

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA AVENIDA LOS MILITARES
DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR EMPLEANDO LOS LÍQUENES COMO
BIOINDICADORES**



AUTORES:

JESÚS EDUARDO DAZA GUERRA

BRAYAN ALFONSO OLIVELLA SAURITH

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2023

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA AVENIDA LOS MILITARES
DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR EMPLEANDO LOS LÍQUENES COMO
BIOINDICADORES**

AUTORES:

JESÚS EDUARDO DAZA GUERRA

BRAYAN ALFONSO OLIVELLA SAURITH

DIRECTOR

MSC. JOSÉ MAURICIO PÉREZ

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

VALLEDUPAR – CESAR

2023

DEDICATORIA

Le dedico este triunfo a mis padres Patricia Inés Guerra Fernández y Luis Fernando Daza Miliam, a mis abuelas Elsa Del Carmen Fernández y Blanca Miliam.

Jesús Eduardo Daza Guerra

En primer lugar, dedico esta tesis a Dios ya que es quien me concede por el camino del bien y al éxito, pudiendo así lograr concluir mi carrera, a mis padres por brindarme siempre su apoyo incondicional y su paciencia ya que todo lo que soy es gracias a ellos quienes me brindaron esta gran oportunidad de salir adelante y forjar mi futuro.

Le dedico este triunfo a mis padres Carmen Elena Saurith Nieto y Albeis Tomas Olivella Urdiales, A mi hermana, Genesis Beatriz Olivella Saurith que además de ser una compañera es quien me apoyo en todo este proceso y decisión, brindándome sus consejos para ser de mí una gran persona y a mis tíos Elba Aurora Saurith Nieto y Víctor Elías Saurith Nieto.

A mis profesores que me han formado en mi deseo de superación y triunfo en la vida, lo que ha contribuido a este gran logro.

Brayan Alfonso Olivella Saurith



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres y familiares por ayudarme en la consecución de este logro tan luchado, a mis compañeros de estudio los cuales me guiaron con paciencia para lograr este título. Agradecerles a los profesores que fueron como unos padres y sobre todo unos guías en este camino que forma profesionales y también personas de bien.

Jesús Eduardo Daza Guerra

En primer lugar, nuestros agradecimientos lo dirigimos a Dios por proveernos de sabiduría y así lograr esta meta en nuestras vidas.

También agradecemos a la Universidad Popular del Cesar por habernos permitido ser parte de ella, abriéndonos sus puertas y darnos la oportunidad de forjar nuestro camino al éxito.

A nuestros profesores guías y tutores por sus capacidades y disponibilidad de ayudarnos a guiar nuestras ideas en todo momento del desarrollo de este proyecto, ya que sin su ayuda y conocimiento no hubiera sido posible.

En especial a nuestros queridos padres que en medio de sus luchas constantes de trabajo y esfuerzo hicieron lo posible para que nada nos faltara procurando nuestro bienestar y por creer en nosotros en todo momento apoyando nuestras decisiones.

¡Gracias a todos!

Brayan Alfonso Olivella Saurith

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la calidad del aire en la Avenida Los Militares de la Ciudad de Valledupar empleando los líquenes como bioindicadores, usando las comunidades de líquenes como bioindicadores, a través del desarrollo de tres etapas: primero la identificación de la diversidad de especies de líquenes presentes en las zonas de estudio, seguido de la determinación del índice de Pureza Atmosférica (IPA) y el de Shannon- Wiener mediante la identificación del biotipo de los líquenes presentes en el área de estudio y por último, la formulación de estrategias de gestión ambiental que permitan mejorar la calidad del aire en la zona de estudio, los resultados obtenidos indican que en total se encontraron 2 biotipos de líquenes; biotipo 1 foliáceo blanco y el biotipo 2 crustáceo gris, siendo este último el de mayor frecuencia; siendo la especie más frecuente, encontrada en todos los árboles: *Physconia grisasea* seguida de *Flavopormelia Caperata*.



ABSTRAC

In the present study, the air quality in Avenida Los Militares in the City of Valledupar was evaluated using lichens as bioindicators, using lichen communities as bioindicators, through the development of three stages: first, the identification of species diversity of lichens present in the study areas, followed by the determination of the Atmospheric Purity Index (IPA) and the Shannon-Wiener index by identifying the biotype of the lichens present in the study area and finally, the formulation of strategies for environmental management that allows to improve the air quality in the study area, the results obtained indicate that a total of 2 biotypes of lichens were found; biotype 1 white foliaceous and biotype 2 gray crustacean, the latter being the most frequent; being the most frequent species, found in all the trees: *Physconia grisasea* followed by *Flavopormelia Caperata*.



TABLA DE CONTENIDO

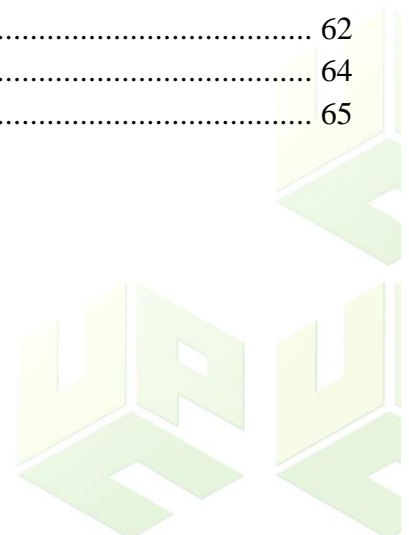
INTRODUCCIÓN	8
1. TITULO DE LA INVESTIGACIÓN O PROYECTO	9
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO O INVESTIGACIÓN	12
4. OBJETIVOS	13
4.1 Objetivo General	13
4.2 Objetivos Específicos	13
5. MARCO REFERENCIAL	14
5.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	14
5.2 MARCO TEÓRICO	19
5.2.1 Calidad del aire	19
5.2.2 Contaminación atmosférica	19
5.2.3 Uso de bioindicadores para evaluar la calidad del aire	19
5.2.4 Ventajas del uso de los bioindicadores	20
5.2.5 Desventajas del uso de los bioindicadores.	21
5.2.6 Líquenes	21
5.2.7 Morfología y fisiología de los líquenes	24
5.2.8 Métodos para medir la contaminación atmosférica mediante líquenes.	25
5.2.8.1 Índice de Pureza Atmosférica o Índice de Pureza Ambiental (IPA)	25
5.2.8.2 Índice de Shannon-Wiener	26
5.3 MARCO CONCEPTUAL	28
5.4 MARCO CONTEXTUAL	30
5.5 MARCO LEGAL	33
6. MARCO METODOLÓGICO	38

6.1	LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN	38
6.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN	38
6.3	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	38
6.4	POBLACIÓN DE ESTUDIO	38
6.5	MUESTREO POBLACIONAL	38
6.6	DESARROLLO METODOLÓGICO	39
6.6.1	ETAPA 1: Identificar la diversidad de especies de líquenes presentes en las zonas de estudio	39
6.6.2	ETAPA 2: Determinar el índice de Pureza Atmosférica (IPA) y el de Shannon- Wiener mediante la identificación del biotipo de los líquenes presentes en el área de estudio.....	41
6.6.3	ETAPA 3: Formular estrategias de gestión ambiental que permitan mejorar la calidad del aire en la zona de estudio	43
7.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	45
8.	CONCLUSIONES	68
9.	BIBLIOGRAFIA	71



LISTA DE TABLAS

Tabla 1.....	33
Tabla 2.....	42
Tabla 3.....	44
Tabla 4.....	46
Tabla 5.....	47
Tabla 6.....	49
Tabla 7.....	50
Tabla 8.....	51
Tabla 9.....	52
Tabla 10.....	53
Tabla 11.....	54
Tabla 12.....	56
Tabla 13.....	57
Tabla 14.....	57
Tabla 15.....	58
Tabla 16.....	58
Tabla 17.....	59
Tabla 18.....	60
Tabla 19.....	61
Tabla 20.....	62
Tabla 21.....	62
Tabla 22.....	64
Tabla 23.....	65



LISTA DE FIGURAS

Figura 1	22
Figura 2.	23
Figura 3.	23
Figura 4.	30
Figura 5	32
Figura 6.	40

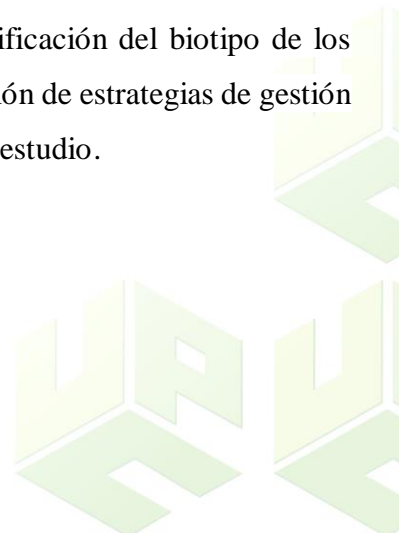


INTRODUCCIÓN

De acuerdo a (García y Rubiano 1984) un organismo se considera bioindicador cuando presenta alguna reacción que puede ser identificada frente a diferentes grados de alteración del medio, su comportamiento ante dichas condiciones difiere del natural en aspectos tales como hábito, fisiología, demografía y relaciones con otros organismos.

Durante los últimos tiempos, numerosos estudios han utilizado líquenes epífitos para estimar los niveles de contaminación atmosférica creada principalmente por el dióxido de azufre. La naturaleza tóxica del dióxido de azufre es probablemente el principal factor que afecta a las especies de líquenes y a la corteza de los árboles, produciendo su acidificación (Herk 2001).

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, en el presente estudio se evaluó la calidad del aire en la Avenida Los Militares de la Ciudad de Valledupar empleando los líquenes como bioindicadores, usando las comunidades de líquenes como bioindicadores, a través del desarrollo de tres etapas: primero la identificación de la diversidad de especies de líquenes presentes en las zonas de estudio, seguido de la determinación del índice de Pureza Atmosférica (IPA) y el de Shannon- Wiener mediante la identificación del biotipo de los líquenes presentes en el área de estudio y por último, la formulación de estrategias de gestión ambiental que permitan mejorar la calidad del aire en la zona de estudio.



1. TITULO DE LA INVESTIGACIÓN O PROYECTO

Evaluación de la calidad del aire en la Avenida Los Militares de la Ciudad de Valledupar empleando los líquenes como bioindicadores



2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación del aire en las ciudades es uno de los problemas ambientales más importantes, y es resultado de las actividades del hombre. Las causas que originan esta contaminación son diversas, predominantemente las motocicletas, automóviles, entre otros que recorren las calles y carreteras (Quispe, Ñique y Chuquilin, 2013). Este tipo de contaminación es considerado un problema que involucra a todos, debido a que de acuerdo a lo manifestado por Pérez (2017) “la calidad del aire no se mantiene en un lugar determinado, debido a que el aire no tiene límites geográficos y los contaminantes presentes en él pueden ser dispersados por acción de los vientos, afectando zonas menos contaminadas”. (p.5). Los contaminantes cuando son dispersados a grandes distancias generan daños por las zonas donde transcurren, afectando la calidad del medio ambiente, la salud de las personas, animales y vegetación presente.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2018) la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, bien sea en los países desarrollados o en los países en desarrollo. Se estima que la contaminación ambiental del aire, tanto en las ciudades como en las zonas rurales, fue causa de 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo para el 2016; esta mortalidad se debe a la exposición a partículas pequeñas de 2,5 micrones o menos de diámetro (PM2.5), que causan enfermedades cardiovasculares y respiratorias, y cáncer.

Este estudio se desarrolla en Valledupar, la cual es una ciudad ubicada en la costa norte colombiana, dicho municipio ha presentado un inminente crecimiento poblacional y económico durante los últimos años; reflejado en el incremento de las flotas vehiculares y motocicletas que circulan por el perímetro urbano de la ciudad; como también, en el aumento desmedido en las actividades del sector de la construcción, que ha conllevado a la elaboración

de grandes proyectos como los grandes centros comerciales, condominios y el desarrollo de conjuntos residenciales en el área occidental de la ciudad. Toda esta actividad ha convertido a la capital del Cesar en la ciudad con el registro del índice de construcción más alto en el país. Lo anterior, notablemente ha causado repercusiones en la calidad del aire de la zona ya que durante el mes de marzo de 2016 se registraron excedencias en el estándar diario de calidad del aire en la estación urbana (V4 Bomberos) que se localiza en la zona centro de la ciudad, evento que preocupa debido a las consecuencias que traería sobre la salud de la comunidad y el medio ambiente.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Por otro lado, cabe mencionar que este estudio se desarrollará en esta vía especialmente debido al alto flujo vehicular que presenta, además, que es una de las vías que más arborización presenta por lo cual puede ser utilizada para la identificación de líquenes y así conocer el estado de la calidad del aire en dicha vía. De acuerdo a lo anteriormente planteado, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la calidad del aire en la avenida los militares de la ciudad de Valledupar empleando los líquenes como bioindicadores?



3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO O INVESTIGACIÓN

El uso de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire no es un método por el cual se pueda remplazar los sistemas de vigilancia de la calidad del aire, sin embargo, si se considera como una alternativa que permite complementar a los monitores convencionales para zonas en específicas o áreas en las que no abarque el monitoreo de las estaciones; además, este método es económico y sencillo con lo cual se puede tener una idea clara sobre la calidad del aire que se está respirando en determinado territorio.

Siendo así este estudio tiene un gran impacto social dado que la contaminación del aire es considerada un problema de salud pública, eventualmente con la ejecución de este proyecto, es decir la aplicación de las estrategias que se formulen se podrá gozar de una mejor calidad del aire lo cual beneficiaría de forma general a la población de Valledupar, Cesar. Además de las estrategias que se planteen en este estudio, los resultados de este documento servirán para que las autoridades ambientales competentes (Corpocesar y Secretaría de medio ambiente municipal) puedan realizar una evaluación en la cual corroboren y correlacionen los resultados de este estudio con las concentraciones de los parámetros medido por medio de los sistemas de vigilancia para así tomar decisiones e implementar mejoras que eviten el deterioro de la calidad del aire.

Por otro lado, la realización de este estudio abre una puerta que ha sido poco explorada en el departamento del Cesar en el cual la contaminación es un problema, de manera que esta investigación pretende servir de base para la realización de estudios en diferentes partes del departamento con lo cual se podrán realizar aportes significativos que permitan mitigar el cambio climático y los impactos productos de la actividad antropogénica.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Evaluar la calidad del aire en la avenida los militares de la ciudad de Valledupar empleando los líquenes como bioindicadores.

4.2 Objetivos Específicos

- ✚ Identificar la diversidad de especies de líquenes presentes en las zonas de estudio.
- ✚ Determinar el índice de Pureza Atmosférica (IPA) y el de Shannon- Wiener mediante la identificación del biotipo de los líquenes presentes en el área de estudio.
- ✚ Formular estrategias de gestión ambiental que permitan mejorar la calidad del aire en la zona de estudio.



5. MARCO REFERENCIAL

5.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Carrero y Rodríguez (2019) realizaron un estudio en la Universidad Santo Tomas Ubicada en Bogotá para optar por el título de ingeniero ambiental cuyo estudio fue titulado “evaluación de la eficiencia de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire del kilómetro 3 al 4 de la vía Villavicencio – Acacias”, dentro del desarrollo metodológicos, los investigadores y/o autores propusieron tres fases de investigación, la primera consistió en determinar los líquenes en el área de estudio, para lo cual fue necesario hacer varias visitas de campo en donde además se realizó el cálculo para determinar el porcentaje de cobertura líquénica y el índice de Pureza Atmosférica (IPA); en la segunda fase básicamente se solicitó información a la autoridad ambiental sobre las estaciones de calidad del aire ubicadas en el área de influencia de la zona de estudio con lo cual se construyó la rosa de los vientos y se realizó una simulación de los contaminantes atmosféricos por medio del software HYSPLIT por sus siglas en inglés (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory), y, finalmente la fase 3 consistió en realizar una correlación entre los biotipos de líquenes encontrados y la concentración de los parámetros o contaminantes de la calidad del aire. Dentro de los resultados, se encontraron en total 20 árboles que cumplían con los criterios de inclusión, según el autor, tras finalizar la selección de los sustratos, se identificó en ellos la presencia de 4 de estos biotipos de líquenes, los cuales fueron folioso con una cobertura del 85,28%, fruticoso con una cobertura de 0.1%, costroso con una cobertura de 14.39% y escamulosos con 0,1%. En cuanto a los valores de los IPAs, se obtuvieron los resultados ilustrados en la Figura 6: Folioso (15,159), Costroso (5,760), Fruticoso (0,474) y Escamuloso (0,143). En lo que atañe a la correlación, se realizó por medio del coeficiente de Pearson, con el que se logró determinar que para el presente caso existe una asociación entre el biotipo de liquen folioso con el O₃ y el costroso con el PM₁₀, y en cuanto a los otros biotipos y

contaminantes, no se logró determinar asociación alguna debido a que el porcentaje de probabilidad de error fue superior al 10%. A partir de los datos arrojados por la estación y el monitoreo de los líquenes se concluyó que la calidad del aire en la zona es óptima y favorable para los seres vivos, en razón a que las concentraciones de los contaminantes no superan los niveles máximos permisibles y el biotipo con mayor porcentaje de cobertura liquénica fue el folioso siendo este un bioindicador de buena calidad del aire por su frecuente presencia en zonas no contaminadas.

Acevedo y Charry (2018) realizaron un estudio titulado “líquenes como bioindicadores de calidad de aire” para optar por el título de ingeniero ambiental de la Universidad Autónoma de Occidente. El estudio se realizó en 4 sectores en la vía Cali Jamund (Guadalupe, Universidad de Cali parcelación océano verde y Universidad del Occidente), cada uno con características diferentes que iban desde lugares muy transitados hasta poco transitados; para la selección de los árboles se tuvo en cuenta que estos tuvieron un tronco de un diámetro entre 20 y 40 cm, y entre 60 y 120 cm de perímetro, además debían ser especies arbóreas con 3 o más individuos. Luego se recurrió a hacer uso de una gradilla de 2x3 subcuadros, esta herramienta permitió realizar los inventarios de los líquenes existente en los árboles de estudio. Se calculó el índice de diversidad de Shannon y Índice de Pureza Atmosférica (IPA). En el presente estudio se encontró un total de 10 especies de líquenes representadas en 9 familias. De las cuales la más representativa fue Parmaliaceae; Aunque se encontraron dos líquenes pertenecientes a la misma familia (Physciaceae), estas no se encuentran presentes en todas las áreas de muestreo. En el área de muestreo de Guadalupe la familia más representativa es parmeliaceae, con presencia en 9 de los 9 individuos de estudio, en la universidad del valle se encuentra presente en 5 de los 9 individuos, en la universidad autónoma de occidente se encuentra presente en 7 de los 9 individuos y en la parcelación Océano Verde está presente en 2 de 9 individuos. A diferencia de las estaciones de Cali,

donde la familia Parmeliaceae se presentó como líquen dominante, la parcelación océano verde ubicada en Potrerito-Jamundí, la familia predominante fue Arthoniaceae, encontrándose en 5 de los 9 individuos de estudio. Dentro de las 4 estaciones de estudio, la Universidad del Valle obtuvo el valor más alto en índice de Shannon. Las estaciones con mayor deterioro morfológico de líquenes en orden descendente son la estación Universidad Autónoma de Occidente, estación Guadalupe, estación Parcelación Océano Verde y, por último, la estación de la Universidad del Valle,

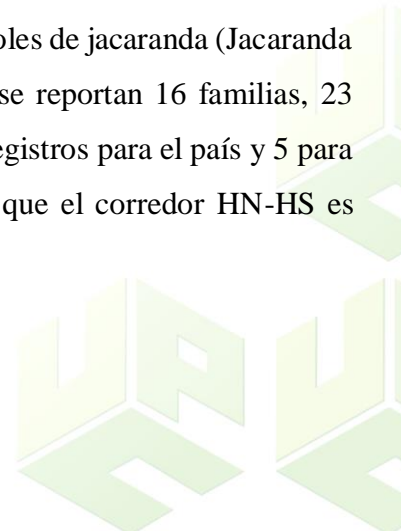
Huaman (2016) realizó un estudio titulado “Diversidad de líquenes cortícolas y calidad de aire en el distrito de Huancayo” para optar por el título de ingeniero forestal y ambiental de la Universidad Nacional del centro del Perú. La metodología fue del tipo básica y aplicada, nivel descriptivo – correlacional. La población estuvo conformada por 26 parques y mediante un muestreo no probabilístico intencional se eligieron 4 como muestra (Parque de la Identidad Huanca, Cerrito de la Libertad, Constitución y La Ribera), en estos parques se estimó la riqueza y abundancia de líquenes cortícolas mediante el Índice de Shannon y se calculó la concentración de emisiones (NO₂, SO₂ y CO) presentes, comparando estos valores con los “Estándares de calidad ambiental” (ECA). Las especies determinadas fueron *Candelaria fibrosa* (Fr.) Müll. Arg., *Caloplaca pyracea* (Ach.) Th.Fr., *Flavopunctelia flaventior* (Stirton) Hale, *Phaeophyscia endococcinodes* (Poelt) Esslinger, *Physcia stellaris* (L.) Nyl., *Teloschistes hosseusianus* Gyelnik y *Xanthoria polycarpa* (Hoffm.) Th. Fr. ex Rieber, de las cuales *Physcia stellaris* (L.) Nyl. A. fue la más abundante. Los parques de la Identidad Huanca, Cerrito de la Libertad, Constitución y La Ribera en un rango de 0 a 0,88 tuvieron 0,76, 0,88, 0 y 0,43 respectivamente como Índice de Shannon, teniendo los demás parques valores en general bajos. Asimismo, la concentración de dióxido de azufre fue la única emisión que superó el “Estándar de calidad del Ambiental” en un punto de monitoreo CA-4 (Parque Constitución), mientras que en los demás puntos los valores fueron normales.

Finalmente tras calcular el Índice de Pearson (r) se encontró una correlación directamente proporcional entre las especies *Caloplaca Pyracea* (Ach.) Th.Fr. y *Xanthoria polycarpa* (Hoffm.) con la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2), y una correlación inversamente proporcional entre *Physcia stellaris* (L.) Nyl y la concentración de dióxido de azufre (SO_2), sin embargo, si bien existe una correlación entre la diversidad de líquenes cortícolas y la calidad de aire, esta no es estadísticamente significativa.

Figuroa y Méndez (2015) realizaron un estudio titulado “Evaluación de la calidad del aire en 8 zonas de la ciudad de Bogotá utilizando los líquenes como bioindicadores” para optar por el título de ingeniero ambiental de la universidad de la Salle; la metodología de estudio consistió en cuatro fases, la primera fase fue una revisión literaria; en la segunda fase se realizó una caracterización del área de estudio en donde se determinó los árboles con los cuales se trabajaría, además, se solicitó información a la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) con lo cual se determinó que el área de estudio estuvo comprendida por 8 estaciones; por otro lado, en la tercera fase se determinó la riqueza y porcentaje de cobertura líquénica presente en cada árbol, y finalmente, en la etapa 4 se hicieron el cálculo de los diferentes índices los cuales fueron índice de Shannon, índices de pureza atmosférica (IPA), IPA de LeBlanc y De Sloover (1970) modificado por Rubiano (2002), IPA de Calatayud–Lorente y Sanz, además, en esta fase se determinaron los pasos para calcular la relación de la riqueza y el porcentaje de cobertura líquénica con las concentraciones de gases contaminantes por medio del coeficiente de similitud de Jaccard y análisis de clúster y el análisis de covarianza (ANCOVA). Dentro de los resultados se encontraron seis especies con predominio de *Flavopunctelia flaventior* (16343,235cm²) y *Physcia undulata* (6733,379cm²); entre las ocho zonas evaluadas, Simón Bolívar presenta el valor más alto en el Índice de Shannon (3.81); la zona de Simón Bolívar obtuvo el valor más alto del IPA (7,956); para las correlaciones de Spearman entre los contaminantes

atmosféricos y el Índice de Shannon e Índice de Pureza Atmosférica (estas dos últimas, variables que representan la riqueza y cobertura líquénica), no se encontraron correlaciones significativas; entre tanto, el coeficiente de similitud de Jaccard, mostró que la zona menos similar al resto en cuanto a composición y abundancia de especies es Simón Bolívar, con porcentajes muy bajos de similitud con las otras zonas. Las zonas con mayor similitud fueron Sagrado Corazón y Guaymaral. Se concluye que la calidad del aire varía entre las diferentes zonas de la ciudad y que las características de las zonas (presencia de árboles, fuentes de contaminación, dirección del viento) son determinantes en la calidad del aire. Además, los líquenes resultaron buenos bioindicadores, lo que se evidencia a través de la disminución de riqueza y abundancia de especies de mayor sensibilidad en zonas altamente contaminadas y con la presencia de especies sensibles en zonas menos contaminadas.

Cohn y Sunum (2014), en la tesis: “Líquenes como bioindicadores de contaminación aérea en el corredor metropolitano Hipódromo del Norte Hipódromo del Sur, en la ciudad de Guatemala”, (Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos), cuyo objetivo fue: Categorizar los niveles de contaminación aérea por medio del Índice de Pureza Atmosférica (IPA), complementado con coberturas, el Factor de Clasificación Ambiental (ECF) y el cambio en la diversidad de líquenes en árboles de jacaranda (*Jacaranda mimosifolia* D. Don.); llegando a las siguientes conclusiones: se reportan 16 familias, 23 géneros y 65 especies de líquenes, de las cuales 26 son nuevos registros para el país y 5 para la ciudad. Los valores de IPA varían de 4.5 a 25.5 indicando que el corredor HN-HS es homogéneo y posee altos índices de contaminación aérea.



5.2 MARCO TEÓRICO

5.2.1 Calidad del aire

El estado del aire representa un factor importante para la vida, ya que está constituido de compuestos indispensables para los seres vivos y la salud humana, como lo son el carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, que permiten que se lleven a cabo procesos como la fotosíntesis, la respiración, la humedad y temperatura óptima, entre otras (Cabrera & Giacobone, 2010). Sin embargo, el aire puede ser contaminado de manera natural o antrópica, por medio de la ejecución de diferentes procesos industriales, los cuales causan una alteración física, química o biológica, como la emisión de pequeñas partículas al aire (IDEAM, 2014) entre estos, el dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) y a 2,5 micras (PM_{2,5}), que al entrar en el cuerpo humano aumentan el riesgo que padecer enfermedades respiratorias agudas, como la neumonía, y crónicas, como el cáncer de pulmón y las enfermedades cardiovasculares (World Health Organization, 2018).

5.2.2 Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica se define como el fenómeno de acumulación o concentración de contaminantes en el aire en un tiempo determinado como resultado de actividades humanas o procesos naturales, que causan molestias o daños para la salud de las personas y otros seres vivos, así como a diversos materiales (Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales (IDEAM), 2012).

5.2.3 Uso de bioindicadores para evaluar la calidad del aire

Los bioindicadores permiten evaluar el impacto de los contaminantes que estos puedan generar, al ser estos métodos bastante rápidos y de bajo costo, permiten incrementar

el número muestras o sitios de muestreo, y un diagnóstico de los agentes contaminantes sobre los seres vivos y los ecosistemas, mediante la observación de las respuestas que estos pueden desarrollar frente a los diversos contaminantes (Rubiano y Chaparro, 2006).

5.2.4 Ventajas del uso de los bioindicadores

Las ventajas de los bioindicadores son:

- Tienen un bajo costo (Baltanás, 2000).
- Los líquenes son omnipresentes y actualmente están aumentando en muchas áreas urbanas (Nimis y Purvis, 2000).
- Observación de efectos fisiológicos, identificación de fuentes contaminantes y no necesitan mantenimiento ni electricidad (Baltanás, 2000).
- Carecen de una cutícula externa protectora y absorben tanto los nutrientes como los contaminantes. (Nimis y Purvis, 2000).
- Su naturaleza simbiótica. (Nimis y Purvis, 2000).
- Si alguno de los simbioses es dañado por la contaminación, se producirá un colapso de la simbiosis y, en última instancia la muerte del líquen. (Nimis y Purvis, 2000).
- Son organismos perennes disponibles para monitoreo durante todo el año.
- Muchas especies de líquen acumulan altos contenidos metálicos sin presentar daños, permitiendo así el monitoreo en áreas amplias. (Nimis y Purvis, 2000).
- Existen diferentes métodos que ofrecen oportunidades para todas las edades y habilidades. (Nimis y Purvis, 2000).
- Los instrumentos son vulnerables al robo y al vandalismo, más los líquenes no. (Nimis y Purvis, 2000).

5.2.5 Desventajas del uso de los bioindicadores.

El empleo de los bioindicadores como herramientas de evaluación de la calidad ambiental es un procedimiento indirecto, no mide directamente las variables abióticas. Se hacen necesarios estudios adicionales que demuestren la correlación entre variables bióticas y abióticas, así como la relación causa efecto entre la variable que se quiere medir y la medida indicadora. (Baltanás, 2000); además los bioindicadores tienen limitaciones de precisión, en comparación con los métodos físico-químico (Por ejemplo, muchos bioindicadores no ofrecen datos cuantitativos) (Baltanás 2000), igualmente de tener limitaciones de reproducibilidad, tanto a una escala espacial como temporal, es decir, resulta difícil aplicar la misma metodología en dos lugares o momentos diferentes, porque las circunstancias o ambientes son diferentes. No se pueden extrapolar los resultados de una zona o época a otra distinta. Se hace necesaria la estandarización de los protocolos de seguimiento biológico del medio ambiente, que tengan en cuenta las diferencias entre ecosistemas, circunstancias climatológicas, etc. (Baltanás, 2000).

5.2.6 Líquenes

Los líquenes representan unos de los organismos más utilizados como bioindicadores de la calidad del aire, ya que proveen información del impacto causado por medio de estudios rápidos y poco costosos (Loppi, Ivanov, & Boccardi, 2002); lo cual es posible gracias a que estos organismos son producto de la asociación simbiótica entre un hongo y un alga, no tienen raíces ni cutícula, por lo tanto, se encuentran totalmente expuestos a los contaminantes presentes en el aire, y al depender de la fuente aérea para sus nutrientes, absorben también los contaminantes atmosféricos, los cuales se acumulan en sus tejidos alterando su tamaño, abundancia y diversidad (Cabrera y Giacobone, 2010); se pueden encontrar en casi todo tipo

de ambiente terrestre, en especial sobre la roca desnuda o la corteza de los árboles, sin ocasionar el menor daño (Cabrera y Giacobone, 2010).

Los líquenes cuentan con una amplia variedad morfológica, clasificados en biotipos o también llamadas formas de crecimiento:

Foliosos: Sus bordes son extensos y lobulados, tienen forma de hoja y se encuentran adheridos al sustrato de manera parcial (Valencia, 2002). Ver figura 1.

Figura 1

Parmotrema gardneri. Líquen Folioso.



Fuente: Coronado y Castiblanco 2019.

Fruticosos o Fruticulosos: Tienen forma de arbustillos, ramificados, erectos y colgantes, están poco adheridos al sustrato, dependen de la humedad relativa del aire para su

hidratación y su tamaño puede ser muy variado, desde 1cm hasta varios metros (Barreno y Pérez, 2003). Ver figura 2.

Figura 2.

Heterodermia leucomela.

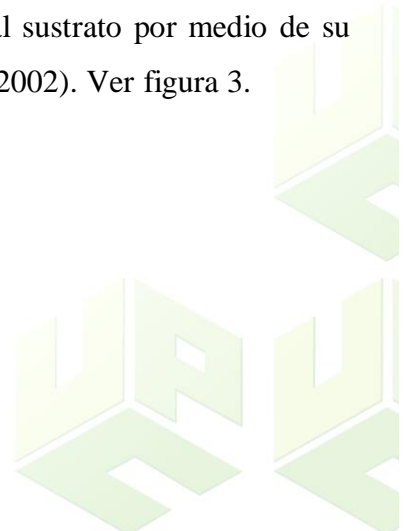


Fuente: Coronado y Castiblanco 2019.

- **Costrosos o crustáceos:** Están fuertemente adheridos al sustrato por medio de su zona inferior y en la mayoría de su superficie (Valencia, 2002). Ver figura 3.

Figura 3.

Rhizocarpon geographicum. Liquen Costroso.





Fuente: Lőkös, 2010.

Escamulosos: Son los más especializados de los costrosos y representan el paso hacia los foliosos; tienen forma de escamas o ampollas y tienden a separarse del sustrato en los bordes (Barreno y Pérez, 2003).

5.2.7 Morfología y fisiología de los líquenes

Pueden distinguirse dos tipos de talos según la estratificación y la distribución del fotobionte: homómeros (el fotobionte se encuentra irregularmente distribuido entre las hifas del hongo) y heterómeros (estratificados y el fotobionte se encuentra localizado en una capa determinada) (Chaparro y Aguirre 2002; Casares, 2006). En talos heterómeros se pueden encontrar los siguientes estratos:

- **Capa algal:** Es el único estrato en el que se mezclan ficobionte y micobionte; se dispone siempre inmediatamente por debajo del córtex superior, su grosor es variable y en algunos casos discontinuo. (Canseco, Anze y Franken, 2006)

- **Médula:** Generalmente está formada por hifas con una apariencia algodonosa, laxa y con muchos espacios (Canseco, Anze y Franken, 2006). Tiene una gran capacidad para almacenar gases y/o sustancias minerales y es la región donde se guarda alimento (manitol), además, permite el intercambio gaseoso del talo (Chaparro y Aguirre, 2002).
- **Corteza:** La mayoría de los líquenes poseen corteza superior e inferior y su configuración morfológica y anatómica varía de acuerdo al género (Canseco, et al., 2006). Tiene como función básica proteger los tejidos internos, además de constituir una barrera contra la desecación. Algunos poseen pigmentaciones en la corteza superior, probablemente para proteger al fotobionte de excesos de luz (Chaparro y Aguirre, 2002).
- **Órganos apendiculares:** Son estructuras vegetativas producidas por el micobionte. Las más comunes son las rizinas que son un manojo de hifas que proporcionan sujeción al sustrato y permiten retener agua. Algunas pueden llegar a ser densamente tomentosas dando una consistencia aterciopelada (Barreno y Pérez, 2003). Otras estructuras apendiculares son los cilios que se originan en el margen del talo o en la cara superior, los cuales tienen apariencia similar a las rizinas, son libres y generalmente no ramificados; su función es la de retener gotas de agua que absorben gradualmente (Chaparro y Aguirre, 2002).

5.2.8 Métodos para medir la contaminación atmosférica mediante líquenes.

5.2.8.1 Índice de Pureza Atmosférica o Índice de Pureza Ambiental (IPA)

El cual se basa en la distribución cuantitativa y cualitativa de las epífitas en el área investigada. Este método fue propuesto por (García & Rubiano 1984) y reformulado por (Steubing & Fangmeier 1992), que se basa en un análisis de presencia o ausencia de especies

sensibles o tolerantes para expresar un nivel integral de calidad del aire y zonificar el área de estudios en diferentes niveles de contaminación (Figuroa y Méndez, 2015). A continuación, se presenta la ecuación 1 que permite el cálculo de dicho índice.

$$IPA = \sum_1^N \frac{(Q*f)}{10} \quad \text{ecuación 1.}$$

Dónde:

n = Número de especies encontradas

Q = Índice ecológico o factor de acompañamiento para cada especie (es decir, el número promedio de especies que coexistieron con cada especie)

f = Cobertura o frecuencia de cada especie.

5.2.8.2 Índice de Shannon-Wiener

Uno de los índices más utilizados para cuantificar la biodiversidad específica es el de Shannon, también conocido como Shannon-Wiener (1949), el índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa (Pla, 2006).

$$H' = - \sum_1^S p_i \ln p_i \quad \text{ecuación 2}$$

Donde:

S = Número de especies

Pi = Proporción de individuos de la especie i con respecto al total de individuos, que surge de:

$$P_i = \frac{n_i}{N} \text{ ecuación 3.}$$

Donde

n_i = Número de individuos de la especie i

N = Número total de individuos de todas las especies (Pla, 2006)



5.3 MARCO CONCEPTUAL

Atmosfera: es una capa compuesta por una mezcla de gases, principalmente por el nitrógeno y oxígeno molecular, con cantidades mínimas de otros gases, que rodea al planeta, cerca del 99 % de su composición se encuentran en los 30 km cercanos a la superficie (Camilloni & Vera, 2007)

Bioindicador: organismo que presenta reacciones identificables con los distintos grados de concentración o combinación de contaminantes en la atmósfera o con otro tipo de alteraciones ambientales. Los líquenes, como consecuencia del fino equilibrio funcional de sus talos, son excelentes bioindicadores de las condiciones ambientales de sus hábitats. Son ampliamente utilizados para detectar perturbaciones en los ecosistemas provocadas por distintos tipos de estrés ambiental, p. ej. contaminación, calidad del aire, cambio climático, fuego, estructura y continuidad ecológica de los bosques, fragmentación de hábitats etc. (Acevedo y Charry, 2018).

Contaminante: Forma de materia o energía presente en un medio al que no pertenece, o bien, se encuentre por encima de su concentración natural en un medio no contaminado (Espinoza, 2018).

Contaminantes Primarios: Contaminante emitido en la atmósfera a partir de una fuente identificable, por ejemplo, CO, NO_x, SO₂, y partículas (Espinoza, 2018).

Emisión: Salida de los contaminantes al ambiente a partir de una fuente fija o móvil (Espinoza, 2018).

Exposición: Interacción entre un agente tóxico y un sistema biológico. Contacto de un agente químico con los límites exteriores del organismo. Cantidad de un agente químico o físico particular que llega al receptor (Espinoza, 2018).

Fuentes de emisión: Todas aquellas capaces de emitir contaminantes a la atmosfera, pudiendo tener un origen natural o antropogénico (Espinoza, 2018).

Inmisión: Se trata de la concentración que alcanza un contaminante emitido por un foco emisor (expresado en peso en una unidad de volumen), que se encuentra en el ambiente exterior, al nivel del suelo y al que está expuesto los seres vivos (Espinoza, 2018).

Indicador: Es un parámetro que caracteriza el estado de un sistema (natural), es un medio que dispone el hombre para observar con sus sentidos en tiempo breve un fenómeno que escapa a su percepción normal. (UNAD, 2012).

Límites Máximos Permisibles: Es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (Espinoza, 2018).

Partes por millón (ppm): Es una unidad de medida con la que se mide la concentración, refiriéndose a la cantidad de unidades de una determinada sustancia que hay por cada millón de unidades del conjunto (Espinoza, 2018).

Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire: Es necesario mantener monitoreada la calidad del aire y para esto se utiliza generalmente medios físico – químicos, como los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA), los cuales brindan información acerca del comportamiento de los contaminantes atmosféricos PM10, PM2,5, SO2, NO2, O3 y CO denominados como contaminantes criterio (MADS, 2018); estos pueden ser híbridos, manuales o automáticos, según su tecnología, y requieren de equipos especializados, además, de la supervisión y manipulación de personal capacitado, para garantizar su correcto funcionamiento, ocasionando altos costos de implementación (MAVDT, 2008).

5.4 MARCO CONTEXTUAL

Valledupar es la capital del departamento del Cesar, Colombia. Está ubicada al nororiente de la Costa Caribe colombiana, a orillas del río Guatapurí, en el valle del río Cesar formado por la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía del Perijá. (Observar figura 4).

Figura 4.

Localización geográfica del Municipio de Valledupar.



Fuente: Google Maps, 2020.

La ciudad es un importante centro para la producción agrícola, agroindustrial y ganadera en la región comprendida entre el norte del departamento del Cesar y el sur del departamento de La Guajira. También es uno de los principales epicentros musicales, culturales y folclóricos de Colombia por ser la cuna del vallenato, género musical de mayor popularidad en el país y actualmente símbolo de la música colombiana. Anualmente atrae a miles de visitantes de Colombia y del exterior durante el Festival de la Leyenda Vallenata, máximo evento del vallenato.

Valledupar está ubicada al norte del Valle del Cesar, entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá, al margen de los ríos Cesar y Guatapurí, en la Costa Caribe colombiana.

Extensión total: 4.493 Km²

Extensión área urbana: El casco urbano tiene una longitud norte-sur de 8.3 km y este-oeste de 6.2 km

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): la ciudad se encuentra a una altitud que oscila entre los 220 m. al norte y 150 m. a sur, siendo la altitud media de 168 m.

Temperatura media: la temperatura Media Anual es de 28,4 °C, con máximas y mínimas de 22°C y 34°C respectivamente, la temperatura máxima histórica registrada es de 41.5°C y la mínima de 16°C. El mes más caluroso es abril con un promedio de 30°C y el más fresco octubre.

Vegetación: El valle del río Cesar pertenece a la clasificación climática Bosque Seco Tropical, estando cubierto por un bosque claro muy intervenido donde se alternan árboles dispersos y pastos artificiales para el sostenimiento de la importante cabaña bovina existente en sus campos. Las especies más representativas de la región, que corresponde a bosque seco tropical, están representadas por los géneros Cassia, Tabebuia, Crescentia e Inga entre otras con nombres comunes como acacias, cañaguates, guanábanos, cedros, ceibas y una importante variedad de especies foráneas muy adaptadas ya al medio local como los mangos, eucaliptos y cítricos.

También es importante la presencia de árboles frutales en zonas públicas como parques, andenes y separadores de avenidas, en este caso por iniciativa de la municipalidad.

El árbol más común es el mango seguido de cañahuate, ceibas, robles, totumos, acacias, mamones, cotoprix, uvitos, cardamomos y un importante corredor vial de cauchos.

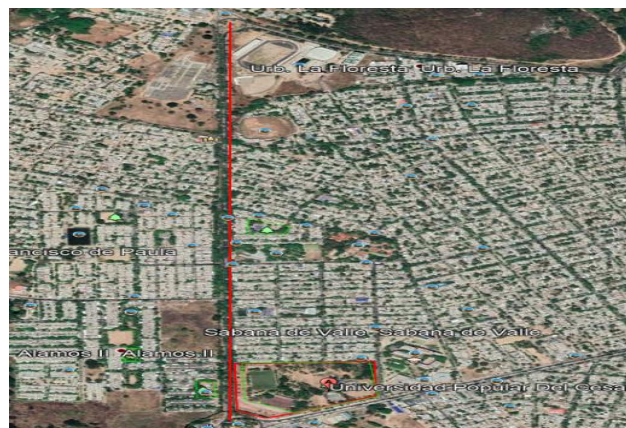
Fauna: La fauna silvestre en la actualidad se encuentra muy afectada, los felinos y mamíferos como el tigrillo y los venados son actualmente una rareza sobresaliendo casi exclusivamente los reptiles representados por las iguanas, lagartijas y algunas serpientes como boas, falsas corales, y mapaná. En cuanto a las aves sobresalen algunas rapaces como la lechuza y los gavilanes y otras como palomas, tierrelitas, pericos y colibríes.

Localización geográfica del área objeto de estudio

A continuación, se relaciona el área de estudio, cuya avenida es los militares comprendidos entre la glorieta el obelisco y la glorieta conocida como Chicha Maya junto al cerro de la popa.

Figura 5

Localización geográfica del área objeto de estudio



Fuente: Google Maps, 2023.

5.5 MARCO LEGAL

A continuación, se relaciona de manera detallada la normatividad ambiental en la cual se enmarca el presente proyecto de investigación.

Tabla 1

Marco normativo aplicable

Ámbito internacional	
Normatividad	Descripción
Ley 30 de 1990	Por medio del cual se aprueba el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, Viena, 22 de marzo de 1985.
Ley 29 de 1992	Por medio del cual se aprueba el “Protocolo de Montreal, relativo a las sustancias agotadoras de la capara de ozono”, suscrito en Montreal el 16 de septiembre de 1987, con sus enmiendas adoptadas en Londres el 29 de junio de 1990 y en Nairobi el 21 de junio de 1991
	Por el cual Colombia aprueba la Convención Marco de Cambio Climático y

Ley 164 de 1994	por medio del cual rectifica su compromiso con la adopción de políticas que contribuyan al control del cambio climático.
-----------------	--

Ley 629 del 2000 (protocolo de Kyoto)	Por el cual Colombia se acoge y aprueba el Protocolo de Kyoto de la Convención de la Naciones Unidas para el Cambio Climático, el cual tiene como objetivo reducir las emisiones de 6 gases de efecto invernadero (GEI), dióxido de carbono (CO ₂), gas metano (CH ₄), óxido nitroso (N ₂ O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF ₆). (Congreso de la República, 1998)
---------------------------------------	---

Ámbito nacional

Normatividad	Título	Aplicabilidad
Constitución Política de Colombia		Artículo 79 que los ciudadanos tienen como derecho fundamental gozar de un ambiente sano. En el artículo 80, el estado debe planear el manejo y

aprovechamiento de los recursos naturales y prevenir los factores de deterioro ambiental. Por ello es de vital importancia proteger el recurso aire, puesto que es indispensable para el desarrollo de la vida humana.

Ley General del
Ambiente (99 de 1993)

Artículo 5, numeral 43 que el Ministerio de Medio Ambiente debe establecer metodologías de valoración de los costos económicos del deterioro y de la conservación del medio ambiente y de los recursos renovables. En el artículo 31 se establece que dentro de las funciones de las CAR's se debe seguir la evaluación, control y seguimiento ambiental a los usos de los RRNN. Luego en el artículo 65, se

reglamenta que los municipios y distritos deben coordinar y dirigir actividades de control y vigilancia sobre actividades contaminantes del aire; así mismo, deben ejecutar el control a las emisiones contaminantes.

Decreto ley 2811 de
1974

Artículos 33, 73, 74, 75 y 76 con relación a la prevención y control de la contaminación atmosférica y protección de la calidad del aire.

Ley 9 de 1979

Código Sanitario
Nacional

Esta ley plasma en sus artículos 41-49 la política para el control de la contaminación del aire, dando a conocer aquellas medidas que se deben tomar para reglamentar y legalizar

las descargas de residuos y
materiales que afecten el
medio ambiente

Resolución 2254 del
2017

Por la cual se adopta
la norma de calidad del aire
del ambiente y se dictan
otras disposiciones.

Artículo 2 establece
los niveles máximos
permisibles a condiciones
de referencia para los
contaminantes criterios.

Fuente: Autores, 2023



6. MARCO METODOLÓGICO

6.1 LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación de la facultad corresponde a sostenibilidad y gestión ambiental y la Sublínea del programa corresponde a Gestión integral de la calidad del aire.

6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con Sampieri (2014), la investigación es exploratoria porque el tema a abordar es poco estudiado y del cual se tienen muchas dudas. Se seleccionó debido a que el tema investigado no se ha estudiado en Valledupar, de manera que constituye una primera aproximación al fenómeno lo cual servirá como punto de partida para estudios posteriores.

6.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de esta investigación es experimental, este nivel de investigación es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente). (Arias, 2006).

6.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO

De acuerdo con información del DANE la población de este estudio corresponde a 532,956 habitantes.

6.5 MUESTREO POBLACIONAL

La muestra corresponde a 2km que es la longitud de la avenida los militares que va desde la glorieta obelisco hasta la Chicha Maya.

6.6 DESARROLLO METODOLÓGICO

6.6.1 ETAPA 1: Identificar la diversidad de especies de líquenes presentes en las zonas de estudio

Actividad 1.1. Selección de los árboles

Descripción: Se realizó un recorrido en la zona de estudio con el fin de identificar y seleccionar los árboles que se encuentran y sobre los cuales se realizarán el inventario de líquenes. Para hacer la selección de las especies se tuvo en cuenta las siguientes características de acuerdo con lo propuesto por (Angela Canseco, Rafael Anze, & Margot Fraken, 2006):

Los árboles tuvieron un Diámetro a la altura del Pecho (DAP) entre 20 y 40 cm y aproximadamente entre 60 y 120 cm de perímetro. La medición correspondiente se realizará a cada árbol de manera individual usando un metro; de modo que así se puede estimar que los individuos seleccionados pertenezcan a árboles con edades parecidas.

Ejemplares no incluidos en formaciones arbóreas excesivamente cerradas.

Individuos de corteza rugosa.

Árboles inclinados, dañados, pintados y de corteza lisa serán excluidos.

Arboles de una misma especie para garantizar que el sustrato sobre los cuales crecen los líquenes son similar, y sus cortezas son propicias para el crecimiento de líquenes.

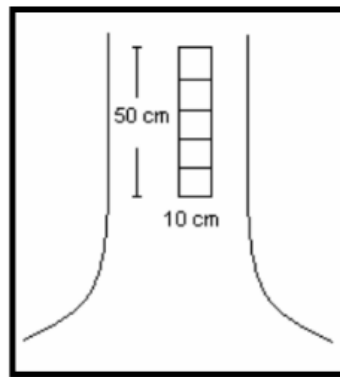
Actividad 1.2. Conteo de frecuencia de cada biotipo de liquen y cobertura líquénica

Descripción: teniendo en cuenta el criterio o la metodología del (Servicio de Sanidad Forestal y Equilibrios Biológicos SSF, 2000) se llevará a cabo esta actividad, de manera que

se elaborará una rejilla con material de plástico por cada árbol sobre el que realizará el monitoreo de los líquenes, la cual estará dividida en 10 subcuadros de 10x10cm, y estas serán instaladas en cada uno de los ejemplares, ubicándose sobre el tronco del árbol seleccionado y el centro de la rejilla quedando sobre la cara donde hay mayor cobertura líquénica, cuidando que la distancia al suelo sea al menos de 80 cm. Ver figura 5.

Figura 6.

Toma de muestras de líquenes.



Fuente: Servicio de Sanidad Forestal y Equilibrios Biológicos SSF, 2000.

Las cinco cuadrículas se ubicarán según los cuatro puntos cardinales, y solo podrán desviarse de estos en 20° en sentido horario (para esquivar ramas o heridas). Aunque exista una gran cobertura líquénica, se deberán evitar las siguientes situaciones:

- Partes dañadas o descortezadas.
- Nudos.
- Canalículos.
- Partes con cobertura de briofitas superior al 25%.

Para la identificación de los líquenes colectados, se contará con la ayuda del codirector de este estudio el ingeniero Héctor Segura, además, se buscará apoyo de base de datos web en donde se pueda consultar lista de líquenes.

Continuando con la metodología propuesta por el Manual Red CE nivel II (Servicio de Sanidad Forestal y Equilibrios Biológicos SSF, 2000); Se identificará los biotipos de líquenes presentes en cada árbol y se contará el número de subcuadros en los que aparece al menos una vez, y este representará el valor de su frecuencia.

Los valores de frecuencia pueden oscilar desde 0 a 10 (0 si el biotipo de la lista no se encuentra representada en el área de inventario y 10 si se encuentra representada en todos los subcuadros del área de inventario). El conteo se realizará durante dos (2) meses, con una periodicidad de dos veces por semana.

Para calcular el porcentaje de cobertura liquénica se utilizará la siguiente formula:

$$\% \text{ Cobertura liquénica} = \frac{\text{área ocupada por cada biotipo de líquen}}{\text{área total ocupada por líquenes}} * 100$$

6.6.2 ETAPA 2: Determinar el índice de Pureza Atmosférica (IPA) y el de Shannon-Wiener mediante la identificación del biotipo de los líquenes presentes en el área de estudio

Actividad 2.1. Cálculo del Índice de Pureza Atmosférica o (IPA)

Para la determinación del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) se utilizó la ecuación propuesta por (Amman et al., 1987)

$$IPA = \sum_1^N \frac{f_i}{6} \text{ Ec 3.}$$

Dónde:

F_i =Frecuencia de la especie “i”

n = Número de especies de líquenes del inventario

$\bar{6}$ = es el número de árboles sobre los que se realiza el inventario.

Una vez se obtenga los resultados de la ecuación anterior, es decir el resultado de IPA se procederá a seguir el criterio de Coronado y Castiblanco (2019) quien clasifica los niveles de contaminación de acuerdo con los siguientes rangos:

Tabla 2.

Clasificación de los niveles de contaminación de acuerdo con el resultado de IPA.

Nivel	Rango
Muy alta	0 – 3,44
Alta	3,45 – 6,43
Moderada	6,44 – 9,41
Baja	9,42 – 12,40
Muy baja	12,41 – 15,38

Fuente: Coronado y Castiblanco, 2019.

Actividad 2.2. Cálculo del índice de Shannon-Wiener

Descripción: este índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa (Pla, 2006).

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

Donde:

S = Número de especies

Pi = Proporción de individuos de la especie i con respecto al total de individuos, que surge de:

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

Donde

ni = Número de individuos de la especie i

N = Número total de individuos de todas las especies (Pla, 2006)

6.6.3 ETAPA 3: Formular estrategias de gestión ambiental que permitan mejorar la calidad del aire en la zona de estudio

Actividad 3.1. Estrategias de gestión ambiental

Descripción: Teniendo en cuenta los resultados del nivel de contaminación se procederá así a diseñar las estrategias que se requieren para hacerle frente a la contaminación encontrada, a continuación, se presenta la línea de acción:

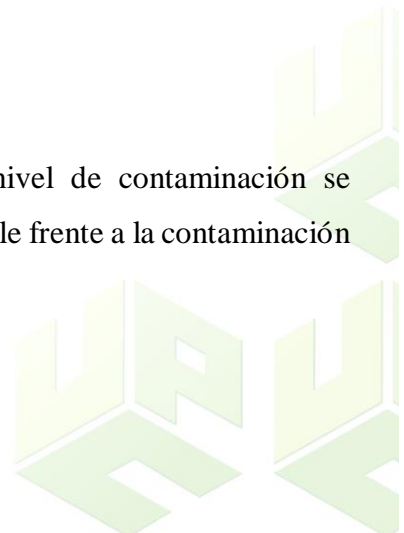


Tabla 3

Líneas de acción según importancia del impacto.

Líneas de acción según el nivel de contaminación	
Muy alta	Plan de descontaminación de carácter urgente
Alta	Medidas en las fuentes móviles y fijas
Moderado	Planificación y gestión del uso del suelo
Baja	Recomendaciones a las instituciones educativas sobre la calidad del aire
Muy baja	salud ambiental y educación ambiental

Fuente: Autores, 2021



7. ANALISIS Y RESULTADOS

7.1 Identificar la diversidad de especies de líquenes presentes en las zonas de estudio

Actividad 1.1. Selección de los árboles

A la hora de definir los puntos de muestreo se tuvieron en cuenta diferentes aspectos, los cuales permitieron seleccionar las zonas que son consideradas puntos estratégicos representativos con características óptimas y puntuales dentro de la zona de estudio con el fin de dar cumplimiento a lo establecido en los objetivos planteados en la investigación.

Inicialmente se realizó la selección de arboles objeto de estudio, a través de un recorrido en la zona, como resultado de lo anterior se identificaron y seleccionaron los árboles que se encuentran y sobre los cuales se realizó el inventario de líquenes.

A continuación, se detallan las consideraciones técnicas que se tuvieron en cuenta para esta actividad:

- ✚ Los árboles deben tener un Diámetro a la altura del Pecho (DAP) entre 20 y 40 cm y aproximadamente entre 60 y 120 cm de perímetro.
- ✚ Ejemplares no incluidos en formaciones arbóreas excesivamente cerradas.
- ✚ Individuos de corteza rugosa.
- ✚ Árboles inclinados, dañados, pintados y de corteza lisa serán excluidos.
- ✚ Árboles de una misma especie para garantizar que el sustrato sobre los cuales crecen los líquenes son similar, y sus cortezas son propicias para el crecimiento de líquenes.

Los servicios ecosistémicos ofertados por los árboles abarcan distintos escenarios, constituyéndose en las zonas urbanas como un recurso invaluable, gracias a su longevidad, resistencia, capacidad fotosintética y de purificación del aire contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida del ser humano.

Es importante mencionar que todas las zonas seleccionadas cuentan con alto flujo vehicular ya que es una avenida principal donde a diario circulan gran cantidad de fuentes móviles, siendo el árbol 1 el más cercano a la rotonda del obelisco.

Para la identificación de los árboles objetos de estudio se realizó la revisión de información bibliográfica sobre especies florísticas urbanas en la Ciudad de Valledupar, luego se realizó la primera visita de campo a las diferentes áreas de muestreo verificando la correlación entre las especies mencionadas y descritas en el documento implementación de estrategias de educación ambiental y de arborización en la ciudad de Valledupar expedido por Corpocesar en el año 2017.

Como resultado a esta actividad, en la siguiente tabla se detallan las de 6 especies de árboles identificadas:

Tabla 4

Descripción de los árboles seleccionados

No.	Nombre común	Nombre científico	Familia	Coordenadas geográficas
1	Oití	Licania tomentosa	Chrysobalanaceae	10,4470 N-73,2630 W
2	Cassia de siam	Senna siamea	Fabaceae	10,4475 N-73,2634 W
3	Oití	Licania tomentosa	Chrysobalanaceae	10,4569 N-73,2705 W
4	Oití	Licania tomentosa	Chrysobalanaceae	10,4570 N-73,2706 W
5	Uva brasilera	Syzygium cumini	Mirtáceas	10,4583 N-73,2716 W
6	Oití	Licania tomentosa	Chrysobalanaceae	10,4585 N-73,2718 W

Fuente: Autores, 2023

De la anterior tabla es posible indicar que de los 6 árboles seleccionados 4 de ellos corresponden a la especie Licania tomentosa denominado comúnmente “Oití” perteneciente a la familia Chrysobalanaceae, originaria del este y sur de Brasil e introducido en la Ciudad de Valledupar, los cuales toleran temperaturas desde 28 °C a 37°C.

Por otro lado, se encuentra 1 árbol de la especie *Syzygium cumini* es un árbol tropical de hoja perenne de la familia de las Myrtaceae y por último, 1 árbol de *Senna siamea* es una legumbre en la subfamilia Caesalpinioideae nativa del sur y sureste de Asia.




Actividad 1.2. Cuento de frecuencia de cada biotipo de liquen y cobertura líquénica




El conteo de frecuencia de cada biotipo de liquen y cobertura líquénico se realizó durante dos (2) meses, con una periodicidad de dos veces por semana, para lo cual se tuvo en cuenta lo plasmado en la metodología propuesta por el Manual Red CE nivel II (Servicio de Sanidad Forestal y Equilibrios Biológicos SSF, 2000).

Se elaboró una rejilla con material de plástico, dividida en 10 subcuadros de 10x10cm, las cuales fueron instaladas en cada uno de los árboles seleccionados, ubicándose sobre el tronco del árbol seleccionado y el centro de la rejilla quedando sobre la cara donde hay mayor cobertura líquénica, cuidando que la distancia al suelo sea al menos de 80 cm, tal como se ilustra a continuación:

Tabla 5

Instalación de rejillas en los arboles seleccionados

Nombre científico: <i>Licania tomentosa</i>	Nombre científico: <i>Senna siamea</i>	Nombre científico: <i>Licania tomentosa</i>
		

Nombre científico: Licania tomentosa	Nombre científico: Syzygium cumini	Nombre científico: Licania tomentosa
		

Fuente: Autores, 2023

NOTA: Es importante mencionar que las cuadrículas se ubicaron según los cuatro puntos cardinales, y con una desviación máxima de 20° en sentido horario, evitando incluir partes dañadas o descortezadas, nudos, canalículos y partes con cobertura de briofitas superior al 25%.

El proceso de identificación y cuantificación de los líquenes colectados, se llevó a cabo con la ayuda del codirector de este estudio el ingeniero Héctor Segura y con el apoyo de bases de datos web; la cuantificación consistió en contar el número de subcuadros en los que aparece al menos una vez, y este representará el valor de su frecuencia, tal como se presenta en la siguiente tabla:

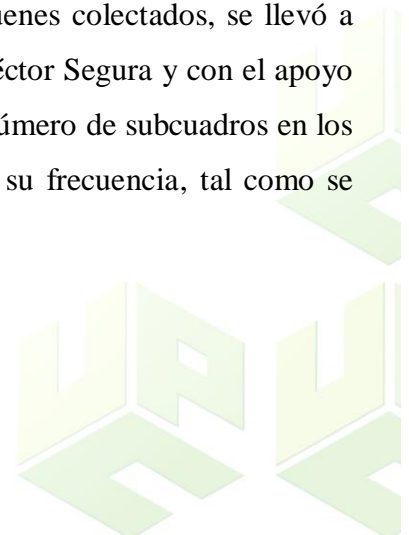


Tabla 6

Identificación de líquenes Árbol 1

















Nombre científico: Licania tomentosa			
MES 1			
Semana 1 IN	Semana 1 FIN	Semana 2 IN	Semana 2 FIN
			
Semana 3 IN	Semana 3 FIN	Semana 4 IN	Semana 4 FIN
			
MES 2			
Semana 1 IN	Semana 1 FIN	Semana 2 IN	Semana 2 FIN
			
Semana 3 IN	Semana 3 FIN	Semana 4 IN	Semana 4 FIN
			

Tabla 7

Identificación de líquenes Árbol 2

















Nombre científico: Senna siamea			
MES 1			
Semana 1 IN	Semana 1 FIN	Semana 2 IN	Semana 2 FIN
			
Semana 3 IN	Semana 3 FIN	Semana 4 IN	Semana 4 FIN
			
MES 2			
Semana 1 IN	Semana 1 FIN	Semana 2 IN	Semana 2 FIN
			
Semana 3 IN	Semana 3 FIN	Semana 4 IN	Semana 4 FIN
			

Tabla 8

Identificación de líquenes Árbol 3

















Nombre científico: Licania tomentosa			
MES 1			
Semana 1 IN	Semana 1 FIN	Semana 2 IN	Semana 2 FIN
			
Semana 3 IN	Semana 3 FIN	Semana 4 IN	Semana 4 FIN
			
MES 2			
Semana 1 IN	Semana 1 FIN	Semana 2 IN	Semana 2 FIN
			
Semana 3 IN	Semana 3 FIN	Semana 4 IN	Semana 4 FIN
			

Tabla 9

Identificación de líquenes Árbol 4




Nombre científico: Licania tomentosa			
MES 1			
Semana 1 IN	Semana 1 FIN	Semana 2 IN	Semana 2 FIN
			
Semana 3 IN	Semana 3 FIN	Semana 4 IN	Semana 4 FIN
			
MES 2			
Semana 1 IN	Semana 1 FIN	Semana 2 IN	Semana 2 FIN
			
Semana 3 IN	Semana 3 FIN	Semana 4 IN	Semana 4 FIN
			

Tabla 10

Identificación de líquenes Árbol 5

































Nombre científico: Syzygium cumini			
MES 1			
Semana 1 IN	Semana 1 FIN	Semana 2 IN	Semana 2 FIN
			
Semana 3 IN	Semana 3 FIN	Semana 4 IN	Semana 4 FIN
			
MES 2			
Semana 1 IN	Semana 1 FIN	Semana 2 IN	Semana 2 FIN
			
Semana 3 IN	Semana 3 FIN	Semana 4 IN	Semana 4 FIN
			

Tabla 11

Identificación de líquenes Árbol 6

Nombre científico: Licania tomentosa			
MES 1			
Semana 1 IN	Semana 1 FIN	Semana 2 IN	Semana 2 FIN
			
Semana 3 IN	Semana 3 FIN	Semana 4 IN	Semana 4 FIN
			
MES 2			
Semana 1 IN	Semana 1 FIN	Semana 2 IN	Semana 2 FIN
			
Semana 3 IN	Semana 3 FIN	Semana 4 IN	Semana 4 FIN
			


En el desarrollo de las visitas de campo efectuadas, se observaron diferentes tipos de líquenes cuyo aspecto contaba con características específicas y de suma importancia a la hora de realizar un análisis a simple vista, características tales como su forma, color, estructura y demás permitió identificar los 3 diferentes tipos de epifitos de manera inmediata.


Además, es importante mencionar el hecho de que los líquenes están principalmente influenciados por variables macro y micro ambientales afectando así su riqueza y abundancia, variables tales como las condiciones climatológicas presentado en el área que ayudan a definir la composición de la especie, o variables micro climáticas relacionadas con la estructura del bosque como la edad y el tipo de árbol o la cobertura del dosel, las que van a condicionar las comunidades (Medina et al., 2012).

▪ **Conteo de líquenes**

Una vez seleccionados los forofitos para la toma de muestras se hizo uso de la rejilla con el fin de realizar el conteo de la cantidad de individuos por especie que fueron encontrados en cada cuadrante de esta, este procedimiento se realizó en cada árbol de las zonas de estudio estipuladas para un total de 6 árboles muestreados.

El conteo se basó en los tres biotipos principales y más comunes de líquenes epifitos cuyas principales características son:

 **Fruticulosos:** Poseen talos con morfología de pequeños arbustos, en los que los lóbulos se estrechan y alargan profundamente de tal manera que se sujetan al sustrato por una mínima superficie. Su organización suele ser radiada, solo en ocasiones es dorsiventral. su morfología o ramificación de estos talos suele ser muy variada (Groot, 2018).


 **Foliáceo:** Existe separación del talo con el sustrato, el liquen no se encuentra adherido al sustrato. con estructura heterómera córtex superior e inferior (Groot, 2018).

✚ **Crustáceo:** Su tipo de talo siempre se encuentra en estrecho contacto con el sustrato, carece de córtex inferior o de órganos de sujeción y no se puede separar de él sin destruirlo. se sujeta al sustrato por medio de la medula o de un hipotalo (Groot, 2018).

Los valores de frecuencia pueden oscilar desde 0 a 10 (0 si el biotipo de la lista no se encuentra representada en el área de inventario y 10 si se encuentra representada en todos los subcuadros del área de inventario), En la siguiente tabla se presentan los resultados en el conteo realizado por cada árbol

Tabla 12

Frecuencia de líquenes Árbol No. 1


Fotografía	Árbol 1 Licania tomentosa	Biotipo			IPA (Fr+Fol+Cr)
		Fruticuloso	Foliáceo	Crustáceo	
	Especie 1 Crustáceo gris			8	9
	Especie 2 Foliáceo blanco		1		
Número de especies= 2					

Fuente: Autores, 2023

En este árbol (Licania tomentosa), se encontraron 2 tipos de liquen, el 1 Physconia grisasea presente en 8 de los subcuadros,) y Flavoparmelia Caperata Presente en 1 subcuadro.

Tabla 13

Frecuencia de líquenes Árbol No. 2


Fotografía	Árbol 2 Senna siamea	Biotipo			IPA (Fr+Fol+Cr)
		Fruticuloso	Foliáceo	Crustáceo	
	Especie 1 Blanco		6		6
Número de especies= 1					

Fuente: Autores, 2023

A partir de la tabla anterior podemos indicar que en el árbol No. 2 solo existe 1 tipo de líquen, Flavoparmelia Caperata Presente en 6 subcuadros.

Tabla 14

Frecuencia de líquenes Árbol No. 3


Fotografía	Árbol 3 Licania tomentosa	Biotipo			IPA (Fr+Fol+Cr)
		Fruticuloso	Foliáceo	Crustáceo	
	Especie 1 Crustáceo gris			4	7
	Especie 2 Foliáceo blanco		3		
Número de especies= 2					

Fuente: Autores, 2023

Respecto al árbol No. 3, se encontraron 2 tipos de líquen, el primero *Physconia* grisasea presente en 4 de los subcuadros, y *Flavoparmelia* *Caperata* Presente en 3 subcuadros.

Tabla 15

Frecuencia de líquenes Árbol No. 4


Fotografía	Árbol 4 <i>Licania</i> tomentosa	Biotipo			IPA (Fr+Fol+Cr)
		Fruticuloso	Foliáceo	Crustáceo	
	Especie 1 Crustáceo gris			5	5
Número de especies= 1					

Fuente: Autores, 2023

Respecto al árbol No. 4, se encontró solo la especie *Physconia* grisasea presente en 5 de los subcuadros.

Tabla 16

Frecuencia de líquenes Árbol No. 5


Fotografía	Árbol 5 <i>Syzygium cumini</i>	Biotipo			IPA (Fr+Fol+Cr)
		Fruticuloso	Foliáceo	Crustáceo	
	Especie 2 Foliáceo blanco		4		4
Número de especies= 1					

Fuente: Autores, 2023

Respecto al árbol No. 5, se encontró solo 1 especie, la cual fue Flavoparmelia Caperata Presente en 4 subcuadros.

Tabla 17

Frecuencia de líquenes Árbol No. 6

Fotografía	Árbol 3 Licania tomentosa	Biotipo			IPA (Fr+Fol+Cr)
		Fruticuloso	Foliáceo	Crustáceo	
	Especie 1 Crustáceo gris			4	6
	Especie 2 Foliáceo blanco		2		
Número de especies= 2					

Fuente: Autores, 2023

Por último, en el árbol No. 6, se encontraron 2 tipos de líquen, Physconia grisasea presente en 4 de los subcuadros, y Flavoparmelia Caperata Presente en 2 subcuadros.

Del anterior análisis es posible concluir que, en total se encontraron 2 biotipos de líquenes; biotipo 1 foliáceo blanco y el biotipo 2 crustáceo gris, siendo este último el de mayor frecuencia; Del mismo modo es posible señalar que, la familia Physciaceae presenta la mayor riqueza especies, seguida de la familia Parmeliaceae. La especie más frecuente, encontrada en todos los árboles: Physconia grisasea seguida de Flavoparmelia Caperata.

Para calcular el porcentaje de cobertura líquénica se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cobertura liquénica} = \frac{\text{área ocupada por cada biotipo de líquen}}{\text{área total ocupada por líquenes}} * 100 \text{ Ec. 2}$$

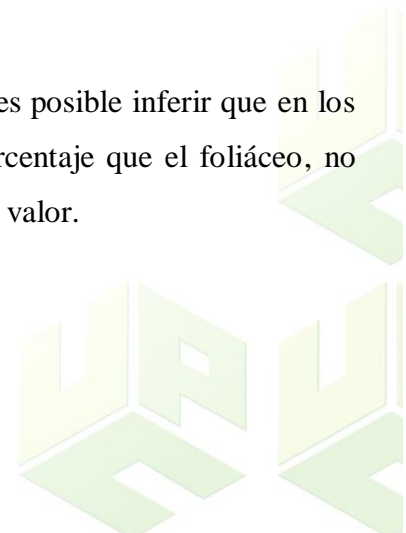
Tabla 18

Porcentaje de cobertura liquénica

Árbol No.		Área ocupada por cada biotipo de líquen	Área total ocupada por líquenes	% cobertura liquénica
1	Foliáceo	1	9	11,11%
	Crustáceo	8		88,89%
2	Foliáceo	6	6	100%
	Crustáceo	0		0
3	Foliáceo	3	7	42,86%
	Crustáceo	4		57,14%
4	Foliáceo	0	5	0
	Crustáceo	5		100%
5	Foliáceo	4	4	100%
	Crustáceo	0		0
6	Foliáceo	2	6	33,33%
	Crustáceo	4		66,67%

Fuente: Autores, 2023

A partir de los resultados obtenidos en la tabla anterior es posible inferir que en los árboles 1, 3, 4 y 6 el biotipo crustáceo presenta un mayor porcentaje que el foliáceo, no obstante, en los árboles 2 y 5 el biotipo foliáceo posee un mayor valor.



7.1.1 ETAPA 2: Determinar el índice de Pureza Atmosférica (IPA) y el de Shannon-Wiener mediante la identificación del biotipo de los líquenes presentes en el área de estudio

Cálculo del Índice de Pureza Atmosférica o (IPA)

Para la determinación del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) se utilizó la ecuación propuesta por (Amman et al., 1987)

$$IPA = \sum_1^N \frac{f_i}{6} \text{ Ec 3.}$$

Dónde:

Fi =Frecuencia de la especie “i”

n= Número de especies de líquenes del inventario

6= es el número de árboles sobre los que se realiza el inventario.

Tabla 19

Índice de pureza atmosférica (IPA)

No. Árbol	Biotipo			IPA (Fr+Fol+Cr)
	Fruticuloso	Foliáceo	Crustáceo	
1	0	1	8	9
2	0	6	0	6
3	0	3	4	7
4	0	0	5	5
5	0	4	0	4
6	0	2	4	6
IPA Avenida Los Militares				6,17

Fuente: Autores, 2023

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla anterior, es decir el resultado de IPA se procedió a clasificar los niveles de contaminación de acuerdo con los siguientes rangos:

Tabla 20.

Clasificación de los niveles de contaminación de acuerdo con el resultado de IPA.

Nivel	Rango
Muy alta	0 – 3,44
Alta	3,45 – 6,43
Moderada	6,44 – 9,41
Baja	9,42 – 12,40
Muy baja	12,41 – 15,38

Fuente: Coronado y Castiblanco, 2019.

Tabla 21.

Clasificación de los niveles de contaminación Avenida Los Militares

No. Árbol	IPA	Categorización
1	9	Moderada
2	6	Alta
3	7	Baja
4	5	Alta
5	4	Alta
6	6	Alta
IPA AVENIDA LOS MILITARES		ALTA

Fuente: Autores, 2023

Los árboles No. 2, 4, 5 y 6 están cerca de las vías de alto tráfico, se encuentran localizados en áreas con poca vegetación, lo que ocasiona que con el tiempo se conviertan en áreas desérticas de líquenes con IPA bajos, se caracterizan por presentar la menor diversidad líquénica con resultados poco favorables en cuanto al índice de calidad del aire.

El Árbol No. 1 se caracterizó por presentar mayor diversidad líquénica comparada con los otros árboles, su IPA es moderada, en cuanto al Árbol No. 3 presenta un IPA relativamente muy bajo, indicándonos que su área se encuentra libre de contaminantes atmosféricos que afectan a los bioindicadores como el líquen.

Actividad 2.2. Cálculo del índice de Shannon-Wiener

Descripción: este índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa (Pla, 2006).

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

Donde:

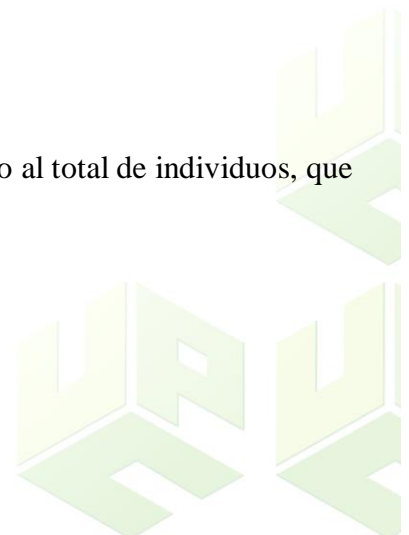
S = Número de especies

Pi = Proporción de individuos de la especie i con respecto al total de individuos, que surge de:

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

Donde

ni = Número de individuos de la especie i



N = Número total de individuos de todas las especies (Pla, 2006)

Tabla 22

Índice de Shannon-Wiener

Nombre de la especie		Número de individuos de la especie	Numero total de individuos de todas las especies	Índice de Shannon-Wiener
Árbol No. 1	Foliáceo	1	9	-0,24
	Crustáceo	8		-0,10
Árbol No. 2	Foliáceo	6	6	0
	Crustáceo	0		0
Árbol No. 3	Foliáceo	3	7	-0,36
	Crustáceo	4		-0,32
Árbol No. 4	Foliáceo	0	5	0
	Crustáceo	5		0
Árbol No. 5	Foliáceo	4	4	0
	Crustáceo	0		0
Árbol No. 6	Foliáceo	2	6	-0,37
	Crustáceo	4		-0,27

Fuente: Autores, 2023

El índice de Shannon-Wiener reveló que los árboles en estudio están con un valor bajo de diversidad por tener un resultado menor a dos; concluyendo además que existe mayor más diversidad de especies líquénicas en los árboles No. 3 y 6, con respecto a los demás arboles evaluados.

El índice de Shannon nos indica de manera general que la zona presenta valores de diversidad de especies relativamente baja asociado a la contaminación atmosférica presente en el área la cual produce una reducción y desaparición considerable de los líquenes.

7.1.2 ETAPA 3: Formular estrategias de gestión ambiental que permitan mejorar la calidad del aire en la zona de estudio

Actividad 3.1. Estrategias de gestión ambiental

Teniendo en cuenta los resultados del nivel de contaminación se procedió al diseño de las estrategias que se requieren para hacerle frente a la contaminación encontrada, a continuación, se presenta la línea de acción:

Tabla 23.

Líneas de acción según importancia del impacto.

Líneas de acción según el nivel de contaminación	
Muy alta	Plan de descontaminación de carácter urgente
Alta	Medidas en las fuentes móviles y fijas
Moderado	Planificación y gestión del uso del suelo
Baja	Recomendaciones a las instituciones educativas sobre la calidad del aire
Muy baja	salud ambiental y educación ambiental

Fuente: Autores, 2021

Estrategia 1: Uso obligatorio de la Revisión Tecno Mecánica y emisión de contaminantes de vehículos

Objetivos: Controlar el estado mecánico y de emisión de contaminantes de los vehículos que transiten por el área objeto de estudio, con el propósito de garantizar la disminución de la contaminación presente en la zona.

Metas: Que todos los vehículos que transiten por el área cuenten Revisión tecno mecánica y de gases

Actividades

- Inventario de vehículos que transitan por la zona
- Controles permanentes de policía de tránsito en la zona
- Verificación del cumplimiento de la Revisión tecno mecánica y de gases
- Aplicación de comparendos de tránsito
- Aplicación de comparendos ambientales

Responsable: Policía de tránsito, Alcaldía Municipal

Estrategia 2: Educación y sensibilización ambiental

Objetivos: Fomentar en la ciudadanía el cuidado y preservación del ambiente

Metas: Que la población aledaña al área de estudio se sensibilice frente a la contaminación presente en el área y establezca acciones enmarcadas en el cuidado y preservación de los recursos naturales

Actividades

- Jornadas de sensibilización
- Talleres prácticos y didácticos
- Entrega de folletos y piezas
- Desarrollo de jornadas de limpieza

Responsable: Alcaldía Municipal, Corpocesar

Estrategia 3: Implementación del día sin automóvil



Objetivo: Disminuir las concentraciones de gases contaminantes asociados a las fuentes móviles que transitan en la Ciudad de Valledupar.

Meta: Que una vez al año no se realice el uso de automóviles dentro de la ciudad.

Actividades

- Ordenanza del día sin automóvil a través de acto administrativo expedido por la Alcaldía Municipal
- Vigilancia y control sobre el cumplimiento del acto administrativo
- Aplicación de comparendos de tránsito y ambientales
- Fomentar el uso de transporte publico y bicicletas

Responsable: Alcaldía Municipal, Corpocesar



8. CONCLUSIONES

A partir del desarrollo de la presente investigación es posible concluir, en primera instancia que todas las zonas seleccionadas cuentan con alto flujo vehicular ya que es una avenida principal donde a diario circulan gran cantidad de fuentes móviles, siendo el árbol 1 el más cercano a la rotonda del obelisco.

Para la identificación de los árboles objetos de estudio se realizó la revisión de información bibliográfica sobre especies florísticas urbanas en la Ciudad de Valledupar, luego se realizó la primera visita de campo a las diferentes áreas de muestreo verificando la correlación entre las especies mencionadas y descritas en el documento implementación de estrategias de educación ambiental y de arborización en la ciudad de Valledupar expedido por Corpocesar, como resultado a esta actividad, Oití, Cassia de siam y Uva brasilera.

Del mismo modo, es posible indicar que de los 6 árboles seleccionados 4 de ellos corresponden a la especie *Licania tomentosa* denominado comúnmente “Oití” perteneciente a la familia *Chrysobalanaceae*, originaria del este y sur de Brasil e introducido en la Ciudad de Valledupar, los cuales toleran temperaturas desde 28 °C a 37°C; Por otro lado, se encuentra 1 árbol de la especie *Syzygium cumini* es un árbol tropical de hoja perenne de la familia de las *Myrtaceae* y por último, 1 árbol de *Senna siamea* es una legumbre en la subfamilia *Caesalpinioideae* nativa del sur y sureste de Asia.

Del anterior análisis es posible concluir que, en total se encontraron 2 biotipos de líquenes; biotipo 1 foliáceo blanco y el biotipo 2 crustáceo gris, siendo este último el de mayor frecuencia; Del mismo modo es posible señalar que, la familia *Physciaceae* presenta la mayor riqueza especies, seguida de la familia *Parmeliaceae*. La especie más frecuente, encontrada en todos los árboles: *Physconia grisasea* seguida de *Flavopormelia Caperata*.

Los árboles No. 2, 4, 5 y 6 están cerca de las vías de alto tráfico, se encuentran localizados en áreas con poca vegetación, lo que ocasiona que con el tiempo se conviertan en áreas desérticas de líquenes con IPA bajos, se caracterizan por presentar la menor diversidad liquénica con resultados poco favorables en cuanto al índice de calidad del aire.

El Árbol No. 1 se caracterizó por presentar mayor diversidad liquénica comparada con los otros árboles, su IPA es moderada, en cuanto al Árbol No. 3 presenta un IPA relativamente muy bajo, indicándonos que su área se encuentra libre de contaminantes atmosféricos que afectan a los bioindicadores como el líquen.

El índice de Shannon-Wiener reveló que los árboles en estudio están con un valor bajo de diversidad por tener un resultado menor a dos; concluyendo además que existe mayor diversidad de especies liquénicas en los árboles No. 3 y 6, con respecto a los demás árboles evaluados, indicando de manera general que la zona presenta valores de diversidad de especies relativamente baja asociado a la contaminación atmosférica presente en el área la cual produce una reducción y desaparición considerable de los líquenes.



RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el estudio del IPA y el índice de SHANON WIENER de manera periódica (1 vez al año) con el fin de obtener información actualizada del estado de la calidad del aire en la Avenida Los Militares.

Se recomienda Ampliar la cobertura de las zonas de estudio con el fin de analizar a mayor escala la calidad del aire en diferentes zonas de la Ciudad y así realizar una comparación de los datos obtenidos en las diferentes áreas, los cuales variarán dependiendo de la ubicación de la zona de estudio y la congestión vehicular que se presente allí permitirá determinar el comportamiento de los contaminantes de manera más puntual.



9. BIBLIOGRAFIA

- Arias, C., & Brix, H. (2003). artificiales para el tratamiento de aguas residuales Abstract, 17–24.
- Acevedo, S y Charry, Y. (2018). Líquenes como bioindicadores de calidad del aire. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali.
- Barreno Rodríguez, E., & Pérez Ortega, S. (2003). Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Asturias. KRK ediciones.
- Baltanás, R. (2000). Empleo de bioindicadores en estudios de evaluación de la calidad ambiental Recuperado de: <http://www.uco.es/congresos/apoidea/pdf/conferencia-empleobioindicadores.pdf>
- Barreno, E., & Perez, S. (2003). Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Asturias. Oviedo: KRK Ediciones.
- Carrero, C y Rodríguez T. (2019). Evaluación de la eficiencia de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire del kilómetro 3 al 4 de la vía Villavicencio – Acacias. (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomas. Bogotá, Colombia.
- Casares, M. (2006). introducción a los líquenes Cap 7. Granada: <https://www.researchgate.net/publication/259638914>.
- Cabrera, S. & Giacobone, G. (2010). Monitoreo de Líquenes como Bioindicadores de Contaminación (p. 25). Buenos Aire: Ministerio de Ambiente y Espacio Público.
- Camilloni, I., y Vera, C. (2007). Ciencias Naturales: La Atmósfera. Brasil.

Cansaco, A., Anze, R., & Franken, M. (2006). Comunidades de líquenes :indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. Acta Nova, 286-307.

Chaparro, M., y Aguirre, J. (2002). Hongos Liquealizados. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.

Cohn, G. y Sunum, R. (2012). Líquenes de Guatemala: Historia natural y lista actualizada. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.

Coronado, K y Castiblanco, D. (2019). líquenes como bioindicadores en la evaluación de la calidad del aire en cinco colegios públicos ubicados en las principales vías de la ciudad de Bogotá d.c. (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Bogotá, Colombia.

Espinoza, E (2018) “determinación de la dispersión geográfica de los gases NOX, co, so2 y partículas (pm10), emitidos por una central térmica aplicando el modelo AERMOD”. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Tecnológica De Lima Sur. Villa, El Salvador.

Figueroa, E y Méndez, A. (2015). Evaluación de la calidad del aire en 8 zonas de la ciudad de Bogotá utilizando los líquenes como bioindicadores. (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.

García L. y Rubiano O. (1984). Comunidades de líquenes como indicadores de niveles de calidad del aire en Colombia. Cont. Amb. 8, 73–90.

Gelambi, M. (2019). Líquenes: Características, tipos y especies. Recuperado de:
<https://www.lifeder.com/liquenes/>

- Herk C. (2001). Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of changes in epiphytic lichen composition in space and time. *Lichenol.* 33, 419–441.
- Huamán, M. (2016). Diversidad de líquenes cortícolas y calidad de aire en el distrito de Huancayo. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.
- Hawksworth, D. L., Iturriaga, T., & Crespo, A. (2005a). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 22(2), 71-82.
- R. Lijteroff, L. Lima, & B. Prieri. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 2, 111-120.
- Rubiano, L., & Chaparro, M. (2006). Delimitation of Atmospheric Isocontamination areas in the Universidad Nacional de Colombia Campus by analysis of bioindicators (Epiphytic Lichens) (Tesis de grado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Sampieri, R., Fernández C., C., Baptista L., P., & Collado., H. (2014). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México: McGraw Hill.
- Nimis, P. L., Scheidegger, C., & Wolseley, P. A. (2002). Monitoring with Lichens—Monitoring Lichens. En NATO Science Series. Monitoring with Lichens—Monitoring Lichens (pp. 1- 4). https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7_1.
- Nimis, y Purvis. (2000). Monitoring lichens as indicators of pollution. En *Monitoring with lichens* (pp. 7-10).

Organización Mundial de la Salud (2018). Calidad del aire y salud. Recuperado de: [Calidad del aire ambiente \(exterior\) y salud \(who.int\)](#)

Pérez-Cardenas, J. E. (2017). La Calidad Del Aire En Colombia: Un Problema De Salud Pública: 78 Un Problema De Todos. Biosalud, 16(2), 5–6.

Quispe, K., Ñique, M y Chuquilin, E. (2013). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, Perú. Investigación y Amazonía 2013; 3 (2): 99-104.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (UNAD), (2012). Definición de indicadores ambientales por ing. Rafael moré Jaramillo. Recuperado de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358024/modulo_FINAL.pdf

Valencia, M. C. de. (2002). Hongos liquenizados. Univ. Nacional de Colombia

