre las zonas verdes y de las zonas de tráfico vehicular, se utilizó la familia de Modelos Lineales Generales debido a que la variable respuesta presentó una distribución normal de los datos, utilizando una distribución de Poisson y una función de enlace *logit*. Adicionalmente, se incluyeron los efectos de las covariables DAP, altura del forofito, elevación, humedad relativa, y temperatura. Posteriormente se realizó una comparación por pares LSD de Fisher. Se consideraron diferentes aquellas medias con valores de  $p < 0.05$  y se ajustan mejor al modelo cuando los criterios de información AIC (Criterios de Información de Akaike) y BIC (Criterios Bayesianos de Información) presentan valores más bajo <sup>41</sup>.

$$y_{ij} = \mu + Z + DAP + EI + AI + H + T + Er$$

Donde:

Y = Riqueza /Abundancia de líquenes

$\mu$  = Media general del modelo

Z = Zona

DAP = Diámetro a la altura del pecho

EI = Elevación

AI = Altura del forofito

H = Humedad relativa

T = Temperatura

Er = Error general del modelo

---

<sup>41</sup> DICOVSKIY, Luis y PEDROZA, M. Modelos lineales generales y mixtos en la caracterización de la variable calificación, ingeniería agroindustrial, uni-norte. En: Nexa Revista Científica. Diciembre, 2017. vol. 30, no. 2, p. 84-95.

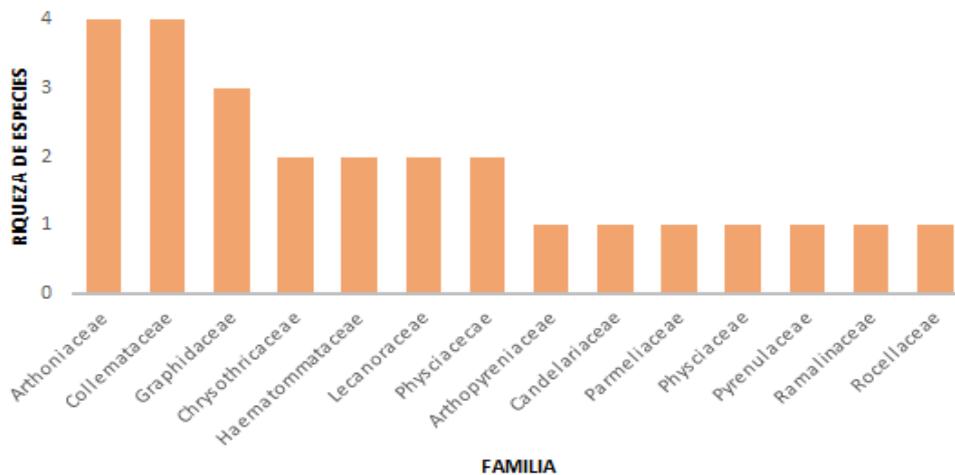
## 6. RESULTADOS

### 6.1 RIQUEZA Y COBERTURA

Se registró una riqueza total de 26 especies de líquenes en la ciudad de Melgar, los cuales se encuentran distribuidos en 14 familias. Las familias que presentaron una mayor riqueza de especies fueron Arthoniaceae (4 spp.) y Collemataceae (4 spp.), seguido de Graphidaceae (3 spp.), Chrysothricaceae (2 spp.), Haematommataceae (2 spp.), Lecanoraceae (2 spp.), Physciaceae (2 spp.). Las últimas siete familias se componen de una especie de líquen (Figura 2).

La cobertura líquénica total en la ciudad de Melgar fue de 12388 cm<sup>2</sup>. Las zonas verdes presentaron una cobertura mayor (6709 cm<sup>2</sup>) en comparación con las zonas de tráfico vehicular (5679 cm<sup>2</sup>). Basado en la prueba de U de Mann-Whitney, no existe diferencia significativa entre las dos zonas (n= 5; w= 22,00; p=0,3095) (Tabla 1).

Figura 2. Riqueza de especies por familia.

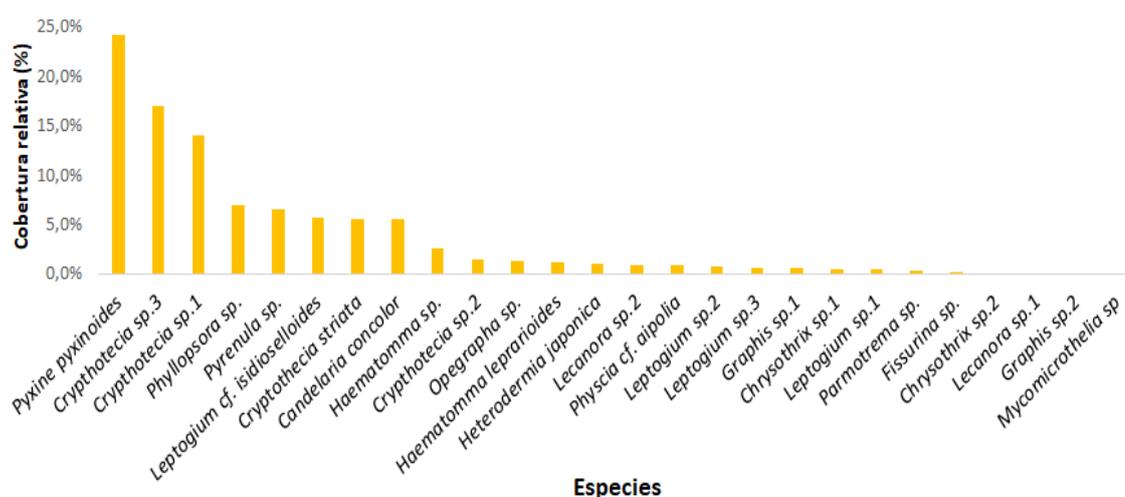


Fuente. Los autores.

## 6.2 COBERTURA RELATIVA DE ESPECIES LIQUÉNICAS

La especie líquénica con mayor cobertura fue *Pyxine pyxinooides* (24,3 %, 3014 cm<sup>2</sup>), seguido de *Crypthotecia* sp.3 (17 %, 2102 cm<sup>2</sup>) y *Crypthotecia* sp.1 (14,1%, 1756 cm<sup>2</sup>). A su vez las especies menos abundantes fueron *Lecanora* sp.1 (0,1 %, 19 cm<sup>2</sup>), *Graphis* sp.2 (0,07%, 9 cm<sup>2</sup>) y *Mycomicrothelia* sp (0,06%, 8 cm<sup>2</sup>) (Figura 3) (Anexo 36).

Figura 3. Cobertura relativa de las especies líquénicas.



Fuente. Los autores.

Tabla 1. Cobertura de las especies líquénicas en las zonas verdes y de tráfico vehicular.

Familia	Especie	Zona de Tráfico Vehicular (cm <sup>2</sup> )	Zona Verde (cm <sup>2</sup> )	Total (cm <sup>2</sup> )
Arthoniaceae	<i>Crypthotecia</i> sp.3	717	1385	2102
	<i>Crypthotecia</i> sp.1	674	1082	1756

	<i>Cryptothecia striata</i>	0	699	699
	<i>Crypthotecia</i> sp.2	196	0	196
Arthopyreniaceae	<i>Mycomicrothelia</i> sp	0	8	8
Candelariaceae	<i>Candelaria</i> <i>concolor</i>	531	165	696
Chrysothricaceae	<i>Chrysothrix</i> sp.1	15	53	68
	<i>Chrysothrix</i> sp.2	0	17	17
Collemataceae	<i>Leptogium</i> cf. <i>isidioselloides</i>	382	327	709
	<i>Leptogium</i> sp.2	31	72	103
	<i>Leptogium</i> sp.3	51	37	88
	<i>Leptogium</i> sp.1	16	47	63
Graphidaceae	<i>Graphis</i> sp.1	6	77	83
	<i>Fissurina</i> sp.	0	20	20
	<i>Graphis</i> sp.2	0	9	9
Haematommataceae	<i>Haematomma</i> sp.	199	119	318
	<i>Haematomma</i> <i>leprarioides</i>	0	155	155
Lecanoraceae	<i>Lecanora</i> sp.2	0	112	112
	<i>Lecanora</i> sp.1	0	19	19
Parmeliaceae	<i>Parmotrema</i> sp.	23	16	39

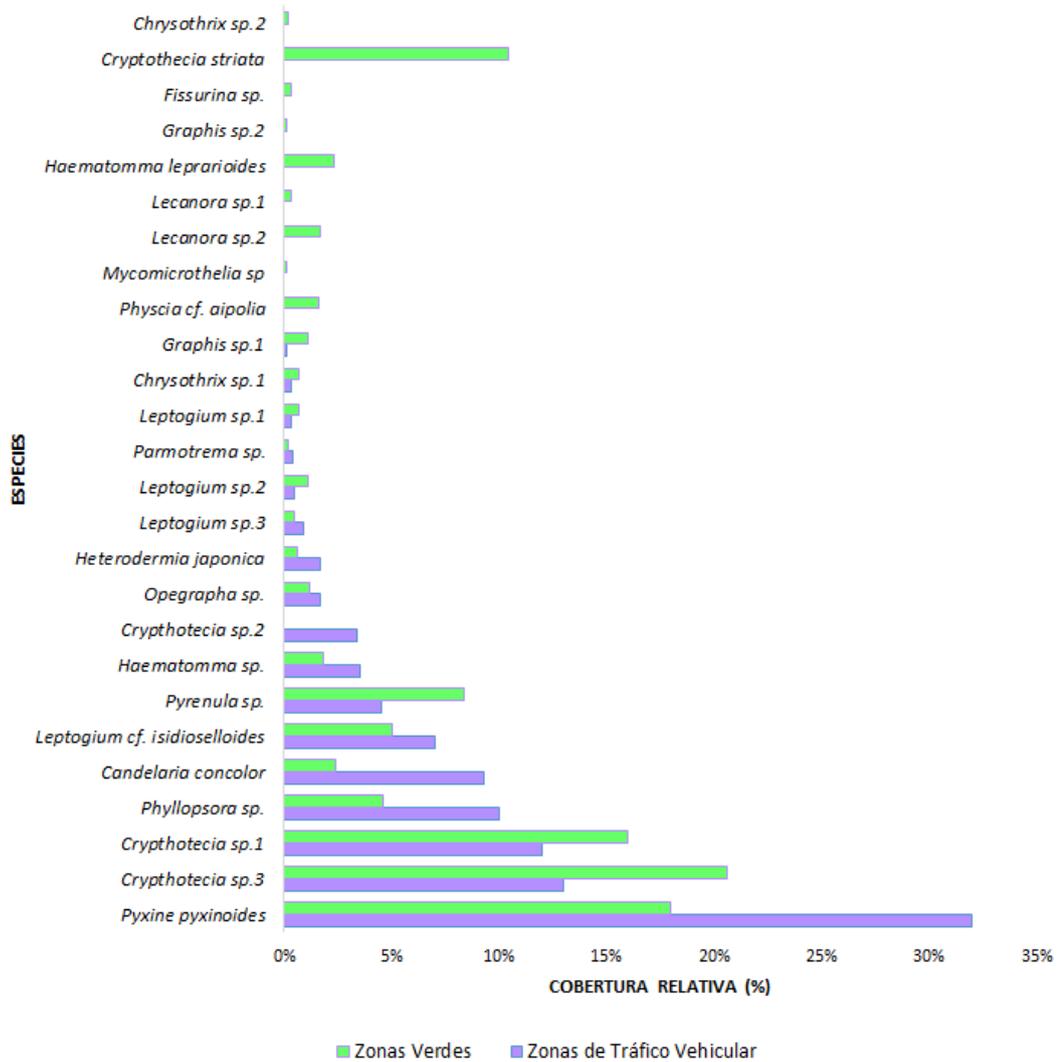
Physciaceae	<i>Heterodermia japonica</i>	98	38	136
Physciaceae	<i>Pyxine pyxinoides</i>	1825	1189	3014
	<i>Physcia cf. aipolia</i>	0	110	110
Pyrenulaceae	<i>Pyrenula sp.</i>	258	567	825
Ramalinaceae	<i>Phyllopsora sp.</i>	557	308	865
Rocellaceae	<i>Opegrapha sp.</i>	100	78	178
<b>TOTAL</b>		<b>5679</b>	<b>6709</b>	<b>12388</b>

Fuente. Los autores.

Las zonas verdes registraron la mayor riqueza de especies (25 spp), en comparación con las zonas de tráfico vehicular (17 spp). La especie de liquen con mayor cobertura en las zonas de tráfico vehicular fue *Pyxine pyxinoides* (32%, 1825 cm<sup>2</sup>), seguida de *Crypthotecia sp.3* (13%, 717 cm<sup>2</sup>), *Crypthotecia sp.1* (12%, 674 cm<sup>2</sup>) y *Phyllopsora sp.* (10%, 557 cm<sup>2</sup>), estas cuatro especies representan el 67% de la cobertura relativa en las zonas de tráfico vehicular. Las ocho últimas especies poseen una cobertura menor a 100 cm<sup>2</sup>.

La especie más abundante en las zonas verdes fue *Crypthotecia sp.3* (21%, 1385 cm<sup>2</sup>), seguida de *Pyxine pyxinoides* (18%, 1189 cm<sup>2</sup>), *Crypthotecia sp.1* (16%, 1082 cm<sup>2</sup>) y *Crypthotecia striata* (10,4%, 699 cm<sup>2</sup>). Las especies restantes representan el 35% de la cobertura relativa.

Figura 4. Cobertura relativa entre zonas verdes y zonas de tráfico vehicular



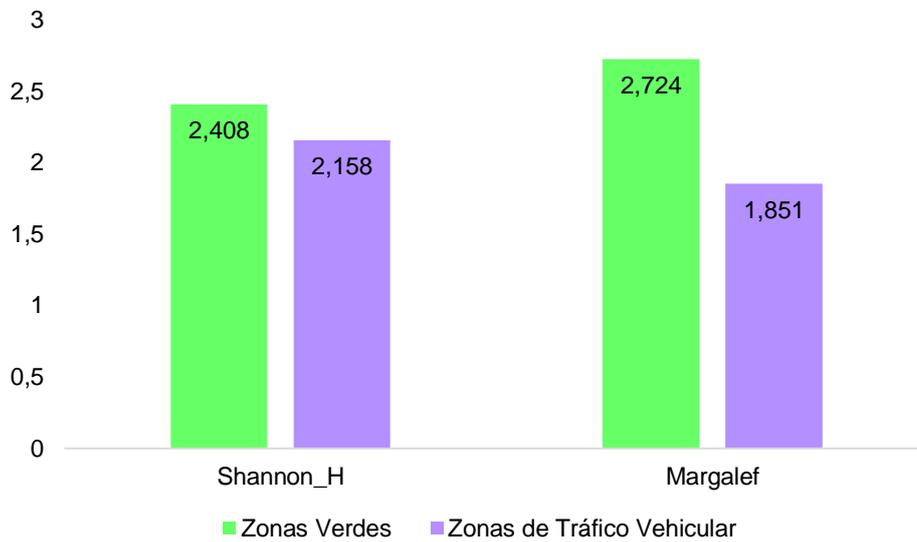
Fuente. Los autores.

### 6.3 ÍNDICES DE DIVERSIDAD ALFA

Las zonas de tráfico vehicular presentaron el valor más alto en el índice de dominancia de especies ( $D= 0,1614$ ). El índice de Shannon mostró mayor diversidad de especies en las zonas verdes con un valor del ( $H'= 2,408$ ), la riqueza de las especies hallado por medio del índice de Margalef reveló un dato considerablemente mayor en las zonas verdes (2,724) en comparación de las

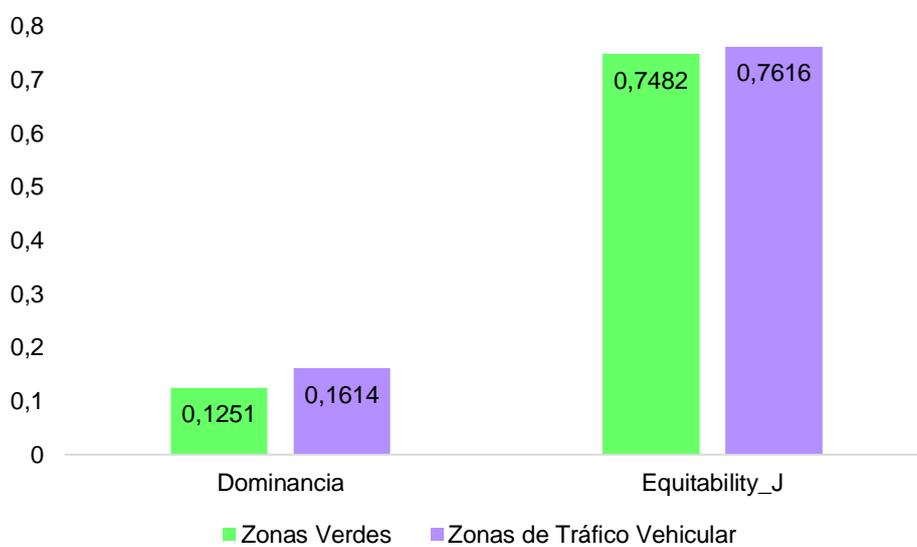
zonas de tráfico vehicular la cual tienen una diferencia de 0,873 entre sus datos. En cuanto a la equitatividad en la abundancia entre las especies líquénicas las zonas de tráfico vehicular presentaron un valor del (0,7616) (Figura 5) (Figura 6).

Figura 5. Índices de diversidad Alfa Shannon y Margalef.



Fuente. Los autores.

Figura 6. Índices de diversidad Alfa Dominancia y Equitatividad.

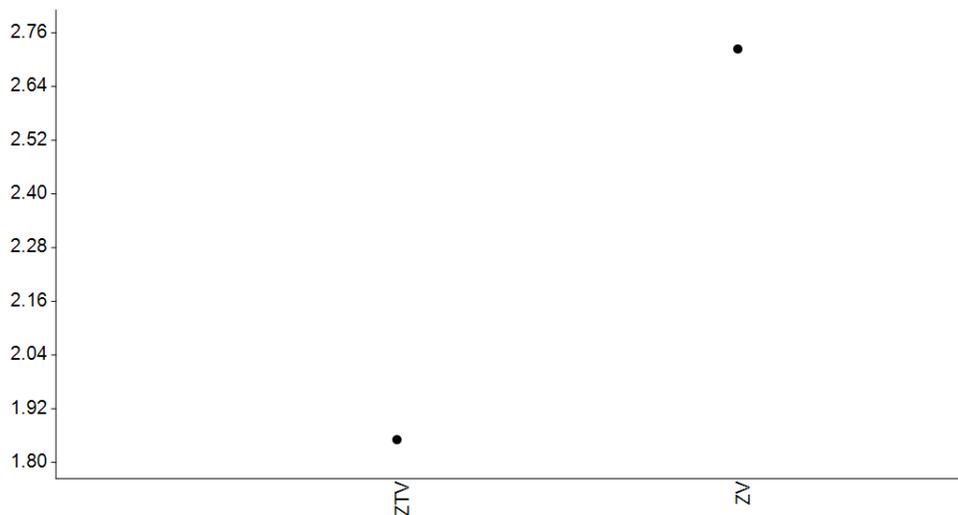


Fuente. Los autores.

La mayor riqueza de especies fue registrada en la ZV 2 con un valor del (3,059), mientras que ZV 7 presentó el menor dato mostrado por el índice de Margalef con (1,544). Para las zonas de tráfico vehicular se mostró que en la ZTV 9 tuvo el mayor valor con el (2,089), por el contrario, la zona con el valor más bajo mostrado por el índice fue ZTV 3 con el (1,068) (Figura 8).

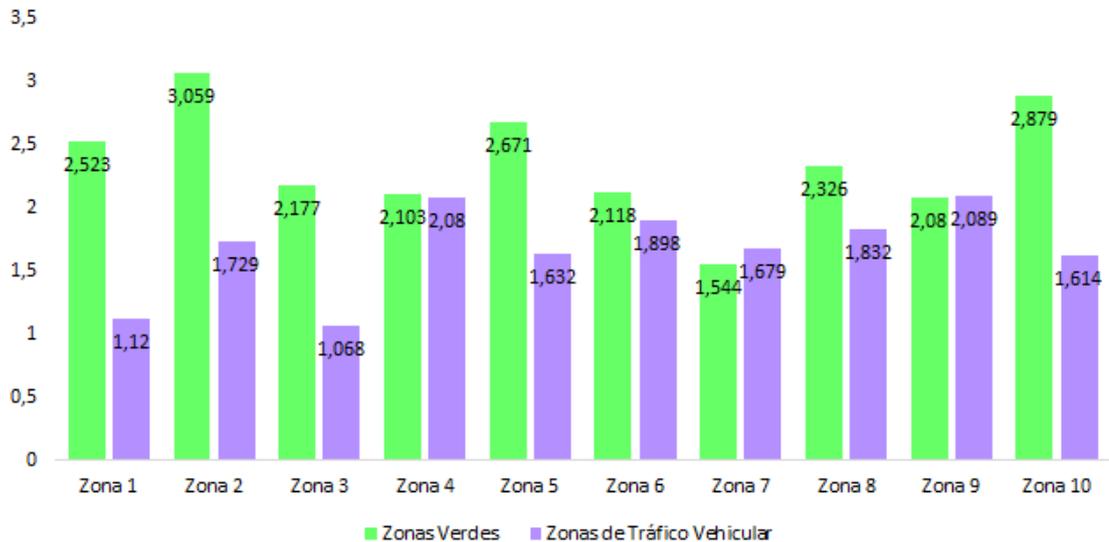
En general el índice de Margalef presentó mayores valores en las zonas verdes que en las zonas de tráfico vehicular (Anexo 31) (Figura 7), en consecuencia, existe una diferencia significativa entre las dos zonas (Mann - Whitney U  $n= 10$ ;  $w=64,00$ ;  $p= 0,019$ ).

Figura 7. Índice de Margalef promedio entre las zonas.



Fuente. Los autores.

Figura 8. Índice de Margalef en las zonas verdes y las zonas de tráfico vehicular.

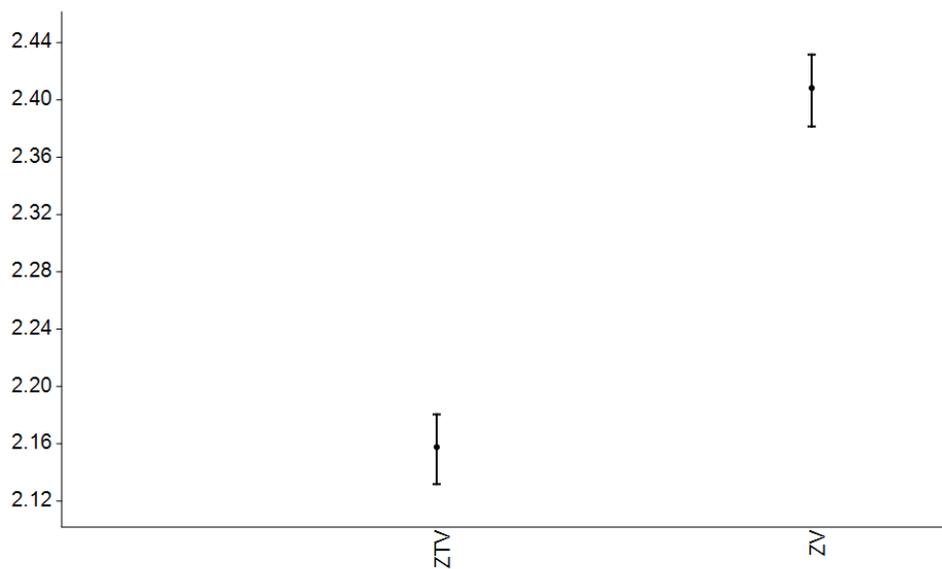


Fuente. Los autores.

Se registró por medio del índice de Shannon una mayor diversidad de especies para las zonas verdes que para las zonas de tráfico vehicular (Anexo 32) (Figura 9), e igualmente se comprobó que son significativamente diferentes entre sí (Prueba t,  $n=10$ ;  $t= - 14,17$ ;  $p= < 0.0001$ ).

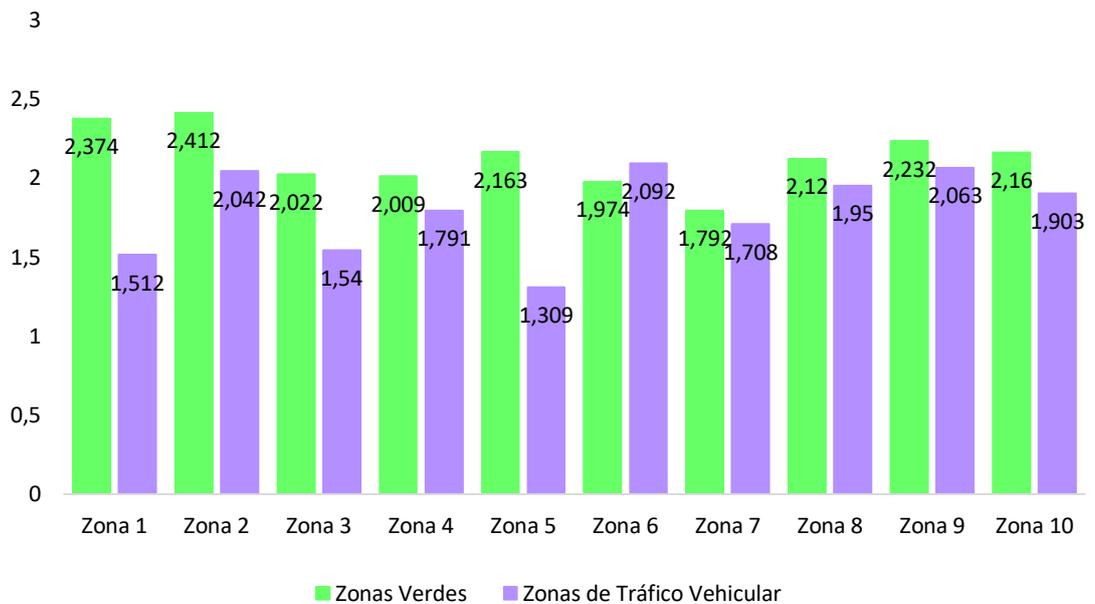
Los valores más altos en las zonas verdes se registraron ZV 2 ( $H'= 2,412$ ), seguida de la ZV 1 ( $H'= 2,374$ ), y la ZV 9 ( $H'= 2,232$ ). Los datos más altos en las zonas de tráfico vehicular se encontraron en ZTV 6 ( $H'= 2,092$ ), seguido de la ZTV 9 ( $H'= 2,063$ ) y la ZTV 2 ( $H'= 2,042$ ) (Figura 10).

Figura 9. Índice de Shannon promedio entre las zonas.



Fuente. Los autores

Figura 10. Índice de Shannon para las zonas verdes y las zonas de tráfico vehicular.

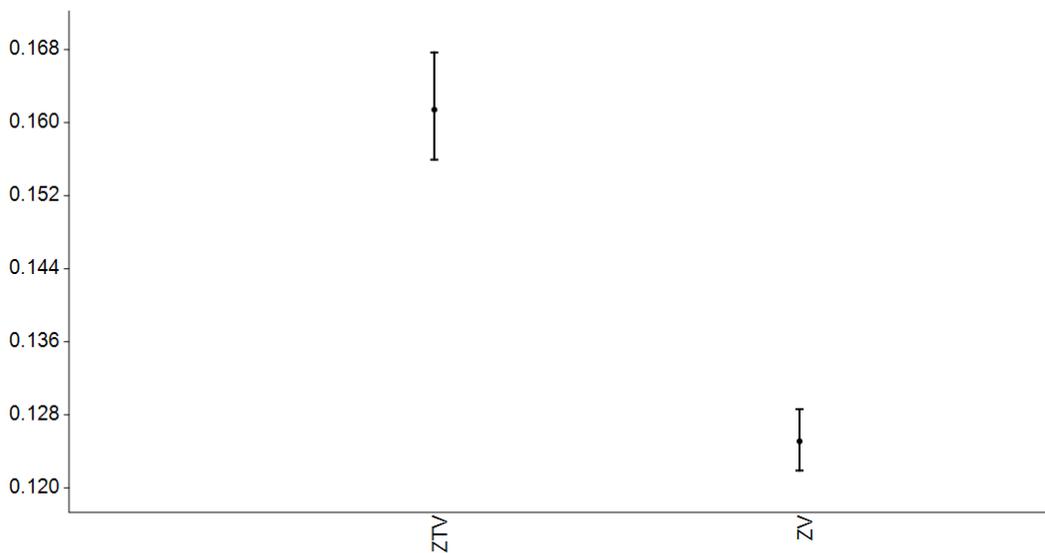


Fuente. Los autores.

En las zonas verdes el valor del índice de dominancia más alto se presentó en la ZV 7 ( $D= 0,2126$ ) mientras que el valor más bajo se encontró en ZV 1 ( $D=0,1067$ ). En cuanto a las zonas de tráfico vehicular fue en ZTV 5 ( $D= 0,3549$ ) donde se presentó el dato más alto en el índice de dominancia y la ZTV 2 ( $D= 0,1471$ ) registro el valor más bajo (Figura 12).

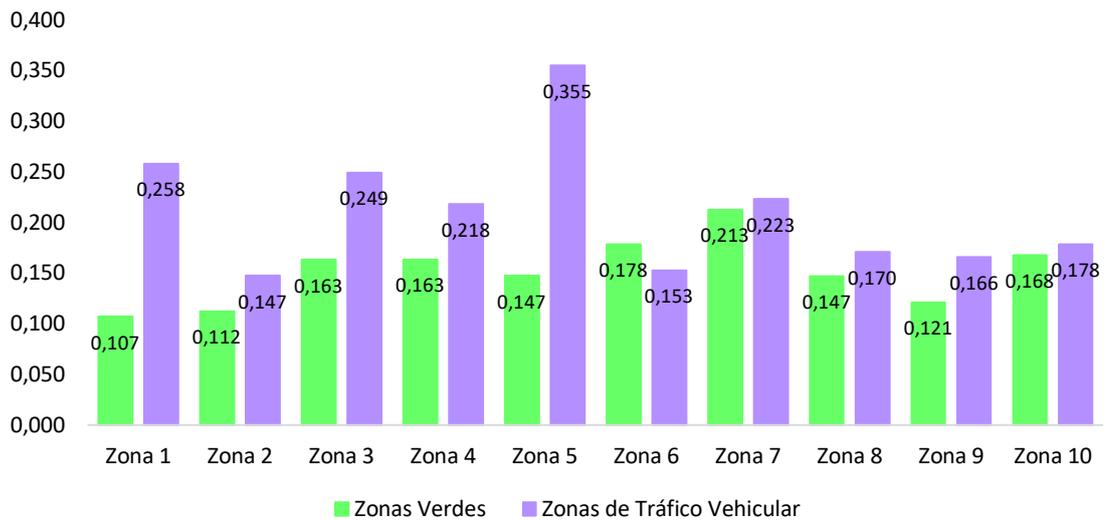
En general el índice de dominancia registró mayores valores en las zonas de tráfico vehicular que en las zonas verdes (Anexo 33) (Figura 11). Asimismo, según la prueba estadística realizada son significativamente diferentes las dos zonas (Prueba t,  $n=10$ ;  $t= 10,42$ ;  $p= < 0.001$ ).

Figura 11. Índice de Dominancia promedio entre las zonas.



Fuente. Los autores

Figura 12. Índice de dominancia para las zonas verdes y las zonas de tráfico vehicular.

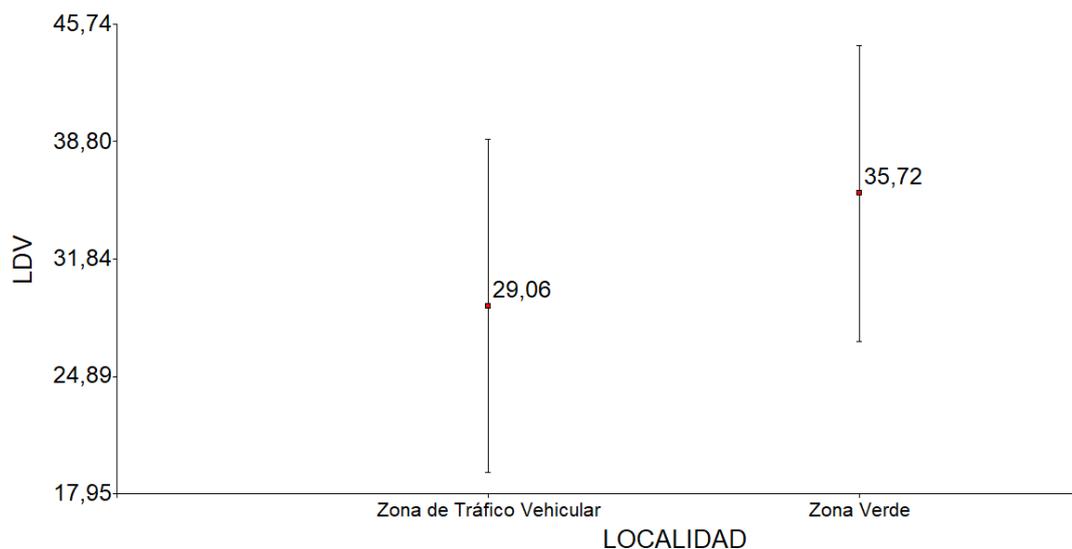


Fuente. Los autores.

#### 6.4 ÍNDICE DE DIVERSIDAD LIQUÉNICA (LDV)

Entre las zonas verdes y las zonas de tráfico vehicular se identificó una diferencia entre sus datos de (6,66), siendo las zonas verdes las que presentan el valor más alto en sus datos. Las zonas de tráfico vehicular evidencian una dispersión significativa en el rango de sus datos comparado con las zonas verdes (Figura 13).

Figura 13. Índice de Diversidad Liquéncia (LDV) para las zonas verdes y las zonas de tráfico vehicular.

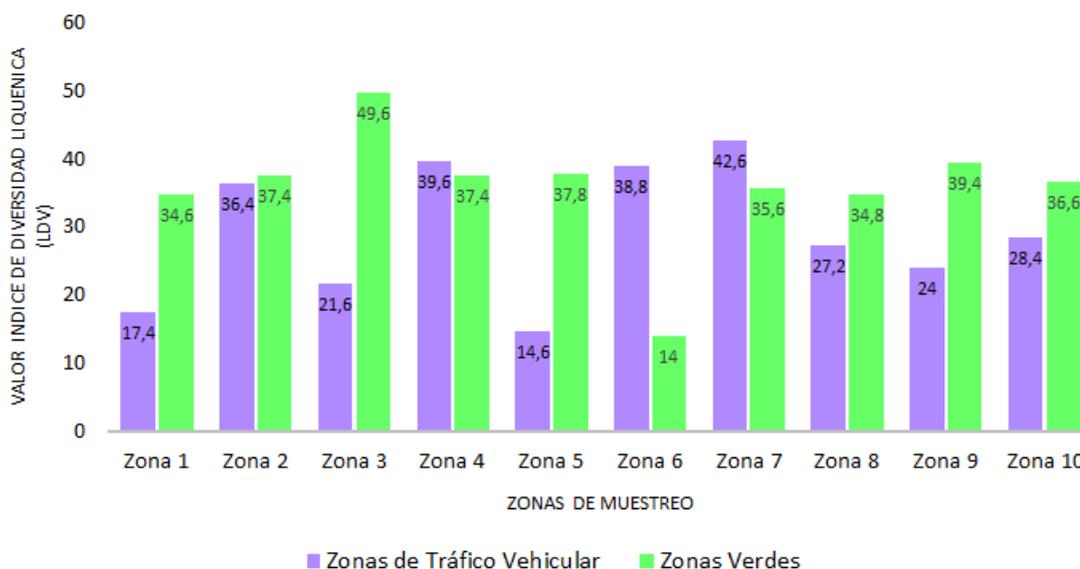


Fuente. Los autores.

Las zonas que reflejaron mayor índice de diversidad líquénica en las zonas verdes fueron, ZV 3 (49,6) y ZV 9 (39,4); las ZV 4, ZV 5, ZV 2, ZV 10, ZV 8, ZV1 registraron datos entre 37,8 a 34,8, respectivamente de mayor a menor. La zona verde con un índice de diversidad líquénica menor corresponde a la ZV 6 (14) (Figura 14).

En las zonas de tráfico vehicular se registró menor presencia de especies, las zonas con valores más altos fueron ZTV 7 (42,6), ZTV 4 (39,6), ZTV 6 (38,8) y ZTV 2 (36,4); las cinco zonas de tráfico vehicular restantes indicaron valores desde 28,4 hasta 17,4 mencionados de mayor a menor (Anexo 34). Entre las dos zonas no hay una diferencia significativa entre los datos presentados (Prueba t,  $n= 10$ ;  $t= 0.906$ ;  $p= 0,365$ ).

Figura 14. Índice de diversidad líquénica (LDV) entre las zonas verdes y las zonas de tráfico vehicular.

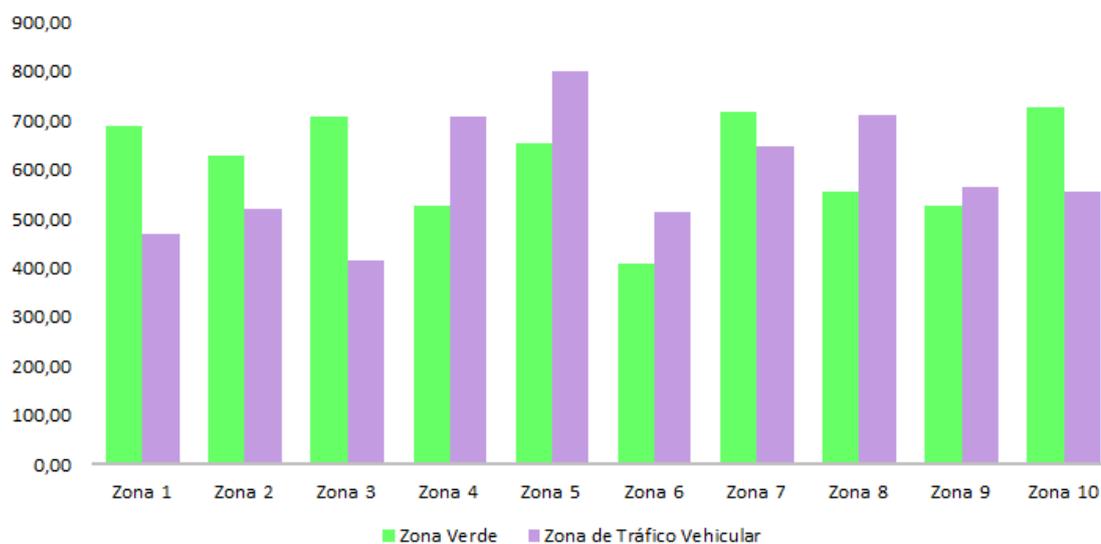


Fuente. Los autores

## 6.5 ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA (IPA)

En la (Figura 15) al utilizar el IPA de Jaramillo y Botero nos muestra que solo en cinco zonas verdes ( ZV 1, ZV 2, ZV 3, ZV 7 y ZV 10) corresponden a las zonas con mayor índice de pureza atmosférica, y para las zonas ZV 4, ZV 5, ZV 6, ZV 8 y ZV 9 los índices de pureza fueron menores en comparación a las zonas de tráfico vehicular, no se encontró una diferencia significativa dado que existe una tendencia a que las zonas verdes presentan mayores índices de pureza atmosférica (Prueba t, n= 10; t= 1,52; p= 0,126).

Figura 15. Índice de pureza atmosférica (IPA) modificado por Jaramillo y Botero entre zonas verdes y de zonas de tráfico vehicular.

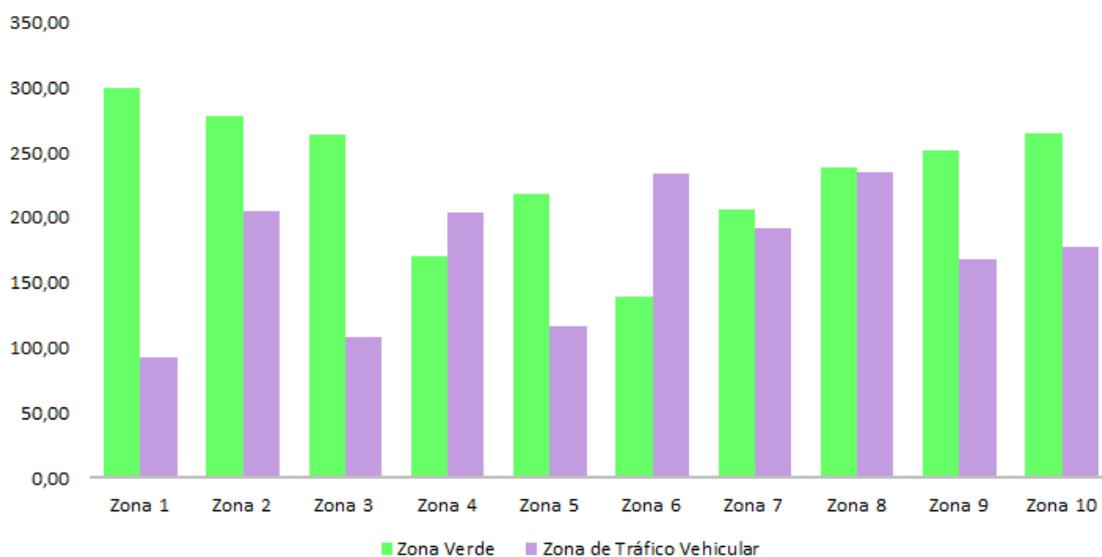


Fuente. Los autores.

En la (Figura 16), se puede observar que al realizar el índice de Le Blanc y De Sloover, muestra promedios considerablemente distintos a los mencionados en la (Figura 15), se comprobó por medio de una prueba estadística que los datos entre las dos zonas si son significativamente diferentes (Prueba t,  $n= 10$ ;  $t= 2,57$ ;  $p= 0,010$ ).

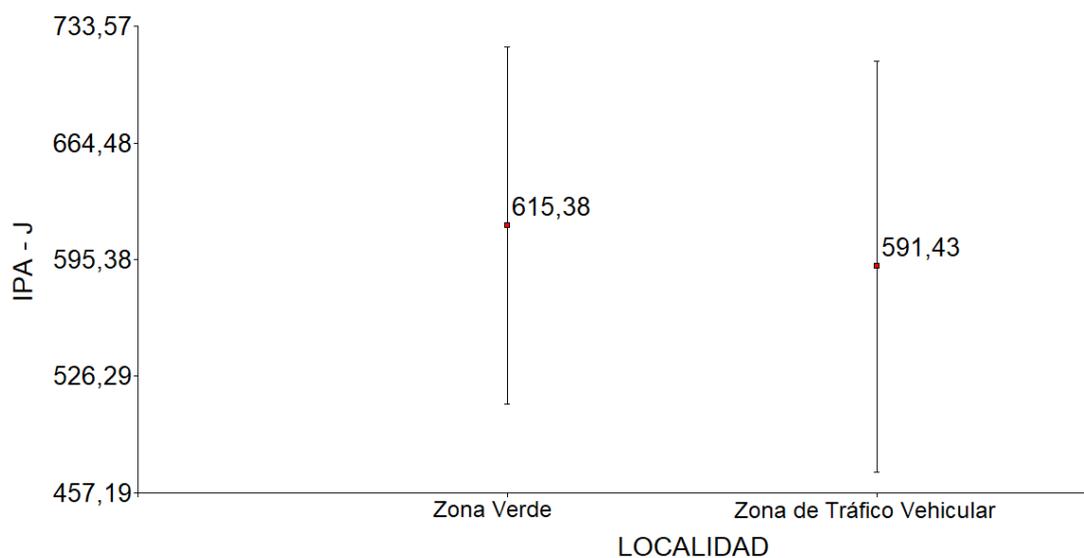
Las ZV que reflejaron mayores índices de pureza atmosférica fueron ZV 1, ZV 2, ZV 3, ZV 5, ZV 7, ZV 8, ZV 9, ZV 10 en comparación a las zonas de tráfico vehicular que indicaron un mayor índice en las ZTV 4 y ZTV 6. (Anexo 37).

Figura 16. Índice de pureza atmosférica (IPA) Le Blanc y De Sloover entre zonas verdes y de zonas de tráfico vehicular.



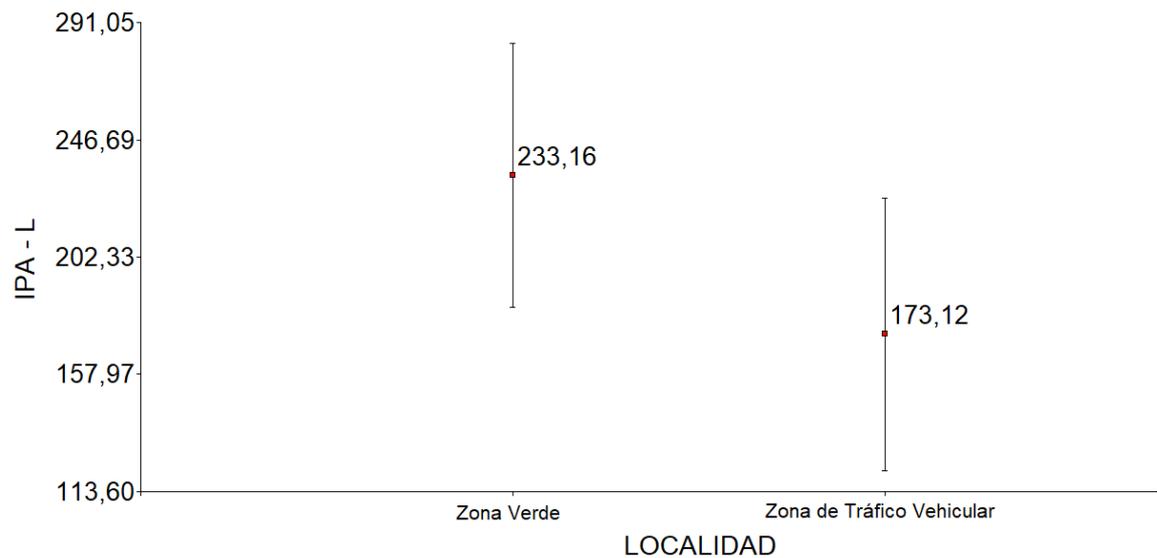
Fuente. Los autores.

Figura 17. Índice de pureza atmosférica (IPA) modificado por Jaramillo y Botero.



Fuente. Los autores.

Figura 18. Índice de pureza atmosférica (IPA) Le Blanc y De Sloover.



Fuente. Los autores.

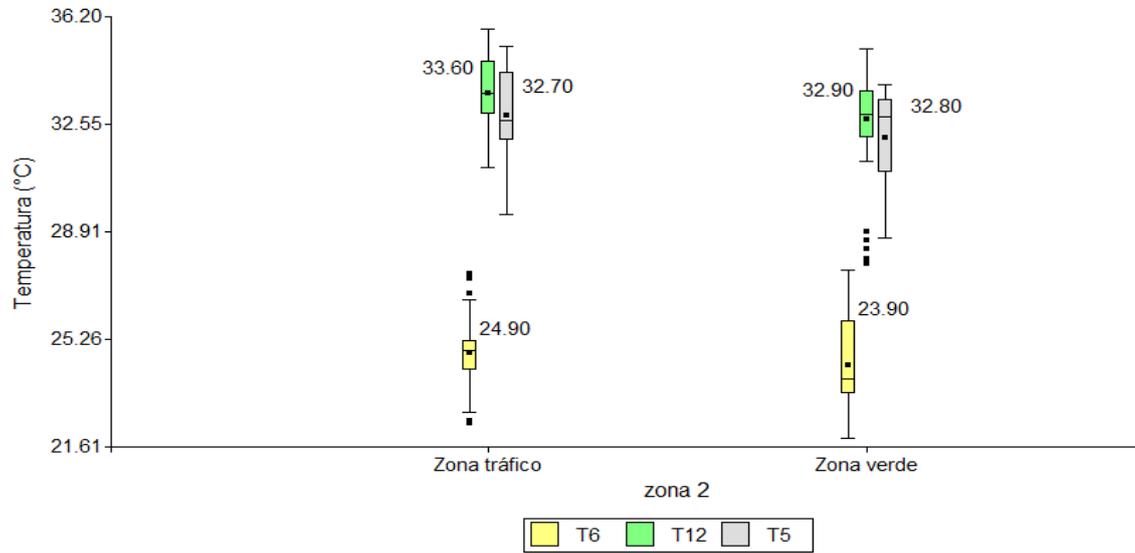
Las zonas verdes que reflejaron mayor índice de pureza atmosférica modificado por Jaramillo y Botero fueron las ZV 10 (728.3), ZV 7 (717,95) Y ZV 3 (709.02), Las demás zonas verdes reflejaron datos entre (690.62 y 410,20), para las zonas de tráfico vehicular se registraron Índices menores a comparación de las ZV, las ZTV que presentaron un mayor valor fueron ZTV 5 (799,47), ZTV 8 (712,50) y ZTV 4 (709,60). Las demás zonas de tráfico vehicular comprendieron valores menores a (649,35 y 470,99). El índice general para las zonas verdes fue de (642,86) y para las zonas de tráfico vehicular (560,07) (Anexo 35).

## 6.6 TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

En general, la temperatura presentó una dinámica a través del día, con los menores valores a las 06:00 horas y la mayor temperatura al medio día. Hacia las 17:00 horas esta variable presentó cerca de un grado menos de temperatura que a las 12:00 (valor de la mediana, Figura 19). La temperatura a las tres horas

de día fue al menos un grado centígrado mayor en zonas de tráfico que en zonas verdes.

Figura 19. Temperatura promedio de las zonas verdes y zonas de tráfico vehicular.

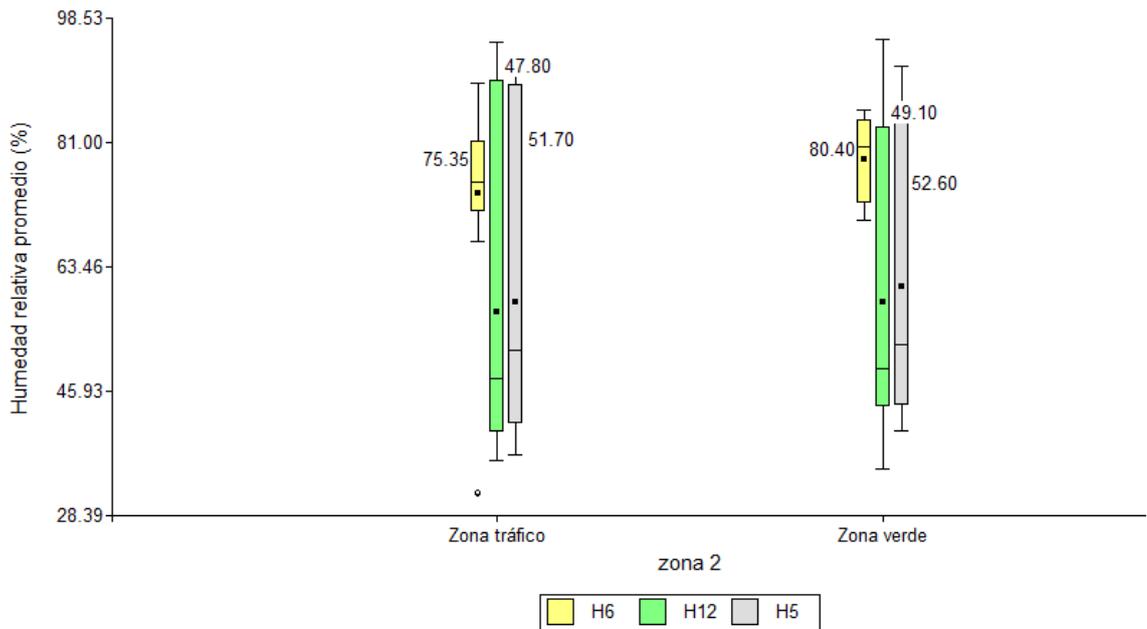


Fuente. Los autores.

En las zonas de tráfico vehicular se registró la temperatura más baja a las 06:00 horas (22,4 °C) un grado de diferencia en comparación a la zona verde, en las 12:00 horas, se registró la temperatura más alta (35,8 °C), posteriormente la temperatura promedio a las 17:00 horas fue de (32,70 °C).

Las zonas de tráfico vehicular presentan bajas temperaturas en comparación a las zonas verdes quienes registraron las temperaturas más altas (Figura 20).

Figura 20. Humedad promedio de las zonas verdes y zonas de tráfico vehicular.



Fuente. Los autores.

Así mismo, se registró la humedad en las zonas de tráfico vehicular y zonas verdes a las 06:00 horas, 12:00 horas y 17:00 horas. En las zonas de tráfico vehicular la humedad relativa más alta corresponde a las 06:00 horas (75,35%), seguido de las 17:00 horas con una humedad de (51,70%), por último, se registró la humedad más baja para las 12:00 horas (47,80%).

En general, la humedad presentó una dinámica a través del día, la mayor humedad corresponde a las 6:00 horas, a las 12:00 horas se presentó la menor humedad, hacia las 17:00 horas se presentó aumento en la humedad en comparación al medio día. La humedad a las tres horas del día fue mayor para las zonas verdes que en las zonas de tráfico vehicular.

## 6.7 CORRELACIONES ENTRE VARIABLES E ÍNDICES

Los tres índices utilizados (LDV, IPA-J, IPA-L) se correlacionaron positivamente, LDV – IPA-J ( $r= 0.46$ ,  $p= 0.041$ ), LDV – IPA-L ( $r= 0.51$ ,  $p= 0.0069$ ), IPA-J – IPA-L ( $r= 0.40$ ,  $p= 0.079$ ). Con respecto a las variables ambientales medidas, solo el IPA-L se correlacionó positiva y significativamente con la humedad relativa a las 06:00 ( $r= 0.45$ ,  $p= 0.046$ ), mientras que los otros índices no mostraron correlación alguna con la temperatura o humedad relativa a través del día.

## 6.8 MODELOS LINEALES GENERALES (MLG)

Al discriminar la variación producida por el efecto de las covariables, se encontró un resultado significativo de la zona (zona tráfico/zona verde) en los índices de calidad atmosférica.

Tabla 2. Prueba de Hipótesis Marginales IPA – L.

	numDF	F - value	p - value
(Intercept)	1	0,72	0,4171
Zona.1	1	7,50	0,0229
DAP	1	3,34	0,1008
ALTURA	1	0,04	0,8442
ELEVACIÓN	1	5,76	0,0398
T6	1	1,36	0,2733
H6	1	0,37	0,5577
H5	1	0,68	0,4308
T12	1	2,68	0,1359
T5	1	0,04	0,8502
H12	1	6,9E-04	0,9797

Fuente. Los autores.

Tabla 3. Medias ajustadas y errores estándares para las zonas IPA – L.

zona.1	Medias	E.E.	
Zona Verde	238,91	16,91	A
Zona de Tráfico Vehicular	167,37	16,91	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

Fuente. Los autores.

Se encontró un efecto significativo entre las zonas verdes y de tráfico vehicular ( $p = 0.0229$ ) (Tabla 2) de la variable correlación, asimismo se presentó una diferencia significativa en la covariable elevación ( $p = 0,0398$ ), las demás variables no tuvieron efectos significativos sobre el índice, fue necesario para corregir la variación producida en el modelo.

La zona verde tuvo un promedio significativamente más alto (238,91) que la zona de tráfico vehicular (167,37) (Tabla 3), con una diferencia estadísticamente de 60 puntos entre una zona y la otra, la tabla mostró que no existe una similitud significativa entre las dos zonas para el índice del IPA por Le Blanc.

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1 COMPOSICIÓN ABUNDANCIA LIQUÉNICA

Se encontraron 37 morfoespecies de líquenes en los 100 forófitos de *Mangifera indica* estudiados en el municipio de Melgar, de los cuales 26 fueron determinados hasta especie y se agruparon en 14 familias (Anexo 30).

La composición de especies entre zonas difiere en un 38%, con presencia de especies que fueron exclusivas de las zonas verdes, entre ellas se encuentran *Mycomicrothelia sp*, *Chrysothrix sp.2*, *Fissurina sp.*, *Graphis sp.2*, *Haematomma leprarioides*, *Lecanora sp.2*, *Lecanora sp.1*, *Physcia cf. Aipolia* y *Cryptothecia striata* (Anexo 16). Esta última especie se encontró en ocho zonas verdes, de manera que podría tratarse de una especie potencial indicadora de buena calidad atmosférica en el municipio. *C. striata* fue también reportada por Zarate<sup>42</sup> en un relicto de bosque subandino ubicado en la Universidad de Ibagué y no ha sido encontrada en varios estudios al interior de la ciudad, lo cual puede ser un reflejo de su alta sensibilidad a la presencia de óxidos atmosféricos, encontrados al interior de la ciudad.

La familia Arthoniaceae registró la riqueza de especies más alta en este estudio, dato similar se puede observar en el trabajo de Cano y Quiroga <sup>43</sup> quienes evaluaron la relación entre concentraciones de óxidos atmosféricos e índices de calidad basados en comunidades liquénicas. Los investigadores en ese estudio encontraron que la familia Arthoniaceae, era la más abundante y diversa en la ciudad con una presencia de cuatro especies. Además en la investigación

---

<sup>42</sup> ZARATE, Nicolás. Op. cit., p. 39.

<sup>43</sup> CANO, P. y QUIROGA, A. Op. cit., p. 45.

realizada por Soto y Bolaños <sup>44</sup> se reportó la diversidad de los líquenes del Valle del Cauca mediante un registro preliminar de estos organismos en el Bosque Subandino de la Finca Zíngara en Cali - Valle del Cauca; la familia Arthoniaceae fue la mejor representada en todo el estudio con una presencia de 15 especies.

Igualmente, la familia Collemataceae presentó la misma riqueza de cuatro especies que la familia Arthoniaceae por consiguiente se puede comparar con lo encontrado en el trabajo de Díaz y Morales <sup>45</sup> quienes se basaron en la utilización de los líquenes cortícolas como bioindicadores en seis reservas de la sociedad civil en la ciudad de Ibagué. En ese estudio se encontró que la familia Collemataceae presentó la mayor riqueza con seis especies.

La especie más abundante encontrada en todo el estudio fue *Pyxine pyxinoides* (Anexo 6) siendo en las zonas de tráfico vehicular donde su presencia fue mayor, dato que no es semejante por lo encontrado en la investigación de Gualteros y Pérez <sup>46</sup>. En ese estudio se evaluó la calidad atmosférica en la ciudad de Ibagué en zonas verdes y de tráfico vehicular por medio de líquenes cortícolas. Los autores de ese estudio evidenciaron que la especie *P. pyxinoides* no tuvo ningún registro en las dos zonas, siendo *Physcia undulata* y *Physcia aipolia* las especies predominantes encontradas en la investigación. *Pyxine pyxinoides* <sup>47</sup> se presentó en el estudio de Trujillo y Tafur con una abundancia significativa en el área urbana de la ciudad de Ibagué.

La especie *Candelaria concolor* (Anexo 10) se presentó en zonas con un elevado grado de contaminación atmosférica, como lo hallado en el estudio que se realizó

---

<sup>44</sup> BOLAÑOS, Ana y SOTO, Edier. Diversidad de líquenes cortícolas en el bosque subandino de la finca zíngara (Cali, Valle del Cauca). En: Revista de ciencias. Diciembre, 2010. vol. 14, p. 35-44.

<sup>45</sup> DÍAZ, E. y MORALES, J. Op, cit., p. 32.

<sup>46</sup> GUALTEROS, R. y PÉREZ, C. Op. cit., p. 39.

<sup>47</sup> TRUJILLO, L. y TAFUR, A. Op. cit., p. 33.

en la ciudad de San Luis, Argentina <sup>48</sup>. Allí midieron por medio de líquenes la calidad atmosférica y *C. concolor* se definió como una especie toxitolerante. Otro estudio desarrollado en la ciudad de Cochabamba <sup>49</sup> en Bolivia igualmente clasificó a *C. concolor* como una especie tolerante a los contaminante atmosféricos. En los resultados encontrados en esta investigación se registró la especie en zonas verdes y de tráfico vehicular teniendo mayor presencia en las zonas de tráfico, coincidiendo también con lo encontrado por Estrabou (2005) <sup>50</sup> en donde *C. concolor* estaba distribuida en los cuatro ámbitos estudiados los cuales son zonas urbanas y naturales.

Otras especies que no se encontraron en las zonas de tráfico vehicular fueron *Graphis* sp.1 (Anexo 24) y *Graphis* sp. 2 (Anexo 29) sugiriendo que estas especies pueden ser susceptibles al deterioro de la calidad atmosférica. En relación con lo anterior se destaca un estudio que evaluó las preferencias microambientales de líquenes cortícolas del bosque premontano en la finca Zíngara ubicada en la ciudad de Cali <sup>51</sup>, dicha finca contenía en su propiedad un bosque en buen estado de conservación, asimismo en esta investigación se pudo evidenciar que las especies del género *Graphis* se encuentran asociadas a territorios con un alto grado de conservación.

Los líquenes están sometidos en las dos zonas evaluadas a cambios en su ecosistemas que son generados por el hombre, estos cambios regulan otras variables microclimáticas como la luz, la humedad y la composición del aire que

---

<sup>48</sup> LIJTEROFF, Rubén; LIMA, Luis y PRIERI, Betzabé. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. Revista internacional de contaminación ambiental. México. Mayo, 2009, vol. 25, no. 2. ISSN 0188-4999.

<sup>49</sup> GONZALES, Nathalie; LUJÁN, Marcos; NAVARRO, Gonzalo y FLORES, Rodrigo. Aplicabilidad de líquenes bioindicadores como herramienta de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cochabamba. En: Revista Acta Nova. Septiembre, 2016, vol. 7, no. 4. p. 455-482.

<sup>50</sup> ESTRABOU, Cecilia; STIEFKENS, Laura; HADID, Miriam; RODRÍGUEZ, Juan y PÉREZ, Adriana. Estudio comparativo de la comunidad liquénica en cuatro ecosistemas de la provincia de Córdoba. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. 2005. ISSN 0373-580.

<sup>51</sup> SOTO, Edier; LÜCKING, Robert y BOLAÑOS, Ana. Especificidad de forófito y preferencias microambientales de los líquenes cortícolas en cinco forófitos del bosque premontano de finca Zíngara, Cali, Colombia. En: Revista de biología natural. Junio, 2012. p. 843-856.

influyen de manera directa en la estructura de las comunidades liquénicas <sup>52</sup>. Además están expuestos a distintos contaminantes atmosféricos producidos en la ciudades por los vehículos automotores como el Vanadio (V) que son producto de la combustión del petróleo por los vehículos pesados, el Plomo (Pb), CO y CO<sub>2</sub> resultado de la combustión vehicular de los derivados del petróleo, el Zinc (Zn) que se libera al ambiente por el desgaste de los motores de vehículos, la abrasión de los neumáticos y la quema de neumáticos viejos <sup>53</sup>. Todo esto puede afectar en mayor medida a las comunidades liquénicas establecidas en zonas de tráfico vehicular constante. Sin embargo, los efectos de estos gases y metales pesados podrían registrarse también en pequeñas zonas verdes rodeadas de avenidas, donde la vegetación no tenga la capacidad de amortiguar el flujo de estos contaminantes.

## 7.2 ÍNDICES DE DIVERSIDAD ALFA

Para las zonas verdes se presentó una mayor diversidad y riqueza de especies comparado con las zonas de tráfico vehicular, por ende, los índices de Shannon y Margalef reflejaron los valores más altos para estas zonas, dato contrario se reveló en el índice de dominancia puesto que fue la zona de tráfico vehicular la que mostró el valor más elevado.

Dicho lo anterior las zonas verdes presentaron mejores condiciones ambientales que en las zonas de tráfico con un porcentaje de humedad mayor y una menor temperatura, factores que influyen y son propicios para el desarrollo de una

---

<sup>52</sup> RODRÍGUEZ, Juan Manuel; ESTRABOU, Cecilia; FENOGLIO, Romina; ROBBIATI, Federico; SALAS, María y QUIROGA, Gonzalo. Recuperación post-fuego de la comunidad de líquenes epífitos en la provincia de Córdoba, Argentina. En: Revista Acta Nova. Diciembre, 2008. p. 854-859.

<sup>53</sup> MÉNDEZ, Víctor y MONGE, Julián. El uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel mundial. En: Revista UNED. 2011. p. 51-67.

diversidad más amplia de líquenes <sup>54</sup>, como en las encontradas en las zonas verdes uno y dos. Con respecto a las zonas de tráfico vehicular, se presentaron especies con una abundancia relativamente mayor, dando como resultado valores de dominancia altos; estos resultados sugieren que las zonas de tráfico promueven una diferencia en la estructura de la comunidad de líquenes, reflejado en que las especies toxitolerantes presenta una mayor abundancia hasta el punto de dominar el paisaje en zonas intervenidas, resultados semejantes a los encontrados en el estudio de Trujillo y Tafur <sup>55</sup>. Una zona donde se ve reflejado lo mencionado anteriormente es en la zona de tráfico vehicular cinco, el cual es el punto muestreado que evidenció un dato considerablemente más alto que las demás zonas, siendo la especie *P. pyxinoides* la que predominó en esta ZTV 5. Es necesario recalcar que esta especie es la que tuvo mayor abundancia en todo el estudio.

En contraste con lo anterior, se encontró que el presente estudio tuvo resultados semejantes con la investigación que realizó Gualteros y Pérez <sup>56</sup>, debido a que en las zona verdes los índices de Shannon y Margalef presentaron los valores más elevados por contener un mayor número de especies liquénicas. Del mismo modo, las zonas de tráfico vehicular presentaron especies con una alta abundancia, lo que conllevaba a valores de dominancia más altos para estas zonas y por consiguiente menos equitatividad.

---

<sup>54</sup> MÉNDEZ, Hugo y CAMPOS, Carlos. Cobertura de líquenes arborícolas y su relación con la orientación cardinal en parques municipales de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica. En: Cuadernos de Investigación UNED. Julio, 2015. vol. 7, No. 2, p. 313-317.

<sup>55</sup> TRUJILLO, L. y TAFUR, A. Op. cit., p. 40.

<sup>56</sup> GUALTEROS, R. y PÉREZ, C. Op. cit., p. 60.

### 7.3 ÍNDICE DE DIVERSIDAD LIQUÉNICA (LDV)

El índice de diversidad liquénica permite calcular las condiciones ambientales de cada una de las zonas verdes y de las zonas de tráfico vehicular mediante la diversidad y la frecuencia que presenta las comunidades liquénicas<sup>57</sup>. Asimismo se determinó la calidad atmosférica y el estrés ambiental al que se encuentran sometidas las zonas de estudio, estos sugieren que los valores más altos en el índice indican una buena calidad con poco estrés ambiental y los valores más bajos señalan una deficiente calidad con un alto estrés ambiental<sup>58</sup>.

Según lo anterior se verifica, por medio del índice de LDV, que las zonas verdes presentaron una mayor diversidad liquénica. Este resultado se relaciona a una mejor calidad atmosférica, con la menor exposición directa de los líquenes a las vías del municipio y de otros contaminantes que se pueden encontrar presentes en el aire. Esta información se relaciona a lo encontrado por Gualteros y Pérez<sup>59</sup> quienes presentaron el valor más alto en la zonas verdes con 39,16 y para las zonas de tráfico vehicular el índice mostró un valor de 30,83.

### 7.4 ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA (IPA)

El índice de pureza atmosférica, modificado por Jaramillo y Botero, mostró mayores valores en cinco de las diez zonas verdes en comparación a las zonas de tráfico vehicular. Así mismo se evidenció que hay una diferencia entre estas

---

<sup>57</sup> ACOSTA, Tatiana y HUERTAS, Dayan. Determinación del comportamiento ácido de las precipitaciones en la Hacienda Santa Helena, inmediaciones del cerro del Majuy en Cota Cundinamarca y su efecto en especies liquénicas. Trabajo de grado Ingeniero Ambiental. Bogotá D.C. Universidad Santo Tomás. Facultad de ingeniería ambiental. 2015. 23 p.

<sup>58</sup> DE SILVA, S Y SENANAYAKE, S. Assessment of Epiphytic Lichen Diversity in Pine Plantations and Adjacent Secondary Forest in Peacock Hill, Pussellawa, Sri Lanka. En: International Journal of Modern Botany. 2015. Vol. 5, no. 2, p. 29-37.

<sup>59</sup> GUALTEROS, R. y PÉREZ, C. Op. cit., p. 48.

zonas. Nuestros resultados sugieren que esto se debe a que las zonas verdes presentan mayor composición liquénica, en comparación a las zonas de tráfico vehicular quienes presentan menor cobertura de líquenes. No obstante, hay cinco zonas verdes que presentaron menores índices de pureza atmosférica (ZV 6, ZV 9, ZV 4, ZV 8 y ZV 2), probablemente debido a que algunos forofitos se encuentran a pocos metros de las vías que conducen al casco urbano.

En el caso del índice de pureza atmosférica propuesto por Le Blanc y De Sloover, encontramos promedios diferentes a los mostrados por el IPA modificado de Jaramillo y Botero, quienes reflejaron que ocho de las diez zonas verdes tienen mayor índice de pureza atmosférica en comparación a las zonas de tráfico vehicular, en el cual dos de estas zonas (ZTV 4 y ZTV 6) presentaron un índice de pureza atmosférica mayor. Estadísticamente se comprobó por medio de los modelos lineales generales que, si existe una diferencia significativa entre las zonas verdes y las zonas de tráfico vehicular, de igual manera la elevación de los forofitos presentó una diferencia significativa entre las zonas estudiadas (zona verde y de tráfico vehicular).

Dicho lo anterior, nuestros resultados fueron similares a los obtenidos por Gualteros y Pérez<sup>60</sup> quienes obtuvieron mayores índices de pureza atmosférica para las zonas verdes debido a que en estas zonas se presenta la mayor cobertura de líquenes en comparación de las zonas de tráfico vehicular donde hubo una diferencia significativa.

---

<sup>60</sup> GUALTEROS. Op. Cit., p. 62

## 7.5 TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

La temperatura es un factor abiótico importante en cuanto a la distribución de los líquenes, de igual manera es un elemento que influye en el metabolismo de las especies liquénicas <sup>61</sup>. En cuanto a la humedad es un componente que se encuentra presente en el aire, y al igual que la temperatura es un elemento crucial para el desarrollo de los líquenes, que al hidratarse puede alcanzar un nivel de rendimiento máximo <sup>62</sup>.

Considerando lo anterior, el presente estudio realizó un muestreo de la temperatura y humedad en tres diferentes horas del día, a las 06:00, 12:00 y 17:00, con el objetivo de determinar si estos factores abióticos mencionados presentaban rangos de temperatura y humedad que pudieran afectar ya sea de manera negativa o positiva la distribución de los líquenes, asimismo permiten establecer la relación entre los índices LDV e IPA, y del mismo modo poder atribuir estos componentes evaluados para justificar las diferencias existentes entre las zonas verdes y zonas de tráfico vehicular.

Se pudo determinar que la temperatura para las zonas verdes como para las zonas de tráfico vehicular no presentan diferencias significativas mayores a 1°C. Además, se encontró que existe una relación significativa entre la temperatura y humedad en el IPA, sin embargo, para el LDV no mostraron correlación en sus datos.

---

<sup>61</sup> BARRENO, Eva. y PÉREZ, Sergio. Líquenes y el medio. En: Líquenes de la reserva natural integral de Muniellos, Asturias. KRK ediciones, 2003. p. 83-98.

<sup>62</sup> BARRENO, Eva. y PÉREZ, Sergio. Op. Cit., p. 85.

Finalmente se pudo determinar que las zonas verdes se encontró una relación de la temperatura y humedad, ya que presentaron mejores condiciones ambientales permitiendo el mejor desarrollo de diversidad de líquenes, aclarando la hipótesis que a mayores áreas mayor cobertura y número de forofitos. Sin embargo, el IPA modificado por Jaramillo y Botero, evidencio diferencias en la calidad atmosférica en solo cinco zonas verdes. Probablemente estas limitantes se deben a que el factor de resistencia fue similar entre algunas especies.

## 8. CONCLUSIONES

Se identificaron 26 especies en todo el estudio agrupándose en 14 familias, de las cuales *Pyxine pyxinoides* y *Candelaria concolor* se consideraron especies toxitolerantes a los componentes contaminantes de la atmósfera, por consiguiente, sus presencias son indicadoras de una baja calidad del aire. Caso contrario son con las especies *Cryptothecia striata*, *Graphis* sp.1 y *Graphis* sp.2 las cuales son bioindicadores de una buena calidad atmosférica debido a que se encontraron exclusivamente en las zonas verdes.

Se encontraron valores del Índice de Diversidad Liquéncia (LDV) más altos en las zonas verdes, comprobando que en dichas zonas se evidencian una diversidad más amplia de líquenes que en las zonas de tráfico vehicular. Con nuestro estudio se puede concluir que las zonas más expuestas a contaminantes atmosféricos tienen un impacto negativo en cuanto a la diversidad de líquenes presentes en las zonas.

El índice de Pureza Atmosférica demostró una diferencia en la calidad del aire tanto para las zonas verdes como las zonas de tráfico vehicular. Al utilizar el IPA propuesto por Le Blanc y De Sloover encontramos promedios estadísticamente diferentes en las distintas zonas, señalando así mayor índice de pureza atmosférica para las zonas verdes.

Se encontró una relación significativa entre la temperatura y humedad para las zonas verdes y zonas de tráfico, ya que no presentan valores diferentes entre sí mayores a 1°C. Así mismo, con los resultados del IPA se encontró que hay una relación entre la temperatura y humedad, sin embargo, para el LDV no se pudo determinar una relación entre sus datos.

## 9. RECOMENDACIONES

Realizar estudios similares para el municipio de Melgar - Tolima para que puedan ser comparados con otros estudios relacionados con respecto a calidad atmosférica, ya que actualmente este municipio no cuenta con estudios relacionados.

Se sugiere que al realizar el estudio con comunidades liquénicas se amplíe el número de datos y forofitos para así poder tener mejores resultados, en donde se pueda obtener mayores diferencias entre las zonas a muestrear.

Se recomienda hacer las mediciones de óxidos atmosféricos y su asociación con los índices de calidad, e igualmente ampliar el estudio a las zonas periurbanas y rurales.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Tatiana y HUERTAS, Dayan. Determinación del comportamiento ácido de las precipitaciones en la Hacienda Santa Helena, inmediaciones del cerro del Majuy en Cota Cundinamarca y su efecto en especies liquénicas. Trabajo de grado Ingeniero Ambiental. Bogotá D.C. Universidad Santo Tomás. Facultad de ingeniería ambiental. 2015. 23 p.

ANZE, Rafael; FRANKEN, Margot; ZABALLA, Mauricio. Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. En: Revista Virtual redesma. Junio, 2007. Vol. 1. No.1, p. 14-87.

ASTA, Juliette; FERRETTI, Marco; FORNASIER, Maria; KIRSCHBAUM, Ulrich; NIMIS, Pier; PURVIS, Ole; SCHEIDEGGER, Christoph y WIRTH, Volkmar. Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality. En: Monitoring with Lichens-Monitoring Lichens. Enero, 2002. p. 273-279.

BARRENO, Eva. y PÉREZ, Sergio. Líquenes y el medio. En: Líquenes de la reserva natural integral de Muniellos. KRK ediciones, 2003. p. 83-98.

BOLAÑOS, Ana y SOTO, Edier. Diversidad de líquenes cortícolas en el bosque subandino de la finca zíngara (Cali, Valle del Cauca). En: Revista de ciencias. Diciembre, 2010. vol. 14, p. 35-44.

CANO, Paola Andrea, QUIROGA, Angie Margarita. Dinámica de la calidad del aire y su relación con la presencia de óxidos atmosféricos en la ciudad de Ibagué. Trabajo de grado. Administración Ambiental. Ibagué- Tolima.; Universidad de Ibagué. Facultad de ciencias naturales y matemáticas. Departamento de Administración ambiental. 2018. 74 p.

CANSECO, Angela; ANZE, Rafael y FRANKEN, Margot. Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. Acta Nova. 2006. vol. 3, no. 2, p. 286-307.

CHAPARRO, Martha. y AGUIRRE CEBALLOS, Jaime. En: Hongos Liqueinizados. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2002. p. 9.

COHN-BERGER, Gretchen y QUEZADA, Maura. Líquenes como bioindicadores de contaminación aérea en el corredor metropolitano de la ciudad de Guatemala. En: Revista Científica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Abril, 2016. Vol. 26, No. 1, p. 20-36.

Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. 48 p.

CUBAS, P., NUÑES, A., CRESPO., y DIVAKAR, P. Los líquenes: que son y su uso como bioindicadores. En: GEMM- proyecto de innovación. Universidad de Complutense de Madrid, 2010, p. 1-8.

DE SILVA, S Y SENANAYAKE, S. Assessment of Epiphytic Lichen Diversity in Pine Plantations and Adjacent Secondary Forest in Peacock Hill, Pussellawa, Sri Lanka. En: International Journal of Modern Botany. 2015. Vol. 5, no. 2, p. 29-37.

DÍAZ, Estefanía y MORALES, Juan David. Líquenes cortícolas como bioindicadores de calidad atmosférica en reservas de la sociedad civil del municipio de Ibagué. Trabajo de grado Administración del medio ambiente y los recursos naturales. Ibagué: Universidad de Ibagué. Facultad de ciencias naturales y matemáticas. Departamento de Administración ambiental, 2019. 87 p.

DICOVSKIY, Luis y PEDROZA, M. Modelos lineales generales y mixtos en la caracterización de la variable calificación, ingeniería agroindustrial, uni-norte. En: Nexo Revista Científica. Diciembre, 2017. vol. 30, no. 2, p. 84-95.

ESPINOZA, Nubia Yineth y TRUJILLO, Andrea Carolina. Evaluación de óxidos atmosféricos y su relación con la comunidad líquénica en la ciudad de Ibagué - Tolima. Trabajo de grado. Administración Ambiental. Ibagué- Tolima.; Universidad de Ibagué. Facultad de ciencias naturales y matemáticas. Departamento de Administración ambiental. 2017. 67 p.

ESTRABOU, Cecilia; STIEFKENS, Laura; HADID, Miriam; RODRÍGUEZ, Juan y PÉREZ, Adriana. Estudio comparativo de la comunidad líquénica en cuatro ecosistemas de la provincia de Córdoba. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. 2005. ISSN 0373-580.

FIGUEROA, Eгна Vanessa y MÉNDEZ, Adriana Paola. Evaluación de la calidad del aire en 8 zonas de la ciudad de Bogotá utilizando los líquenes como bioindicadores. Trabajo de grado Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería, 2015. 75 p.

FIGUEROA, Eгна Vanessa. En: universidad militar nueva granada. Junio, 2017. Vol. 7, No. 14, p. 14-56.

GARCÍA, Caterine y HERRERA, Katherine Alejandra. Reportaje investigativo: "Melgar Extremo" alternativas turísticas en Melgar - Tolima a través de sus deportes de aventura. Trabajo de grado comunicadora social y periodística. Girardot, Cundinamarca.: Corporación universitaria minuto de Dios. Facultad ciencias de la comunicación, 2017. 1997 p.

GONZALES, Nathalie; LUJÁN, Marcos; NAVARRO, Gonzalo y FLORES, Rodrigo. Aplicabilidad de líquenes bioindicadores como herramienta de

monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cochabamba. En: Revista Acta Nova. Septiembre, 2016, vol. 7, no. 4. p. 455-482.

GUALTEROS, Rafael Eduardo y PÉREZ, Cheryl. Evaluación preliminar de la calidad atmosférica en zonas verdes de la ciudad de Ibagué a través del estudio de líquenes cortícolas. Trabajo de grado administración ambiental. Ibagué.: Universidad de Ibagué. Facultad de ciencias naturales y matemáticas. Departamento de Administración ambiental, 2017. 81 p.

HAWKSWORTH, David; ITURRIAGA, Teresa; CRESPO, Ana. Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio- ambientales en los trópicos. En: Revista iberoamericana de micología. Abril, 2005. Vol. 22, no. 72. p 71-82.

HUAMÁN, María Eugenia. Diversidad de líquenes cortícolas y calidad del aire en el distrito de Huancayo. Trabajo de grado Ingeniero Forestal y Ambiental. Huancayo, Perú. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. 2016. 24 p.

JARAMILLO, Margarita y BOTERO, Liliana. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Comunidades liquénicas como bioindicadores de calidad del aire. Medellín. Mayo, 2010, vol. 13, no. 1. ISSN 0124.177X.

LIJTEROFF, Rubén; LIMA, Luis y PRIERI, Betzabé. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. Revista internacional de contaminación ambiental. México. Mayo, 2009, vol. 25, no. 2. ISSN 0188-4999.

MARES, Irene. Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire. Trabajo de grado. Madrid, España. Universidad Complutense. Facultad de Farmacia. 2017. 3 p.

MARTÍNEZ, Cristina. La importancia de la calidad del aire. En: La nueva España. Diciembre, 2009, vol.1 no 2,. p.23.

MEDINA, Guido. Revista de Biología Tropical. Diversidad alfa y beta de la comunidad de reptiles en el complejo cenagoso de Zapatosa, Colombia. Bogotá D.C. Enero, 2011, vol. 59. ISSN-0034-7744.

MÉNDEZ, Hugo y CAMPOS, Carlos. Cobertura de líquenes arborícolas y su relación con la orientación cardinal en parques municipales de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica. En: Cuadernos de Investigación UNED. Julio, 2015. vol. 7, No. 2, p. 313-317.

MÉNDEZ, Víctor y MONGE, Julián. El uso de líquenes como bioindicadores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel mundial. En: Revista UNED. 2011. p. 51-67.

MINISTRO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. DECRETO 1376 DE 2013” Por el cual se reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial” 2013.

NASH, Thomas. Lichen Biology. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, EE.UU. 2008. 486 p. ISBN 9780511790478.

OCHOA, Diego, et al. Cambio en la composición de líquenes epífitos relacionados con la calidad del aire en la ciudad Loja (Ecuador) En: Caldasia. Diciembre, 2015, vol. 37, no. 2, p. 333 - 343.

PARDO, Yuddy Judith. Estado de conservación de seis humedales de Bogotá D.C., utilizando líquenes como bioindicadores. Tesis presentada como requisito

parcial para optar el título de Magister en Ciencias Ambientales. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ciencias Naturales. 2015. 87 p.

Redacción El Tiempo. Melgar, sol y corazón del Tolima. En: El Tiempo. Bogotá D.C. 20, marzo, 1996.

RIQUELME, Francisco. Evaluación del uso de líquenes como indicadores biológicos de contaminación atmosférica en la quebrada de la plata, región metropolitana. Trabajo de grado Profesional de Ingeniero Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 2008. 16 p.

RODRÍGUEZ, Juan Manuel; ESTRABOU, Cecilia; FENOGLIO, Romina; ROBBIATI, Federico; SALAS, María y QUIROGA, Gonzalo. Recuperación post-fuego de la comunidad de líquenes epífitos en la provincia de Córdoba, Argentina. En: Revista Acta Nova. Diciembre, 2008. p. 854-859.

SAN, Miryam y MARÍN, Matías. Líquenes. Microbiología. Universidad de Granada. 2003. 3 p.

SÁNCHEZ, Aníbal. VIII Calidad del aire. Encuesta Nacional de Programas Estratégicos 2011- 2014. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015. p. 135-139.

SANTONI, Celina y LIJTEROFF, Ruben. Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la provincia de San Luis, Argentina. En: Redalyc.org. Mayo, 2006. Vol. 10, No. 57, p. 51-57.

SECRETARIA DE PLANEACIÓN Y TIC. Estadísticas 2011 – 2014 Melgar.

SOTO, Edier; LÜCKING, Robert y BOLAÑOS, Ana. Especificidad de forófito y preferencias microambientales de los líquenes cortícolas en cinco forófitos del

bosque premontano de finca Zíngara, Cali, Colombia. En: Revista de biología natural. Junio, 2012. p. 843-856.

TAFUR, Andrés y TRUJILLO, Luis Miguel. diversidad y composición de líquenes cortícolas en el área urbana y periurbana de la ciudad de Ibagué - Tolima. Trabajo de grado. Administración ambiental. Ibagué - Tolima.: Universidad de Ibagué. Facultad de ciencias naturales y matemáticas. Departamento de administración ambiental, 2016. 55 p.

ZÁRATE, Nicolás. Diversidad de Líquenes Cortícolas en el bosque subandino el espejo de la microcuenca de la quebrada Ambalá en la ciudad de Ibagué. Trabajo de grado administración ambiental. Ibagué.: Universidad de Ibagué. Facultad de ciencias naturales y matemáticas. Programa de administración ambiental, 2018. 91 p.

## ANEXOS

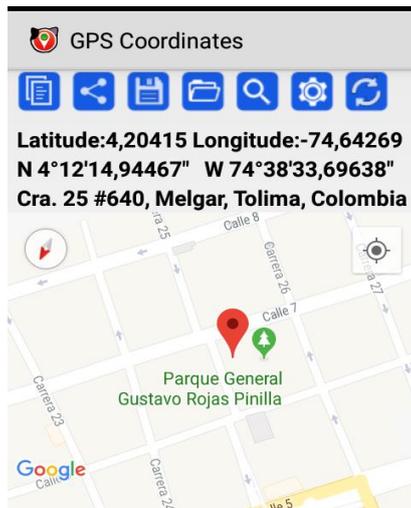
Anexo 1. *Mangifera indica*.



Anexo 2. Brújula.



Anexo 3. Aplicación GPS.



Anexo 4. Bolsa ziploc



. Anexo 5. Formato de campo.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ATMOSFÉRICA EN ZONAS VERDES DE LA CIUDAD DE MELGAR  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN NATURATU  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ

FECHA: / / /2018 INDICE

IPA

LDV

CÓDIGO DE ZONA: \_\_\_\_\_

ESPECIE FOROFITO: \_\_\_\_\_ NÚMERO FOROFITO: \_\_\_\_\_

CAP: \_\_\_\_\_ DAP: \_\_\_\_\_ ALTURA: \_\_\_\_\_

UBICACIÓN: \_\_\_\_\_

COORDENADAS: \_\_\_\_\_ ELEVACIÓN: \_\_\_\_\_

#	FLANCO	CÓDIGO LÍQUEN	ESPECIE	COB/FREC	No. COLECTA	No. FOTO
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Especies de líquenes registradas

Anexo 6. *Pyxine pyxinoides*



Anexo 7. *Phyllopsora* sp



Anexo 8. *Leptogium cf. Isidioselloides*



Anexo 9. *Crypthotecia sp.1*



Anexo 10. *Candelaria concolor*



Anexo 11. *Leptogium sp.3*



Anexo 12. *Haematomma sp*



Anexo 13. *Leptogium sp.1*



Anexo 14. *Pyrenula* sp.



Anexo 15. *Cryptothecia* sp.3



Anexo16. *Cryptothecia striata*



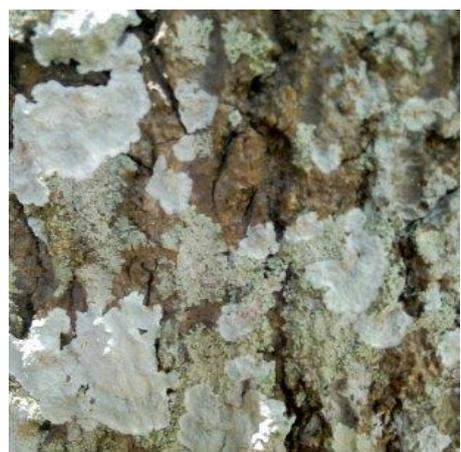
Anexo 17. *Heterodermia japonica*



Anexo 18. *Chrysothrix* sp.1



Anexo 19. *Physcia* cf. *aipolia*



Anexo 20. *Lecanora sp.2*



Anexo 21. *Lecanora sp.1*



Anexo 22. *Leptogium sp.2*



Anexo 23. *Mycomicrothelia sp*



Anexo 24. *Graphis sp.1*



Anexo 25. *Chrysothrix sp.2*



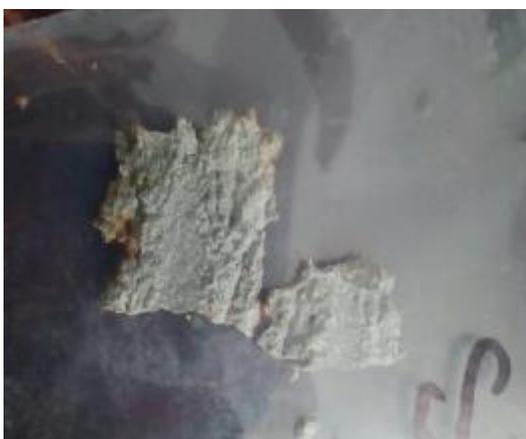
Anexo 26. *Crypthotecia* sp.2.



Anexo 27. *Haematomma leprarioides*.



Anexo 28. *Fissurina* sp.



Anexo 29. *Graphis* sp.2.



Anexo 30. Listado de líquenes documentados para el municipio de Melgar

<b>FAMILIA</b>	<b>ESPECIE</b>
Arthoniaceae	<i>Crypthotecia</i> sp.3
	<i>Crypthotecia</i> sp.1
	<i>Crypthotecia striata</i>
	<i>Crypthotecia</i> sp.2
Arthopyreniaceae	<i>Mycomicrothelia</i> sp

Candelariaceae	<i>Candelaria concolor</i>
Chrysothricaceae	<i>Chrysothrix sp.1</i>
	<i>Chrysothrix sp.2</i>
Collemataceae	<i>Leptogium cf. isidioselloides</i>
	<i>Leptogium sp.2</i>
	<i>Leptogium sp.3</i>
	<i>Leptogium sp.1</i>
Graphidaceae	<i>Graphis sp.1</i>
	<i>Fissurina sp.</i>
	<i>Graphis sp.2</i>
Haematommataceae	<i>Haematomma sp.</i>
	<i>Haematomma leprarioides</i>
Lecanoraceae	<i>Lecanora sp.2</i>
	<i>Lecanora sp.1</i>
Parmeliaceae	<i>Parmotrema sp.</i>
Physciaceae	<i>Heterodermia japonica</i>
Physciaceae	<i>Pyxine pyxinoides</i>
	<i>Physcia cf. Aipolia</i>
Pyrenulaceae	<i>Pyrenula sp.</i>
Ramalinaceae	<i>Phyllopsora sp.</i>
Rocellaceae	<i>Opegrapha sp.</i>

Anexo 31. Resultado índice de Margalef en las zonas verdes y de tráfico vehicular.

<b>Réplica</b>	<b>Zonas verdes</b>	<b>Zonas de tráfico vehicular</b>
Zona 1	2,523	1,12
Zona 2	3,059	1,729
Zona 3	2,177	1,068
Zona 4	2,103	2,08
Zona 5	2,671	1,632
Zona 6	2,118	1,898
Zona 7	1,544	1,679
Zona 8	2,326	1,832
Zona 9	2,082	2,089
Zona 10	2,879	1,614

Anexo 32. Resultado índice de Shannon en las zonas verdes y de tráfico vehicular.

<b>Réplica</b>	<b>Zonas verdes</b>	<b>Zonas de tráfico vehicular</b>
Zona 1	2,374	1,512
Zona 2	2,412	2,042
Zona 3	2,022	1,54
Zona 4	2,009	1,791
Zona 5	2,163	1,309

Zona 6	1,974	2,092
Zona 7	1,792	1,708
Zona 8	2,12	1,95
Zona 9	2,232	2,063
Zona 10	2,16	1,903

---

Anexo 33. Resultado índice de dominancia en las zonas verdes y de tráfico vehicular.

<b>Réplica</b>	<b>Zonas verdes</b>	<b>Zonas de tráfico vehicular</b>
Zona 1	0.1067	0,2578
Zona 2	0,1121	0,1471
Zona 3	0,1629	0,249
Zona 4	0,1633	0,2177
Zona 5	0,1472	0,3549
Zona 6	0,178	0,1525
Zona 7	0,2126	0,2233
Zona 8	0,1467	0,1704
Zona 9	0,1211	0,1658
Zona 10	0,1678	0,1781

---

Anexo 34. Resultado índice de diversidad liquénica (LDV).

<b>Zonas</b>	<b>Zonas verdes</b>	<b>Zonas de tráfico vehicular</b>
Zona 1	34,6	17,4
Zona 2	37,4	36,4
Zona 3	49,6	21,6
Zona 4	37,4	39,6
Zona 5	37,8	14,6
Zona 6	14	38,8
Zona 7	35,6	42,6
Zona 8	34,8	27,2
Zona 9	39,4	24
Zona 10	36,6	28,4

Anexo 35. Resultado índice de pureza atmosférica (IPA - J).

<b>Zonas</b>	<b>Zonas verdes</b>	<b>Zonas de tráfico vehicular</b>
Zona 1	690,62	470,99
Zona 2	630,05	520,43
Zona 3	709,02	416,39
Zona 4	528,08	709,60
Zona 5	655,67	799,47

Zona 6	410,20	515,47
Zona 7	717,95	649,35
Zona 8	556,13	712,50
Zona 9	527,81	565,98
Zona 10	728,23	554,15

---

Anexo 36. Cobertura en porcentaje de las especies liquénicas.

<b>ESPECIE</b>	<b>COBERTURA</b>
Crypthotecia sp.3	17%
Crypthotecia sp.1	14,1%
Cryptothecia striata	5,6%
Crypthotecia sp.2	1,5%
Mycomicrothelia sp	0,06%
Candelaria concolor	5,6%
Chrysothrix sp.1	0,5%
Chrysothrix sp.2	0,1%
Leptogium cf. isidioselloides	5,7%
Leptogium sp.2	0,8%
Leptogium sp.3	0,7%
Leptogium sp.1	0,5%

Graphis sp.1	0,7%
Fissurina sp.	0,2%
Graphis sp.2	0,07%
Haematomma sp.	2,6%
Haematomma leprarioides	1,2%
Lecanora sp.2	0,9%
Lecanora sp.1	0,1%
Parmotrema sp.	0,3%
Heterodermia japonica	1,1%
Pyxine pyxinoides	24,3%
Physcia cf. aipolia	0,9%
Pyrenula sp.	6,6%
Phyllopsora sp.	7%
<i>Opegrapha sp.</i>	1,4%

Anexo 37. Resultado índice de pureza atmosférica (IPA - L).

<b>Zonas</b>	<b>Zonas verdes</b>	<b>Zonas de tráfico vehicular</b>
Zona 1	299,393	92,258
Zona 2	278,033	204,772
Zona 3	263,353	108,585
Zona 4	170,86	203,439
Zona 5	218,712	116,129
Zona 6	139,032	233,681
Zona 7	206,688	191,703
Zona 8	238,758	235,548
Zona 9	252,241	168,089
Zona 10	264,538	176,975