



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DE
LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN TRES PARQUES DEL CANTÓN
LATACUNGA”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniera Ambiental

Autora:

Zambrano Sandoval Mayra Stephanie

Tutor:

Daza Guerra Oscar René

LATACUNGA – ECUADOR

Febrero 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Mayra Stephanie Zambrano Sandoval, con cédula de ciudadanía No. 172752267-2, declaro ser autora del presente proyecto de investigación: “Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de líquenes como bioindicadores en tres parques del cantón Latacunga”, siendo el Ingeniero Mg. Oscar René Daza Guerra, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 16 febrero de 2023

Mayra Stephanie Zambrano Sandoval

Estudiante

C.C: 172752267-2

Ing. Oscar René Daza Guerra, Mg.

Docente Tutor

C.C: 172752267-2

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **ZAMBRANO SANDOVAL MAYRA STEPHANIE**, identificada con cédula de ciudadanía **172752267-2** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el **Dr. CRISTIAN FABRICIO TINAJERO JIMÉNEZ**, en calidad de Rector, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de **Ingeniería Ambiental**, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de líquenes como bioindicadores en tres parques del cantón Latacunga**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2018 - Marzo 2019.

Finalización de la carrera: Octubre 2022 – Marzo 2023.

Aprobación en Consejo Directivo: 30 de noviembre del 2022.

Tutor: Ingeniero Mg. Oscar René Daza Guerra.

Tema: “Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de líquenes como bioindicadores en tres parques del cantón Latacunga”.

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 16 días del mes de febrero del 2023.

Mayra Stephanie Zambrano Sandoval

LA CEDENTE

Dr. Fabricio Tinajero Jiménez

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DE LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN TRES PARQUES DEL CANTÓN LATACUNGA”, de Zambrano Sandoval Mayra Stephanie, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 16, de febrero del 2023

Ing. Oscar René Daza Guerra, Mg.

DOCENTE TUTOR

CC: 040068979-0

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Zambrano Sandoval Mayra Stephanie, con el título de Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DE LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN TRES PARQUES DEL CANTÓN LATACUNGA”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 16 de febrero del 2023

Lector 1 (Presidente)

Ph.D. Patricio Clavijo Cevallos

CC: 050144458-2

Lector 2

Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo, Mg.

CC: 050220516-4

Lector 3

Ing. José Andrade Valencia, Mg.

CC: 050252448-1

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por ser el dador de vida, fe y esperanza. Por ser mi guía, inspiración y brindarme sabiduría para lograr mis objetivos a lo largo del camino personal, académico, laboral y espiritual.

A mis padres María y Ramón, mi hermana Andrea por su apoyo incondicional, por estar a mi lado en las victorias y en las adversidades que he marcado a lo largo de mi vida, por estar presentes y ser mi soporte, mi farol de luz en los momentos más cruciales de mi formación académica, les agradezco por su compromiso, consejos, fortaleza y admiración a lo largo de mi vida universitaria.

De manera especial agradezco a mi alma mater la Universidad Técnica de Cotopaxi, a mis docentes, en especial a mi Tutor por haberme guiado, no solo en la elaboración de este proyecto investigativo sino a lo largo de mi carrera universitaria, han trazado el camino con su conocimiento, apoyo, amistad y compromiso para poder desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis conocimientos y valores personales y profesionales.

Finalmente, y no menos importante agradezco a todos los docentes, compañeros, amigos y futuros colegas quienes forman parte de este momento de mi vida y quienes me apoyaron a lo largo de este trayecto académico que está próximo a terminar, su sabiduría, fortaleza y apoyo incondicional me inspiró a crecer como persona, mi eterna admiración y gratitud.

Mayra Zambrano.

DEDICATORIA

Este proyecto investigativo se lo dedico a mi hija, mi luz, mi inspiración mi pequeña Gemita Victoria por enseñarme cada día, por darme la fuerza y valentía, por llenar mi vida de amor y felicidad. Te admiro, te bendigo y doy gracias a Dios y a la vida por permitirme ser tu madre. Lejos de ser yo tu ejemplo tú eres el mío, he aprendido más de ti en estos años, eres unión, amor, protección, valentía. Esta etapa universitaria fue dura para las dos, la vida nos puso a prueba muchas veces, tuvimos que adaptarnos a muchas situaciones y aprender juntas en el camino. Largas horas de estudio, desvelos y madrugadas pusieron al límite nuestra fe y resistencia y en todo este proceso me enseñaste como se vive con alegría y esperanza que todo será mejor mañana. Crecimos juntas y aprendemos en el proceso, este logro es tuyo tiene tu nombre y apellido porque fuiste, eres y serás mi mejor proyecto de vida, eres lo más valioso mi joya preciosa, el camino recién empieza y quiero recorrerlo de tu mano.

Mayra Zambrano.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

Título: “Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de líquenes como bioindicadores en tres parques del cantón Latacunga”

AUTOR: Zambrano Sandoval Mayra Stephanie

RESUMEN

En la actualidad la contaminación del aire representa un gran impacto para el ambiente y la salud, siendo un problema muy significativo en especial en las zonas urbanas debido al crecimiento poblacional, la producción industrial y las emisiones de CO₂ producto de la combustión de automotores e industrias que utilizan combustibles derivados del petróleo. Se aplicaron la investigación descriptiva, bibliográfica e inductiva con el fin de describir y analizar el panorama actual de los efectos de la contaminación atmosférica y la importancia del uso de organismos vivos como bioindicadores de calidad del aire, además la investigación es no experimental y transeccional. El presente trabajo tuvo como objetivo principal evaluar la calidad del aire en tres parques del cantón Latacunga usando el Índice de Pureza Atmosférica (IPA), este método se basa en el uso de líquenes como bioindicadores mediante la identificación de alteraciones que produce la contaminación atmosférica sobre estas comunidades. De acuerdo al método empleado se identificó al liquen *Ramalina* Sp como especie sensible a la contaminación ya que al no poseer estructuras morfológicas de eliminación de sustancias tóxicas al acumularse los contaminantes causan la muerte de esta especie, mientras que las especies *Candelaria concolor*, *Parmotrema austrosinense*, *Parmelia* Sp y *Heterodermia* presentan sensibilidad media hasta llegar a ser tolerantes a la contaminación atmosférica, esto se debe a que presentan síntomas de acumulación de material particulado y otros contaminantes ya que las plantas no vasculares son resistentes gracias al protoplasma de la célula y por la madurez de los talos de algunos ejemplares liquénicos. La abundancia de las comunidades liquénicas reflejan la calidad del aire de un área en específico solo como método cualitativo ya que no se puede comprobar que contaminantes afectan a la zona estudiada y en que cantidad estos se presentan. En este caso al encontrarse los parques Vicente León, San Francisco y La Filantropía en las mismas condiciones atmosféricas, mismas actividades comerciales, mismo cuidado y mantenimiento de los parques e igual flujo vehicular se determina que la contaminación atmosférica del cantón Latacunga presenta valores del intervalo de 4-6 del Índice de Pureza Atmosférica dando así la categoría III considerada como Contaminación Media en las zonas evaluadas.

Palabras claves: *Análisis, contaminación antrópica, indicadores biológicos, organismos vivos, zona urbana.*

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL
RESOURCES

Theme: "Evaluation of Air Quality Through the Use of Lichens as Bioindicators in Three Parks in Latacunga Canton."

Author: Zambrano Sandoval Mayra Stephanie

ABSTRACT

At present, air pollution has a significant impact on the environment and health, being a significant problem, especially in urban areas due to population growth, industrial production, and CO₂ emissions from the combustion of motor vehicles and industries that use petroleum-based fuels. Due to the nature of the research objectives, descriptive, bibliographic, and inductive research was applied in order to describe and analyze the current panorama of the effects of atmospheric pollution and the importance of the use of living organisms as bioindicators of air quality in addition to the non-experimental and trans-sectional methodologies. The results obtained made it possible to determine the level of atmospheric pollution in the canton of Latacunga. The main objective of this work was to evaluate the air quality in three parks in Latacunga using the Atmospheric Purity Index (API). This method is based on lichens as bioindicators by identifying alterations produced by atmospheric pollution in these communities. According to the method used, the lichen *Ramalina* Sp was identified as a species sensitive to pollution, as it does not have morphological structures for eliminating toxic substances when pollutants accumulate, causing the death of this species. In contrast, the species *Candelaria concolor*, *Parmotrema austrosinense*, *Parmelia* Sp and *Heteroderma concolor*, *Parmelia* Sp and *Parmelia* Sp were also identified as sensitive to pollution, *Parmelia* Sp and *Heteroderma* show medium sensitivity to become tolerant to atmospheric pollution, this is since they show symptoms of accumulation of particulate material, given that the resistance of the cell protoplasm and the maturity of the stems of these species determines the tolerance of non-vascular plants to different pollutants. The abundance of the lichen community, by itself, can express the air quality of a specific area as a qualitative method. In this case, as the Vicente León, San Francisco, and La Filantropía parks have the same atmospheric conditions, the same commercial activities, the same care and maintenance of the parks, and the same vehicular flow, it is determined that the atmospheric Contamination of the Latacunga canton presents values in the interval of 4-6 of the Atmospheric Purity Index, giving category III considered as Medium Contamination in the evaluated zones.

Keywords: *Analysis, Anthropic Pollution, Biological Indicators, Living Organisms, Urban Area.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vi
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
ÍNDICE DE CONTENIDO	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
5. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
6. OBJETIVOS	5
6.1. General	5
6.2. Específicos	6
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	7
8.1. La Atmósfera.....	7
8.2. Estructura de la atmósfera	7
8.2.1. Tropósfera.....	7
8.2.2. Estratósfera	7

8.2.3.	Mesósfera.....	7
8.2.4.	Termósfera o ionósfera	8
8.2.5.	Exósfera.....	8
8.2.6.	Magnetósfera.....	8
8.3.	Calidad del aire.....	8
8.4.	Contaminación atmosférica y del aire	9
8.5.	Principales contaminantes del aire y su clasificación.....	9
8.5.1.	Por su origen	9
8.5.2.	Por su naturaleza	11
8.5.3.	Fuentes de contaminación del aire	11
8.6.	Efectos de la contaminación atmosférica sobre los seres vivos	11
8.7.	Bioindicación	13
8.7.1.	Tipos de Bioindicadores	14
8.7.2.	Ventajas y Desventajas de los Bioindicadores.....	15
8.7.3.	Requisitos que deben cumplir los bioindicadores	15
8.8.	Líquenes como bioindicadores	16
8.8.1.	Líquenes	16
8.8.2.	Ecología de los líquenes.....	16
8.8.3.	Uso de los Líquenes como Bioindicadores.....	16
8.9.	Metodología de indicación biológica de contaminación ambiental mediante uso de líquenes	17
9.	PREGUNTA CIENTÍFICA	18
9.1.	Planteamiento de la pregunta científica.....	18
9.2.	Validación de la pregunta científica.....	19
10.	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	19
10.1.1.	Ubicación.....	19
10.1.2.	Medio Físico	20

10.1.3.	Medio Biótico.....	22
10.1.4.	Acceso y uso de espacio público	22
10.1.5.	Estaciones de muestreo	23
11.	METODOLOGÍA	24
11.1.	Metodologías aplicadas en la investigación.....	24
11.2.	Población	25
11.3.	Instrumentos.....	25
11.4.	Procedimiento	26
11.4.1.	Fase de campo.....	26
11.4.2.	Análisis de datos.....	28
12.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	29
12.1.	Riqueza de Líquenes.....	29
12.2.	Frecuencia de especies.....	31
12.3	Sensibilidad y tolerancia de las especies líquenes a la contaminación atmosférica	32
12.3.	Cálculo del Índice de Pureza Atmosférica IPA.....	33
12.4.	Discusión	35
13.	IMPACTOS	37
13.1.	Ambiental	37
13.2.	Científico	38
13.3.	Económico	38
14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	38
14.1.	Conclusiones	38
14.2.	Recomendaciones	39
15.	BIBLIOGRAFÍA.....	40
16.	ANEXOS.....	46
16.1.	Anexo A. -Permiso Ambiental	46

16.2.	Anexo B. –Registro Fotográfico.....	47
16.3.	Anexo C. – Cálculo del IPA.....	48
16.4.	Anexo D. -Aval de Traducción.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Beneficiarios del Proyecto.....	4
Tabla 2 Actividades y Sistemas de Tareas.....	6
Tabla 3 Principales efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud.....	12
Tabla 4 Capacidad de respuesta de los bioindicadores dependiendo de los factores .	14
Tabla 5 Tabla Climática, Datos Históricos	20
Tabla 6 Descripción de las estaciones de muestreo	23
Tabla 7 Valores de IPA para la zonificación.....	29
Tabla 8 Lista de especies según el tipo morfológico	30
Tabla 9 Factor de tolerancia Q_i	33
Tabla 10 Categorías de IPA.....	33
Tabla 11 Cálculo de IPA	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud.	12
Figura 2. -Tipos de climas del cantón Latacunga.....	21
Figura 3. -Rejilla para cartografía de líquenes.	27
Figura 4. -Porcentaje de tipo de especies de líquenes.....	31
Figura 5. -Número de especies presentes en cada estación de muestreo.....	32
Figura 6. -Número y tipo de especies presentes en cada estación de muestreo.	32
Figura 7. - Factor de tolerancia Qi y relación con la distancia de la avenida.	34
Figura 8. -Valores de IPA por estación de muestreo	35

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DE LÍQUENES
COMO BIOINDICADORES EN TRES PARQUES DEL CANTÓN LATACUNGA”

Fecha de inicio: octubre de 2022

Fecha de finalización: febrero de 2022.

Lugar de ejecución: Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia: Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

Carrera que auspicia: Carrera de Ambiente.

Proyecto de investigación vinculado:

“DETERMINACIÓN DE LOS CONTAMINANTES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN
DEL PARQUE AUTOMOTOR A GASOLINA EN EL CASCO URBANO DE LA CIUDAD
DE LATACUNGA”

Equipo de Trabajo:

Tutor de Titulación: Ing. Oscar René Daza Guerra, Mg.

Lectores del Proyecto de Investigación:

Lector 1: PhD. Patricio Clavijo Cevallos (presidente).

Lector 2: Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo Mg.

Lector 3: Ing. José Antonio Andrade Valencia Mg.

Estudiante: Mayra Stephanie Zambrano Sandoval

Área de Conocimiento:

Área: Servicios

Sub área: Protección del Medio Ambiente y Control de la Contaminación Atmosférica y del Agua.

Línea de investigación: Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

Sub líneas de investigación de la Carrera: Manejo y Conservación del Recurso Aire.

Línea de vinculación: Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética para el desarrollo humano y social.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La calidad de vida depende de muchos factores importantes y tiene relación directa con la calidad de aire que respiramos, por consiguiente, es importante los estudios investigativos sobre esta temática debido a la disminución de dicha calidad por la constante emisión de contaminantes que existe por causa de gases generados por las diferentes actividades antrópicas, la más frecuente es planificación territorial de los asentamientos humanos, el incremento del flujo vehicular, quema de maderas, incremento de actividades productivas industriales, uso de técnicas y tecnologías obsoletas en la producción de bienes y servicios, entre otras actividades que aceleran el deterioro de la calidad del aire (Caiza, 2020).

Latacunga es un sitio de sensibilidad a los elementos contaminantes contemplando principales rasgos geográficos, topográficos y, sobre todo por el desarrollo industrial. El cantón al ubicarse a 2.860 metros sobre el nivel del mar, presenta menor cantidad de oxígeno provocando que los equipos motorizados consuman más combustible aumentando los niveles de contaminación. Debido a esta problemática es necesario analizar mediante la investigación de la información científica reciente sobre el uso de líquenes como bioindicadores de la calidad de aire, en especial en zonas urbanas tomando en consideración que son lugares que han sufrido cambios forzosos gracias a actividades antrópicas como: quema de combustibles fósiles, la eliminación de desechos urbanos e industriales, excesivo uso vehicular, crecimiento poblacional, incremento de la producción industrial con tecnologías obsoletas, mismas que han degenerando la calidad de aire a lo largo de los años.

Para el desarrollo de la presente investigación se aplicaron las investigaciones descriptiva, bibliográfica e inductiva con el fin de describir y analizar el panorama actual de los efectos de la contaminación atmosférica y la importancia del uso de organismos vivos utilizados como bioindicadores de calidad del aire, además de las metodologías no experimental y transeccional, este análisis de la calidad del aire se utiliza como alternativa económica, de fácil acceso y confiable para determinar el nivel de contaminación atmosférica en el cantón Latacunga, especialmente en zonas con alto impacto de contaminación ambiental debido a las actividades antrópicas que se originan alrededor de la zona de estudio, Los lugares elegidos para la investigación fueron los parques: Vicente León, La Filantropía y San Francisco con el

objetivo de establecer niveles y zonas de contaminación atmosférica, además de la sensibilidad y la tolerancia que tienen ciertas especies de líquenes frente a factores ambientales y antropogénicos de contaminación, misma que se desarrolló mediante la sistematización de la información obtenida considerando el rol fundamental del uso de organismos vivos como los líquenes como bioindicadores ya que sus mecanismos fisiológicos son eficaces para la absorción de agua y nutrientes de la atmósfera a través de su superficie así como con capaces de captar contaminantes atmosféricos (Cubas *et al.* 2010).

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El aire que se respira tiene una relación directa con la calidad de vida, por consiguiente, las investigaciones actuales y futuras sobre esta problemática deben basar sus análisis en sistemas que sean confiables y que complementen los resultados obtenidos reduciendo tiempos y costos en su monitoreo y obtención de datos para su posterior interpretación que permita empezar a establecer límites máximos permisibles sobre la calidad atmosférica. Es así que el presente trabajo establece un aporte científico para investigadores, docentes y/o estudiantes interesados en establecer lineamientos de muestreo de ejemplares liquénicos utilizados como bioindicadores de contaminación ambiental.

La presente investigación es importante ambiental y socioeconómicamente ya que examina y desarrolla el IPA (Índice de Pureza Atmosférica) como método alternativo y confiable para valorar el nivel de contaminación del aire en el cantón Latacunga provincia de Cotopaxi, cuyos resultados son necesarios y de gran importancia para las investigaciones científicas actuales y futuras ya que es un método que aún no ha sido aprovechado ampliamente en Ecuador al ser desconocido, mismo método ya ha mostrado buenos resultados en diversos países como: Argentina (Santoni & Lijteroff, 2006), Bolivia (Canseco *et al.* 2006) Colombia (Quijano *et al.* 2021) (págs. 1501-1509), entre otros, por lo que se pretende que en nuestro país sea fomentado e incrementado como aporte para la ciencia.

La contaminación del aire se ha convertido en un tema de preocupación, sobre todo en los sectores urbanos, en donde se considera una amenaza para el ser humano causando graves problemas a la salud, que según la (OMS, 2016) las muertes del 94% de la población mundial se deben a enfermedades leves que no son transmisibles y a enfermedades graves como infecciones respiratorias, problemas cardiovasculares, neumopatías obstructivas hasta llegar a enfermedades crónicas como cáncer de pulmón.

Dentro de los diferentes recursos empleados para el monitoreo de la calidad del aire los líquenes han sido utilizados, desde hace años, como una técnica de monitoreo de control temporal de las emisiones de contaminantes emanados a la atmósfera (Caiza, 2020). Esto permite sugerir una nueva alternativa de monitoreo de la calidad de aire con costos asequibles para investigadores, entidades de control públicas o privadas que utilicen a ejemplares líquénicos como bioindicadores ya que estas especies dependen de los nutrientes que absorben del aire por lo tanto se encuentran expuestos a los contaminantes presentes en la atmósfera.

El presente proyecto de investigación pretende analizar el Índice de Pureza Atmosférica como metodología que pueda sustentar futuras investigaciones, sobre el papel fundamental de los líquenes como bioindicadores de calidad de aire causada en su mayoría en zonas urbanas. Además, permite comprender la relación entre la sociedad y el estado actual de la contaminación que se ha ido presentado durante el paso de los años y como se ha ido fomentando el uso de organismos vivos como una técnica eficiente de monitoreo de calidad ambiental como método complementario para la obtención de resultados más precisos.

Finalmente, la investigación contribuyó con información útil para encaminarse a mejorar la calidad de vida y del aire mediante acciones de prevención, control y atenuación a problemas que afectan a la naturaleza como a la calidad de vida, acciones que deben ser propuestas tanto por el sector público, autoridades ambientales, como en el sector privado y a quienes sea de su interés aportar a una mejor calidad de vida, además la investigación encamina a futuros proyectos que tengan el mismo objetivo mediante la presentación de los resultados obtenidos como fuente de consulta.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Tabla 1

Beneficiarios del Proyecto

Beneficiarios Directos		Beneficiarios Indirectos	
Estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental.		Cantón Latacunga	
Hombres	127	Hombres	82.301
Mujeres	186	Mujeres	88.188
Total	312 Estudiantes	Total	170.489 Habitantes

Fuente: (secretaría Facultad CAREN, 2023) e (INEC, 2010). **Elaborador por:** Zambrano Mayra, 2022.

5. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

La calidad del aire es uno de los problemas ambientales que más afectan en la actualidad debido a su severidad a nivel mundial, es así que:

Según la Organización Mundial de la Salud se ha elaborado un nuevo modelo de calidad del aire que confirma que el 92% de la población mundial vive en lugares donde los niveles de contaminación exceden los límites fijados por la Organización, este problema incrementa en zonas urbanas donde los habitantes están más expuestos a contaminación debido al crecimiento poblacional, a las actividades que se realizan a su alrededor, al incremento del uso de vehículos, entre otros factores que producen una elevada emisión de contaminantes a la atmósfera (OMS, 2016).

Según Reinoso Garzón (2018) el problema de la investigación reside en que la Organización Mundial de la Salud declara a Latacunga como la cuarta ciudad más contaminada del Ecuador después de Santo Domingo, Milagro y Quito. La contaminación del aire en el cantón se debe a la utilización de combustibles de baja calidad, la eliminación de desechos urbanos e industriales que genera contaminantes ambientales como: partículas sedimentables, partículas contaminantes del aire que son de diferentes tamaños, siendo las más peligrosas para la salud el material particulado $PM_{2,5}$ y PM_{10} (Segura, 2013).

Aunque existe mucha información dispersa sobre el uso de organismos vivos como los líquenes como bioindicadores, en Ecuador se ha podido constatar que no existen muchas investigaciones que ahonden en el índice de Pureza Atmosférica como método alternativo, confiable y seguro que permita establecer parámetros y niveles de contaminación atmosférica del cantón Latacunga y del país, por consiguiente, a lo largo de los años dicha temática ha ido creciendo a pasos muy lentos dentro del campo investigativo ambiental y científico en general.

La presente investigación pretende analizar la información obtenida para comprender el papel fundamental de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire.

6. OBJETIVOS

6.1.General

- Establecer la calidad del aire mediante el uso de líquenes como bioindicadores en tres parques del cantón Latacunga.

6.2. Específicos

- Realizar un listado de las especies de líquenes existentes en los parques: Vicente León, La Filantropía, San Francisco.
- Determinar las especies de líquenes sensibles y tolerantes a la contaminación atmosférica.
- Evaluar la calidad del aire y el nivel de contaminación existente en las zonas de estudio mediante cálculo del Índice de Pureza Atmosférica.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2

Actividades y Sistemas de Tareas

OBJETIVO	ACTIVIDAD	RESULTADO	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Realizar un listado de las especies de líquenes existentes en los parques: Vicente León, La Filantropía, San Francisco.	Visita In-Situ a los parques estudiados	Establecimiento de las estaciones de muestreo.	Lista de posibles líquenes encontrados con nombres acorde a la observación de sus características.
	Toma de datos.	Descripción del área de estudio.	Base de datos.
	Llenado la libreta de campo.	Frecuencia y cobertura de bioindicadores.	Libreta de campo.
Determinar especies de líquenes sensibles y tolerantes a la contaminación atmosférica.	Búsqueda de artículos científicos de acuerdo a la temática.	Bibliografía relevante y actualizada.	Lista de especies de líquenes encontradas.
	Creación de un listado de los líquenes encontrados en la zona de estudio.	Las especies registradas.	
Evaluar la calidad del aire y el nivel de contaminación existente en las zonas de estudio mediante cálculo del Índice de Pureza Atmosférica.	Cálculo del IPA para cada estación de muestreo.	Intervalo y clasificación de la contaminación.	Hoja de cálculo de IPA.

Elaborador por: Zambrano Mayra, 2022.

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1. La Atmósfera

Es una capa homogénea formada por gases que se concentra alrededor de la tierra, está formada por gases cuyas características son muy estables ya que la proporción en la que se encuentran es prácticamente igual, está compuesta principalmente de Nitrógeno (78,08%) y Oxígeno (20,95%), estos gases suponen el 99% del volumen total, el 1% restante corresponde a otros elementos que se encuentran en cantidades inferiores, distribuidos de la siguiente manera Dióxido de Carbono (0,035%), Argón (0,93%), además en mínimas cantidades están gases como el Neón, el Helio, entre otros que corresponden apenas al (0,00001%) (Belar, 2007). Todos estos gases que conforman la atmósfera se encuentran a una altitud promedio de 100,000 km de la Tierra, esto se debe a la fuerza de la gravedad (Calvo, 2002).

8.2. Estructura de la atmósfera

La atmósfera tiene una estructura dividida en seis capas que van desde el suelo hasta llegar al cielo como se detalla a continuación:

8.2.1. Tropósfera

Su espesor varía entre 9 km en los polos y 18 km en la línea ecuatorial, es la capa de la atmósfera donde se desarrolla la vida y se producen los fenómenos atmosféricos, esta capa termina en la tropopausa (Proyecto Biosfera, 2020). Según lo explica Cuevas Hernández (2019) el polvo en suspensión del primer se concentra en desiertos, volcanes y contaminación, las corrientes de aire convectivas son importantes en esta capa, resultantes de las diferencias de presión y temperatura que provocan la lluvia, el viento, las nubes.

8.2.2. Estratósfera

Se extiende desde la tropopausa a 15 km hasta la estratopausa a 50 km de altitud. En esta capa la temperatura oscila en relación a la altura llegando a los 0°C. Esta capa trabaja como escudo de protección ya que absorbe la radiación ultravioleta por medio de las partículas de ozono que se encuentran en esta capa. El aumento de temperatura en la estratosfera se debe a la presencia de ozono (O₃) (Daub & Seese, 1996).

8.2.3. Mesósfera

Esta capa se expande por encima de los 50 km, en la mesósfera la temperatura vuelve a descender hasta un mínimo de 85 °C a una altura de 80 km. Sobre esta capa se encuentra la mesopausa (GENERALITAT VALENCIANA, 2020).

8.2.4. Termósfera o ionósfera

Esta capa es llamada así ya que en la mayoría de las moléculas son ionizadas debido a que se impregnan de radiación solar con altas concentraciones de energía, en esta capa se descomponen las moléculas de nitrógeno y oxígeno gracias a la radiación ultravioleta que se absorbe en la termósfera causando que el nitrógeno y el oxígeno pierdan electrones, los cuales originan campos eléctricos por toda la capa (Daub & Seese, 1996).

8.2.5. Exósfera

Esta capa se forma a 600 km hasta llegar a los 800 km de altitud, mientras que los gases en estado atómico pueden alcanzar los 1,200 km, es la capa externa de la atmósfera representando el 1% de la masa total (GENERALITAT VALENCIANA, 2020). Esta capa tiene muy poca densidad de gases por lo que prácticamente es similar al espacio exterior (Cuevas Hernández, 2019).

8.2.6. Magnetósfera

La magnetósfera inicia a 500 km por encima de la termósfera y continua hasta llegar a los 600,000 km de altitud con dirección al sol (Zesta, 2018). Esta capa recubre la tierra y es aquí donde el campo magnético produce un escudo que protege a la tierra de vientos, partículas y de radiaciones ultravioletas, esta capa magnética ayudó en el desarrollo de la Tierra para poder ser un planeta apto para albergar vida (Cuevas Hernández, 2019).

8.3. Calidad del aire

Es la composición del aire y la capacidad de la atmósfera para determinadas funciones. La presencia o ausencia y la concentración de diversas sustancias son los principales determinantes de la calidad del aire. Así, la calidad del aire está indicada por la concentración o intensidad de contaminantes, la presencia o ausencia de microorganismos, la apariencia física, entre otros factores (Ministerio del Ambiente Perú, 2021).

Uno de los principales desafíos para mejorar los problemas ambientales es la reducción de contaminantes en el aire. Para comprender y resolver el problema, hay que entender que la mezcla de gases que componen el aire tiene una composición específica y que cualquier cambio puede ser perjudicial para el ambiente y los seres vivos.

Sosa (2011) explica que los principales contaminantes que se emiten al aire por acciones humanas son el óxido de azufre (SO_2), dióxido y monóxido de carbono (CO_2 y CO), algunos óxidos de nitrógeno (NO , NO_2), varias sustancias orgánicas, el amoníaco (NH_3) y el ozono (O_3),

estas sustancias causan afecciones al ambiente debido a la toxicidad de estos elementos por su reacción y por los productos que se obtienen durante su reacción (pág. 35).

8.4. Contaminación atmosférica y del aire

La entiende como contaminación atmosférica a la presencia de sustancias sean estas; sólidas, líquidas o gaseosas que se encuentran suspendidas en el aire, la contaminación es de origen natural o gracias a las actividades antrópicas, las sustancias contaminantes en cantidades mayores y con una durabilidad estimada son capaces de provocar afecciones a los seres vivos, a objetos, a las estructuras fabricadas por el ser humano o pueden llegar a provocar cambios ambientales como temperatura y clima (Cockerham & Shane, 1994).

La contaminación del aire representa un importante riesgo ambiental para la salud que afecta a todas las personas. Según estimaciones de 2019, la contaminación del aire en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 4,2 millones de muertes prematuras; esta mortalidad se debe a la exposición a materia particulada fina, que causa enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cánceres (OMS, 2022).

8.5.Principales contaminantes del aire y su clasificación

Los contaminantes del aire de clasifican en:

8.5.1. Por su origen

- **Contaminantes primarios.** - Los contaminantes primarios del aire son aquellos emitidos directamente desde una fuente de emisión ya sea de origen natural o de origen antropogénico hacia la atmósfera, estos pueden ser:
 - **Amoníaco (NH_3).** -Su principal fuente de contaminación está en la industria de los fertilizantes, el amoníaco es un gas inflamable y bastante tóxico que puede causar quemaduras en la piel y el sistema respiratorio, es el único contaminante cuya generación se mantiene estable (Vélez Benjumea, 2020).
 - **Óxido de Nitrógeno (NO_x).** - En este grupo se encuentran el óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno (NO) (NO_2). Proviene principalmente de procesos relacionados con la combustión como la generación de energía y los vehículos mecanizados. Además de procesos naturales como los incendios y las erupciones volcánicas que también emiten este tipo de contaminantes a la atmósfera (Vélez Benjumea, 2020).

- Dióxido de Azufre (SO₂). - Este contaminante llega a la atmósfera especialmente como consecuencia de actividades antrópicas relacionadas con la quema de carbón y petróleo. En algunos casos las erupciones volcánicas también aportan al contenido de dióxido de azufre en la atmósfera (Vélez Benjumea, 2020).
- Monóxido de Carbono (CO). - Es la consecuencia de una quema incompleta de materia orgánica y/o de combustibles fósiles. Su principal fuente de emisión son los vehículos motorizados, las cocinas, los fogones de gas y los sistemas de calefacción de los hogares (Vélez Benjumea, 2020).

Otras fuentes de contaminantes primarios que se debe tomar en cuenta son:

- Metales pesados. - Representan una alta peligrosidad por su poder acumulativo y ausencia de degradación en la naturaleza, como es el caso del plomo (Pb) y mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As) y cromo (Cr) (ENVIRAIOT, 2022).
- Partículas en suspensión (PM). - Están constituidas por polvo, polen, cenizas, partículas metálicas suspendidas en el aire. El material particulado tiene relación directa con el aumento de mortalidad y la morbilidad de la población en especial en las zonas urbanas. Las causantes de estas afecciones son principalmente las partículas de tamaño más fino como PM_{2.5} y PM₁₀ (ENVIRAIOT, 2022).
- Compuestos orgánicos volátiles (COVs). - Los compuestos orgánicos volátiles son sustancias tóxicas que pueden dar lugar a la formación de oxidantes fotoquímicos como el Ozono (ENVIRAIOT, 2022).
- **Contaminantes secundarios.** - Resultan de la interacción de los contaminantes primarios una vez emitidos a la atmósfera, entre las sustancias más conocidas está el ozono y los compuestos que dan lugar a la lluvia ácida:
 - Ozono troposférico. - Se forma por la interacción de diversos precursores (compuestos orgánicos volátiles, CO, NO_x, entre otros) en presencia de luz solar (ENVIRAIOT, 2022).

8.5.2. Por su naturaleza

- **Físicos, Químicos y Biológicos.** – los contaminantes físicos son concentraciones energéticas presentes en el ambiente, los contaminantes químicos son aquellos compuestos específicos que causan daños o alteraciones, mientras que los contaminantes biológicos son seres vivos que causan daños al ambiente y a otros seres vivos (Segura, 2013).

8.5.3. Fuentes de contaminación del aire

El aire que respiramos se contamina cuando se introducen sustancias distintas a las que lo componen naturalmente, o bien, cuando se modifican las cantidades de sus componentes, estos pueden ser:

- **Natural.** - Las fuentes naturales son resultado de actividades biológicas de la biósfera, por procesos propios de la naturaleza estas pueden ser las erupciones volcánicas, los incendios forestales naturales y algunos procesos que modifican la composición del aire (Espinosa, 2001).
- **Antrópica.** -Se deriva de las actividades del ser humano como la quema de combustibles fósiles en procesos industriales o uso de vehículos, entre otros (AQUAe, 2019).

8.6. Efectos de la contaminación atmosférica sobre los seres vivos

La OMS estima que en 2019 aproximadamente el 37% de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación del aire se debieron a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, el 18% y el 23% de las muertes se debieron a enfermedades pulmonares obstructivas crónicas e infecciones respiratorias agudas, respectivamente, y el 11% de las muertes se debieron a cáncer de las vías respiratorias (OMS, 2022).

Los efectos que tienen relación con la exposición a la contaminación atmosférica son diversos, a corto y largo plazo siendo los más estudiados los efectos que se producen en periodos cortos de exposición a contaminantes atmosféricos, Ballester *et al.* (1999) explican para saber los efectos de la contaminación atmosférica en la salud es importante tomar en cuenta algunos indicadores de salud que se presentan como el aumento de la mortalidad en general y por causas específicas de contaminación atmosférica, el incremento del uso de los servicios sanitarios, incremento en ingresos hospitalarios, visitas a urgencias, aumento de consultas médicas,

alteraciones en diferentes funciones pulmonares, intensidad de los síntomas de enfermedades y del aumento de uso de medicinas.

Estos efectos mantienen una progresión tanto en la gravedad de las consecuencias sobre la salud como en la población de riesgo afectada (ver figura 1).

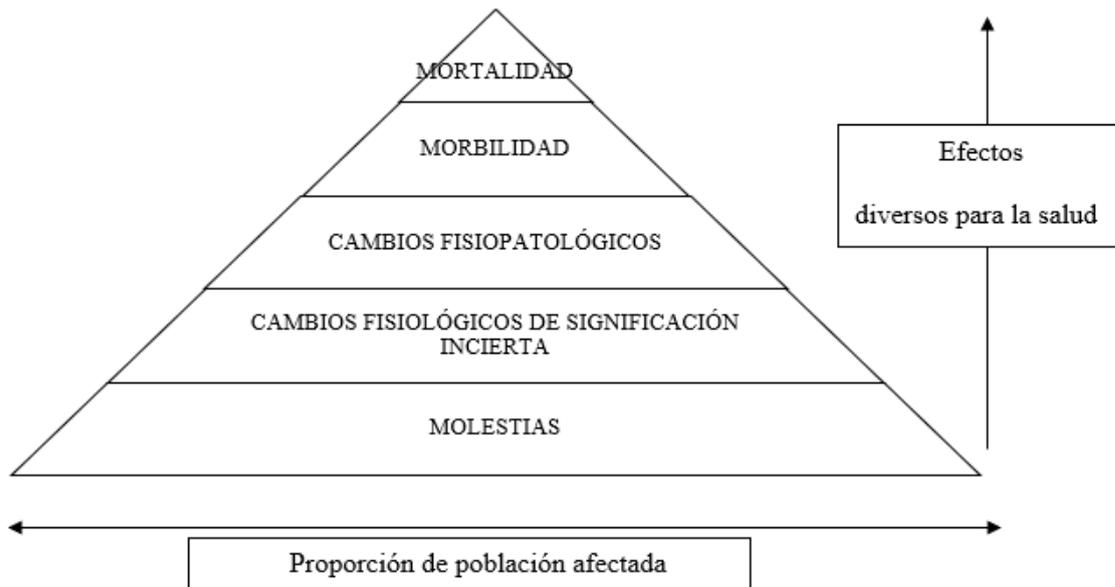


Figura 1 Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud.

Fuente: Traducida y adaptada por Andrews *et al* 1985.

Según Cárdenas Gutiérrez (2004) los efectos relacionados a la exposición de la contaminación atmosférica en la salud humana y en el ambiente son principalmente causados por contaminantes producidos por los vehículos de combustión interna que provocan diversos contaminantes como el monóxido de carbono y partículas en suspensión que no solo afectan la calidad del aire, sino que producen graves alteraciones en la salud humana mismas que tienen diversos efectos nocivos como se detalla en la tabla 3 a continuación:

Tabla 3

Principales efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud

Contaminantes	Principales efectos sobre la salud
Hidrocarburos	Son los principales causantes de cáncer.
PM₁₀ y PM_{2.5}	El material particulado es perjudicial para la salud, esto se debe a que el PM ₁₀ ingresa en el sistema respiratorio y se acumula

Contaminantes	Principales efectos sobre la salud
	en diferentes sitios, mientras que el PM _{2.5} pueden llegar hasta los alveolos pulmonares.
Monóxido de carbono	Las emisiones de CO pueden causar daños a corto plazo como sofocación y a largo plazo como problemas cardíacos.
Compuestos del azufre.	Estos contaminantes inflaman la mucosa del sistema respiratorio causando enfermedades leves como bronquitis, asma hasta graves como enfisema pulmonar.

Fuente: Contaminación atmosférica y medios de transporte en la Ciudad de Toluca, 2004

Los contaminantes del aire también afectan a la vegetación causando manchas necróticas en las hojas, además provocan la caída de las hojas, bloquean la luz solar ya que los contaminantes se depositan en las hojas. Algunos contaminantes gaseosos pueden ser absorbidos por las hojas a través de las estomas provocando reacciones en el parénquima y producir necrosis (Rivera G. , 2007).

Entre la vegetación afectada están los líquenes que también se ven afectados por la contaminación del aire. Los líquenes son capaces de absorber estos contaminantes de manera eficiente mediante la superficie del talo puesto que no tienen estomas ni cutículas (Hale, 1983). Se ha observado que existen cambios en su morfología, en el desarrollo de la especie, en la reproducción, respiración y fotosíntesis, también existen cambios en la integridad de la membrana, en el potencial de fijación del nitrógeno y la degeneración del pigmento (Neurohr *et al.* 2013).

8.7. Bioindicación

Los seres humanos han recurrido a elementos del ambiente como indicadores de la existencia de recursos vitales para la supervivencia por lo que la bioindicación es tan antigua como el hombre y su cultura, esto se evidencia en todas las etapas de desarrollo de la sociedad (Morales, 2020).

Hawksworth *et al.* (2005) mencionan que los indicadores biológicos son organismos o comunidades que responden a cambios en el ambiente, estos complementan y van más allá de la medición directa de contaminantes ya que retienen la memoria de la emisión tóxica porque los cambios que provocan los indicadores biológicos son duraderos. También los indicadores biológicos son baterías biológicas acumuladoras que permiten la detección de contaminantes

en el ambiente, incluso después de que las sustancias tóxicas hayan desaparecido del ambiente (págs. 71-82).

Tabla 4

Capacidad de respuesta de los bioindicadores dependiendo de los factores

CAPACIDAD DE RESPUESTA DE LOS BIOINDICADORES	
Composición genética	Puede ayudar o no a la adaptación de los cambios por lo que la presencia de contaminantes puede ser fácil y claramente visible (Capó Marti, 2007, pág. 140).
Estado de desarrollo	Los ejemplares jóvenes por lo general son más sensibles, mientras que las especies maduras pueden presentar más resistencia (Capó Marti, 2007, pág. 141).
Condiciones ambientales	Los contaminantes ambientales suelen ser muy variados y sus efectos no siempre causan daños, sino que pueden beneficiar a las especies a potenciar sus condiciones frente a otras (Ocho & Cuevas, 2015).

Elaborado por: Zambrano Mayra, 2022

Capó Marti (2007) expresa que todo ser vivo es indicador de las condiciones de un área en específico, estas especies responden a ciertos factores ambientales que condicionan la calidad de vida, algunas de estas especies responden mejor a su entorno, algunas son de mayor utilidad que otras debido a su capacidad de respuesta y se toma en cuenta a las especies que más favorezcan a ciertos intereses.

8.7.1. Tipos de Bioindicadores

Capó Marti (2007) explica que los bioindicadores pueden clasificarse de acuerdo a diversos criterios:

- Los bioindicadores presentan grados de sensibilidad acorde a los estímulos recibidos por el ambiente y se los clasifican en poco sensibles, sensibles, muy sensibles y tolerantes.
- La forma de respuesta a los estímulos se puede clasificar en:
 - Acumuladores. - Estos bioindicadores son capaces de resistir los contaminantes acumulándolos en su interior para posteriormente ser

analizados y calcular la cantidad de contaminantes que contiene (Capó Marti, 2007).

- Detectores. - Viven naturalmente en un área y muestran respuestas a cambios de la vitalidad, mortalidad, en su capacidad reproductora, abundancia, frente a alteraciones que ocurran a su alrededor (González *et al.* 2017)
- Explotadores. –Que estos organismos estén en una zona advierte que puede existir alteraciones en el medio, estos organismos por lo general no tienen competencia debido a que no resistieron las alteraciones del medio lo que ayuda a la especie a hacerse muy abundante en algún lugar (Capó Marti, 2007).
- Los bioindicadores pueden cuantificar el nivel de contaminación de un área en específico, estos pueden ser:
 - Bioindicadores en sentido estricto. - La presencia o ausencia de los ejemplares su riqueza y abundancia señalan si existe o no contaminación o alguna alteración debido a algún factor ambiental, los resultados son cualitativos y estos pueden ser tanto positivos por su presencia como negativos por su ausencia (Capó Marti, 2007).
 - Biomonitores. - Gracias a los biomonitores se puede complementar el estudio ya que estas especies sí indican que tipo de contaminantes y en qué cantidad se encuentran en la zona evaluada ya que sus resultados son cuantitativos ya que tienen relación directa entre el grado de contaminación y su reacción en el medio físico (Capó Marti, 2007).

8.7.2. Ventajas y Desventajas de los Bioindicadores

Según Rubiano Olaya & Chaparro (2006) el monitoreo de la calidad del aire usando indicadores biológicos es un método simple y económico. Esto no quiere decir que no sean necesarios otros métodos más costosos, ya que, aunque el biomonitoreo fácilmente puede darnos información rápida, no sabemos la concentración de contaminantes ni los posibles picos de contaminación durante el día.

8.7.3. Requisitos que deben cumplir los bioindicadores

Capó Marti (2007) ha establecido ciertos criterios para que los bioindicadores sean eficientes:

- Desarrollo en distintas zonas y en abundancia.
- Deben reaccionar y sensibles o resistentes a alteraciones del medio.
- Su presencia en un área debe ser perdurable
- Biomasa suficiente.
- Interacciones mínimas con el sustrato.
- Homogeneidad genética.

8.8. Líquenes como bioindicadores

8.8.1. Líquenes

Los líquenes son organismos complejos formados por la unión íntima –simbiosis– de un hongo y, al menos, un organismo fotosintético: un alga verde (clorofícea) o una cianobacteria (Barreno & Pérez, 2003). Existen alrededor de 14000 especies de líquenes en el mundo con diferentes características, diferentes tamaños, formas y/o colores. Se encuentran en distintos lugares desde los polos hasta zonas tropicales, desde el nivel del mar hasta en las cimas de las montañas, y sobre todo tipo de superficie o sustrato que va desde suelos, rocas, cortezas de árboles incluso hasta en las espaldas de otros organismos vivos como insectos (Cubas, Núñez, Crespo, & Divakar, 2010).

Hawksworth *et al.* (2005) explica que frecuentemente el hongo rodea al alga fotosintética, y es esta relación entre esta pareja lo que determina el tipo de desarrollo o forma de crecimiento del líquen, en otras palabras, un microbionte más un fotobionte resulta en la formación de un líquen.

8.8.2. Ecología de los líquenes

La vegetación de líquenes cambia en relación a factores como a la situación geográfica, el tipo de clima, en el sustrato que se desarrollen, los competidores, otros organismos presentes en su área, cuanta luz perciban, la temperatura de la zona, la cantidad de agua, entre otros factores (Barreno & Pérez, 2003).

8.8.3. Uso de los Líquenes como Bioindicadores

El empleo de líquenes permite monitorear una gran variedad de contaminantes atmosféricos. Estos incluyen los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), un gran grupo de contaminantes orgánicos persistentes (COP) ya que son una asociación simbiótica eficaz entre un hongo específico y una especie de alga y/o una cianobacteria y se encuentran en casi todos los hábitats y regiones geográficas del planeta (CORDIS, 2016).

Hawksworth *et al.* (2005) menciona que los mejores bioindicadores son los líquenes ya que sus características ayudan a determinar alteraciones en el medio, los líquenes ciertas especificaciones que se detallan a continuación:

- No expulsan los contaminantes por lo que estos se concentran y acumulan en su interior.
- Los líquenes no distinguen que sustancias absorben ni la cantidad en la que acumulan ciertos contaminantes.
- Los líquenes son resistentes por lo que no tienen competidores y se adaptan al lugar donde se encuentren.
- Estos organismos mueren si cualquier simbionte es afectado, esto se debe a que viven en simbiosis por lo que toda la comunidad es afectada.
- Debido a que viven largos periodos están más expuestos a distintos contaminantes a lo largo del tiempo.
- Estas especies pueden ser analizadas en cualquier época del año debido a que son perennes y no dependen de alguna época en específico.

8.9. Metodología de indicación biológica de contaminación ambiental mediante uso de líquenes

El primer mapeo sistemático fue conducido por Sernander en 1926 en Estocolmo, debido a que se pudo evidenciar la desaparición de comunidades de líquenes en las ciudades este fenómeno tuvo relación entre la presencia o ausencia de líquenes directamente con la contaminación ambiental, el tamaño del área urbanizada y la dirección de los vientos (Nash III, 2001). Posterior a ese hecho ocurrido se establecieron escalas de tolerancia de SO₂ para comunidades de líquenes, estas fueron utilizadas ampliamente en varias partes de Europa (Nimis *et al.* 2000). En el año 1970 De Sloover y LeBlanc desarrollaron el Índice de Pureza Atmosférica IPA con el fin de mejorar y realzar los datos obtenidos en el campo, incorporando factores de frecuencia y cobertura (Nash III, 2001).

La ecuación original se establecía de la siguiente manera:

(Ecuación 1)

$$IPA = \frac{1}{10} \times \left(\sum_{i=1}^n Qifi \right)$$

Donde:

n = número de especies.

Qi = índice ecológico (número de especies encontradas en la de todas las estaciones).

f =frecuencia.

A lo largo de los años se han ido haciendo modificaciones al IPA original, un estudio realizado en suiza por Herzig (1991) tuvo el objetivo de determinar cuál de las versiones del IPA correlacionaba mejor la calidad del aire con los valores de IPA, llegando a la conclusión de que el IPA que utilizaba la suma de frecuencias correlacionaba mejor dichas variables (Nash III, 2001), quedando la formula como se detalla a continuación (Ammann *et al.* págs. 401-406):

(Ecuación 2)

$$IPA = \sum_{i=1}^n \frac{Fi}{5}$$

Donde:

Fi =Frecuencia de la especie “i”

n= Número de especies de líquenes del inventario

5= número mínimo de árboles sobre los que se realiza el inventario en una localidad dada. (Se pueden escoger más árboles por localidad).

El valor calculado a partir de esta fórmula se corresponde con el valor medio de IPA para una especie forestal concreta en la parcela en la que se han realizado los inventarios. Los valores de IPA son distintos según la especie forestal sobre la que se tomen los inventarios, ya que las comunidades de líquenes epífitos de las quercíneas son diferentes de las comunidades que se desarrollan sobre las coníferas (Canseco *et al.* 2006).

9. PREGUNTA CIENTÍFICA

9.1. Planteamiento de la pregunta científica

¿Se puede determinar el nivel de contaminación atmosférica mediante el uso de líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en tres parques del cantón Latacunga mediante el uso del Índice de Pureza Atmosférica?

9.2. Validación de la pregunta científica

Si, es posible determinar el nivel de contaminación mediante el uso de líquenes ya que son organismos vivos que tienen relación directa con las condiciones ambientales, es decir, cuando existe un mayor número de líquenes las condiciones atmosféricas son adecuadas, sin embargo, cuando la presencia de líquenes es baja se considera que el ambiente está contaminado con alguna sustancia a la que estos organismos son sensibles. Es necesario recurrir a la fisiología de los líquenes al ser utilizados como acumuladores biológicos para medir el estado de la atmósfera, dado que los líquenes no cuentan con estructuras activas que permitan regular la entrada y salida del agua y los gases, debido a esto los contaminantes que existen en la atmósfera se acumulan en su interior. Entre los distintos especímenes vegetales empleados como bioindicadores, los líquenes son de fundamental interés debido a su uso en la evaluación de la contaminación del aire. Su sensibilidad a la presencia de compuestos tóxicos en la atmósfera, se manifiesta por alteraciones morfológicas y fisiológicas que son evidentes (Rivera O. , 1975).

Mediante el uso del Índice de Pureza Atmosférica si se puede determinar el nivel de contaminación atmosférica, sin embargo, los resultados obtenidos estarán en base a las cualidades de la zona, proporciona una visión general de la calidad del aire, es decir, los resultados que se obtienen son cualitativos, por lo que Segura (2013) sugiere que si se desea obtener datos más precisos el monitoreo deberá ser complementado con otros análisis físico químicos que ayuden a precisar que tipo y cantidad de contaminante está presente en la zona estudiada. Aumentando así el conocimiento y ampliación del uso de líquenes como bioindicadores de calidad del aire.

10. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

10.1.1. Ubicación

El cantón Latacunga, se sitúa al centro norte de la región interandina del Ecuador, en la hoya del río Patate, está atravesada por los ríos Cutuchi y Pumacunchi, con una altitud de 2,750 m.s.n.m., y un clima frío andino de 12 °C promediado, se ubica a 89 km de Quito y a 335 km de Guayaquil, es el punto de enlace entre la Costa, la Sierra y la Amazonía. Conocida como una ciudad tranquila y mágica que toma su nombre de la palabra "llacta kunka" que significa "Dios del agua", es una ciudad encantadora con calles rectas y angostas empedradas, bordeadas de casas bajas de tejas rojas, arquitectura colonial española (Latacunga Turismo, 2020).

10.1.2. Medio Físico

- **Clima.** -El clima de Latacunga varía entre cálido y templado, con una cantidad significativa de lluvia durante el año incluso para el mes más seco. De acuerdo con Köppen y Geiger clima del cantón se clasifica como Cfb (clima templado de veranos frescos, con precipitaciones abundantes). La temperatura promedio en Latacunga es 12.0 °C. Hay precipitaciones alrededor de 1946 mm/año. Latacunga está ubicado en el centro de nuestro planeta, y los veranos tienden a ser un poco difíciles de definir (Climate Data, 2021).

Tabla 5

Tabla Climática, Datos Históricos

Año 1991-2020	en.	febr.	mzo.	abr.	my.	jun.	jul.	agt.	sept.	oct.	nov.	dic.
Temperatura media (°C)	12.2	12.3	12.2	12.2	12.1	11.4	11.2	11.5	12	12.3	12.5	12.3
Temperatura min. (°C)	9	9.1	9	9	8.8	8	7.6	7.4	7.5	8.5	9.1	9.1
Temperatura máx. (°C)	16.6	16.7	16.8	16.7	16.5	15.9	15.9	16.6	17.2	17.1	17	16.7
Precipit (mm)	173	187	236	213	164	129	119	87	103	163	187	185
Humedad (%)	84%	85%	86%	86%	85%	83%	81%	78%	77%	82%	83%	85%
Días lluviosos (días)	20	18	21	21	20	18	18	16	17	20	19	20
Horas de sol (horas)	4.6	4.3	4.2	4.4	4.4	4.1	4.1	4.8	5.6	5.2	5.1	4.7

Fuente: Secretaría del Ambiente, 2020.

Latacunga cuenta con cuatro pisos climáticos, a continuación, se detallan las características de cada uno:

- **Ecuatorial de alta montaña.** - En este piso están ubicadas las parroquias Belisario Quevedo y Poaló y una superficie considerable en las parroquias de Latacunga, Álaquez, Mulaló, San Juan de Pastocalle y Toacaso, este piso climático abarca la mayor extensión del territorio con 82198,40 has de los cuales el 59,29% de territorio son páramos que están en peligro (PDyOT Latacunga, 2016).
- **Ecuatorial mesotérmico seco.** -Presenta una extensión de 11729,30 has., abarcando así el 8,46% del cantón, con una superficie mínima en las parroquias de Poaló, Álaquez, Guaytacama y Belisario Quevedo y una superficie considerable en las parroquias de la Once de Noviembre y Latacunga. Con precipitaciones inferiores de 500 mm por año (PDyOT Latacunga, 2016).

- Ecuatorial mesotérmico semi-húmedo. -Con una extensión de 29628,90 ha., representa el 21,37% del cantón, que abarca las parroquias de Belisario Quevedo, Latacunga, Álaquez, Mulaló, Joseguango, Tanicuchí, San Juan de Pastocalle, Toacaso, Guaytacama y Poaló. Con precipitaciones ligeramente superiores a los 500 mm anuales (PDyOT Latacunga, 2016).
- Zona nival. - Presenta una extensión de 15073,94 ha. y, el 9,86% del territorio del cantón se forma debido a los glaciares del volcán Cotopaxi, y el 1,01% representa a la reserva ecológica Los Illinizas (PDyOT Latacunga, 2016).

En el cantón Latacunga existe un predominio del clima Ecuatorial de Ata Montaña extendiéndose al noreste de la ciudad, donde se emplaza con sus principales centros productivos, seguido de un clima Ecuatorial Mesotérmico Semihúmedo en la zona céntrica del cantón y hacia el sur existe una pequeña área con clima Ecuatorial Mesotérmico seco (ver figura 2).

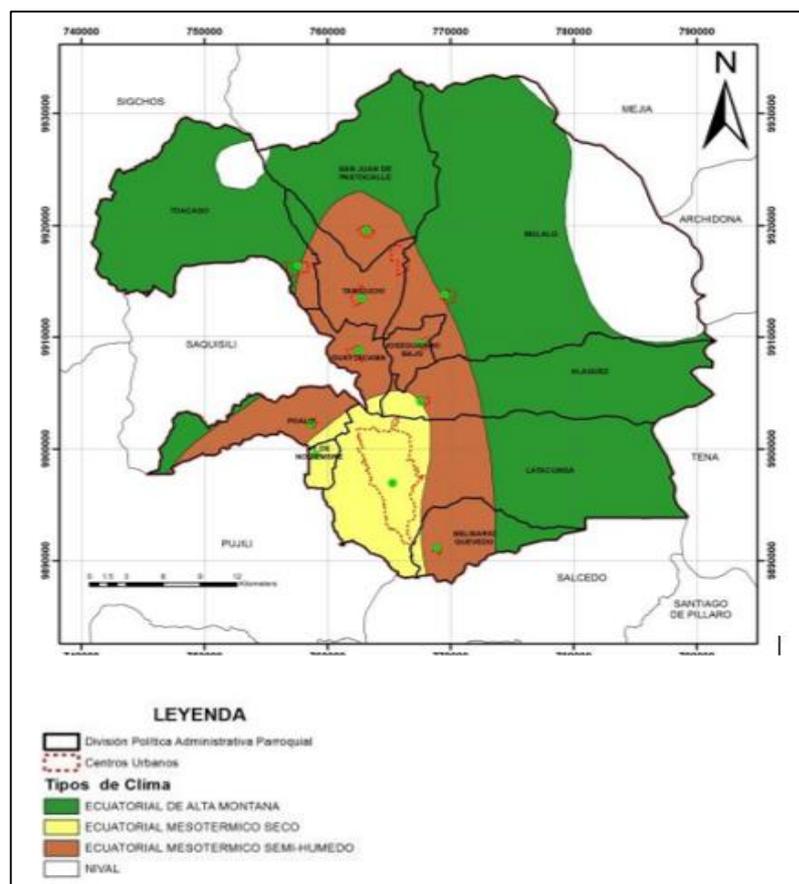


Figura 2. -Tipos de climas del cantón Latacunga

Fuente: Cartografía Temática: MAGAP – 2003, escala 1:250000

- Humedad relativa. - Presenta cierto incremento directamente proporcional con la altitud.

Estas condiciones atmosféricas son propicias para que las comunidades líquénicas crezcan ya que los líquenes fruticosos son más abundantes en zonas con elevada humedad atmosférica, por lo que los podemos ver más fácilmente en pinares densos de lugares con sombra, los líquenes foliosos son capaces de absorber la humedad del aire cuando no hay lluvia por lo que en épocas secas, se les ve acartonados, rígidos y/o quebradizos, pero se vuelven tersos y suaves cuando hay humedad (Monedero Ramos, 2015).

10.1.3. Medio Biótico

- Flora. –Podemos encontrar una gran variedad de flora como: chuquiraguas "flores de montaña", alchemila, pajonales, árbol pumamaqui, romerillo, quishuar o "árbol de Dios", así como mortiño y capulí, además de hierbas, musgos y líquenes. La flora está relacionada con el número de especies, mientras que la vegetación se refiere a la distribución de las especies y la importancia relativa de cada especie (por número y tamaño de los individuos) (PDyOT Latacunga, 2016).
- Sistema de zonas de vida de Holdridge. –Una zona de vida es un grupo de comunidades de plantas en una división climática natural que tiene una topografía similar en todo el mundo en términos de condiciones del suelo y etapas de sucesión. Estas asociaciones definen una gama de condiciones ambientales que, junto con los organismos, proporcionan un conjunto único de formas de paisajes vegetales y actividades animales; aunque se pueden hacer muchas combinaciones, estas asociaciones se pueden dividir en cuatro categorías básicas: clima, suelo, atmósfera e hidráulica (Holdridge, 1987). Las regiones bioecológicas (regiones geográficas con características biofísicas y climáticas similares) influyen en los patrones de uso del suelo y el desarrollo espacial general de Latacunga.

10.1.4. Acceso y uso de espacio público

La OMS menciona que cada habitante debe tener alrededor de 9 m² de espacios verdes para condiciones favorables de vida. El cantón cuenta con 79.175,20 hectáreas de espacios verdes en general se toman plazas, canchas, parques y áreas de esparcimiento, lo que lamentablemente corresponde a un área de 1,20 m² por población que es la mínima por habitante

por lo que no cumple con las recomendaciones gubernamentales de la Organización Mundial de la Salud; el Ecuador tiene un promedio de 4.69m² por habitante por lo tanto no cumple con estos criterios y recomendaciones para una mejor calidad de vida (PDyOT Latacunga, 2016).

10.1.5. Estaciones de muestreo

Las calles del cantón Latacunga son estrechas y muy transitadas, en ellas se aprecia que se parquean los vehículos en uno o en ambos lados, esta situación incrementa el caos de tránsito vehicular, peatonal, y proliferación de contaminación ambiental (PDyOT Latacunga, 2016).

Según Ulloa Enríquez (2016) “Inicialmente el problema se presentaba en horas pico, en lugares cercanos a los establecimientos educativos instalados en el centro histórico de la ciudad, luego el problema se extendió a todo el día en el centro histórico y ahora el mal colapsa la parroquia Eloy Alfaro de la ciudad.”

En el proyecto investigativo se establecieron 6 estaciones de muestreo en los parques Vicente León, San Francisco, La Filantropía:

Tabla 6

Descripción de las estaciones de muestreo

Parque/Área Verde	N° de Estación de muestreo	Altura Promedio	Distancia aprox. A calles o avenidas	Tránsito
		m.s.n.m	m.	
Vicente León	1	2773	2	Muy Transitada
	2			Muy Transitada
San Francisco	3	2795	2	Muy Transitada
	4			Muy Transitada
La Filantropía	5	2784	2	Muy Transitada
	6			Muy Transitada

Elaborado por: Zambrano Mayra, 2022.

En el proyecto investigativo se establecieron 6 estaciones de muestreo en los parques Vicente León, San Francisco, La Filantropía:

El parque Vicente León a 2773 m.s.n.m, se ubica en el centro histórico de Latacunga en las calles Quito 111 y Gral Maldonado, Latacunga, estas avenidas se destacan por ser muy transitadas, con congestión vehicular y es una zona principalmente comercial donde se ubican edificios empresariales, bancos, hoteles y principalmente el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Latacunga. En este parque se ubicaron dos estaciones de muestreo

en la parte norte, la estación de muestreo está compuesta por 5 forófitos de la especie *Callistemon viminalis* (cepillo blanco) y en la parte sur del parque la estación de muestreo compuesta por 5 forófitos de la especie *Phoenix Canariensis* (palmera canaria).

El parque San Francisco está ubicado a 2795 m.s.n.m, ubicada en las calles General Manuel Maldonado y Manuel de Jesús Quijano y Ordóñez. Esta zona también se caracteriza por el alto flujo vehicular, las actividades comerciales, la presencia de la Iglesia San Francisco y el colegio La Salle. Este parque está expuesto a la contaminación por la quema de combustibles fósiles, excesivo ruido y contaminación lumínica debido a las actividades que se realizan su alrededor. En este parque se ubicaron las estaciones 3 y 4 de muestreo en la parte norte compuesta por 5 forófitos de la especie *Tecoma stans* (bignonia amarilla) y en la parte sur del parque la estación de muestreo compuesta por 5 forófitos de la especie *Callistemon citrinus* (cepillo rojo).

Finalmente, el parque La Filantropía a 2784 m.s.n.m, se encuentra en la zona céntrica de la ciudad entre las calles Tarqui y Hermanas Páez la principal fuente de contaminación es el smog de los carros y buses, una zona muy concurrida especialmente por ubicarse al frente del Hospital General Latacunga. En este parque se ubicaron las estaciones 5 y 6 de muestreo en la parte norte compuesta por 5 forófitos de la especie *Populus alba* (Álamo blanco) y en la parte sur del parque la estación de muestreo compuesta por 5 forófitos de la especie *Cocos nucifera* L. (palmera cocotera).

11. METODOLOGÍA

11.1. Metodologías aplicadas en la investigación

Por la naturaleza de los objetivos en la presente investigación se aplicaron investigación descriptiva, bibliográfica e inductiva. Además, las metodologías no experimental y transeccional como se detalla a continuación:

La Investigación Descriptiva se utilizó en la investigación para describir y analizar el panorama actual de los efectos de la contaminación atmosférica y la importancia del uso de organismos vivos como son los líquenes utilizados como bioindicadores de calidad del aire.

Se aplicó la Investigación Bibliográfica para el análisis de la información obtenida en la fundamentación teórica, lo que ayudó a describir, interpretar y explicar las causas y efectos del problema de estudio y establecer conocimientos necesarios para la realización del proyecto investigativo para deducir conclusiones con ayuda de la investigación descriptiva. Además, se

aplicó el Método Inductivo que permitió generar los conocimientos científicos necesarios sobre el rol principal y fundamental que cumplen los líquenes para verificar si en un determinado lugar existe o no contaminación y con los resultados obtenidos permitió determinar el nivel de contaminación atmosférica.

En la presente investigación no se manipularon las muestras, sino que se observaron tal y como suceden en el contexto natural para su posterior análisis por lo que se aplicó la metodología no experimental, además se realizó en una sola oportunidad para describir la situación de las estaciones de muestreo en el momento actual de la investigación aplicando la metodología transeccional.

11.2. Población

Según el INEC (2012) el índice verde urbano en el Ecuador es de 13,01 m²/hab, mientras el rango sugerido por la OMS es de 9,00. Para la provincia de Cotopaxi el índice verde urbano es de 13,78 m²/hab para el año 2012 según las cifras del INEC, el cantón Latacunga presenta un IVU 15,22 m²/hab, mismo resultado que difiere con las cifras presentadas por la (PDyOT Latacunga, 2016) en las que las cifras equivalen a 4,3 metros cuadrados por habitante, el déficit es de 4,7 m²/hab si tomamos como referencia que la OMS.

Según PDyOT Latacunga (2016) el cantón Latacunga cuenta con un total de 766.412,54 m², de áreas verdes tomando en cuenta plazas, canchas, parques, espacios públicos y turísticos. Conforme a las características de la investigación, la selección de la muestra estuvo condicionada al cumplimiento de los siguientes factores: la presencia de árboles que sean aptos para el muestreo y la distribución de forófitos en el parque. Es así que del total de áreas verdes con presencia de árboles (población) se tomaron en cuenta tres parques céntricos del cantón Latacunga como muestra del presente estudio: Vicente León, San Francisco y La Filantropía.

11.3. Instrumentos

Para el levantamiento de la información y el procesamiento de los datos se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Termómetro ambiental.
- GPS.
- Cámara fotográfica (cámara de celular)
- Libreta de campo.
- rejilla de 20cm x 50 cm.
- Piola.

➤ Cinta métrica.

11.4. Procedimiento

La caracterización de la contaminación en tres parques del cantón Latacunga se realizó mediante la gradilla de 20x50 cm y el cálculo del Índice de Pureza Atmosférica, según la última metodología actualizada de (Canseco *et al.* 2006) en el estudio de Comunidades de líquenes: como indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia.

El desarrollo de la presente investigación implicó las fases de campo, laboratorio y gabinete.

11.4.1. Fase de campo

Estaciones de muestreo. -Según lo recomendado por Cerón (2005) se establecieron estaciones de muestreo de 100 m² mínimo recomendado para estudios botánicos en los tres parques del cantón Latacunga que son: parque Vicente León, parque Filantropía y parque San Francisco.

Para cumplir con esta actividad se utilizó la metodología propuesta por (Canseco *et al.* 2006) de acuerdo con esta norma, se utilizó una rejilla de relevamiento de líquenes de 20cm x 50cm en cada árbol. La rejilla estuvo dividida en 10 cuadrantes de 10 cm², la cual se colocó verticalmente sobre el tronco del árbol donde se observó la mayor densidad liquénica a 1.20 m sobre el suelo. Se evitó colocar la rejilla sobre partes dañadas o sin corteza, y sobre nudos.

Para las estaciones de muestreo se aplicaron los siguientes criterios:

- a) Presencia de forófitos (hospedadores) seleccionados portadores de líquenes.
- b) Los transectos (estaciones de muestreo) fueron determinados por la vía principal de tráfico vehicular, (principal fuente de contaminación del cantón Latacunga), incluyendo las distintas zonas geográficas.
- c) Determinación de las actividades de las zonas de estudio (industrial, comercial y residencial).
- d) Se precisaron las condiciones ambientales (zonas con y sin contaminación).

La aplicación de las técnicas de muestreo estuvo condicionada por criterios que sirvió para la elección de los individuos a estudiarse como se detalla a continuación:

- a) La unidad de muestreo para el estudio fue definida por un grupo mínimo de tres y máximo 10 árboles de la misma especie.

- b) Se eligieron adultos sanos, con un mínimo de 30 cm de perímetro.
- c) Se excluyeron a árboles inclinados, dañados, pintados o de corteza liza.

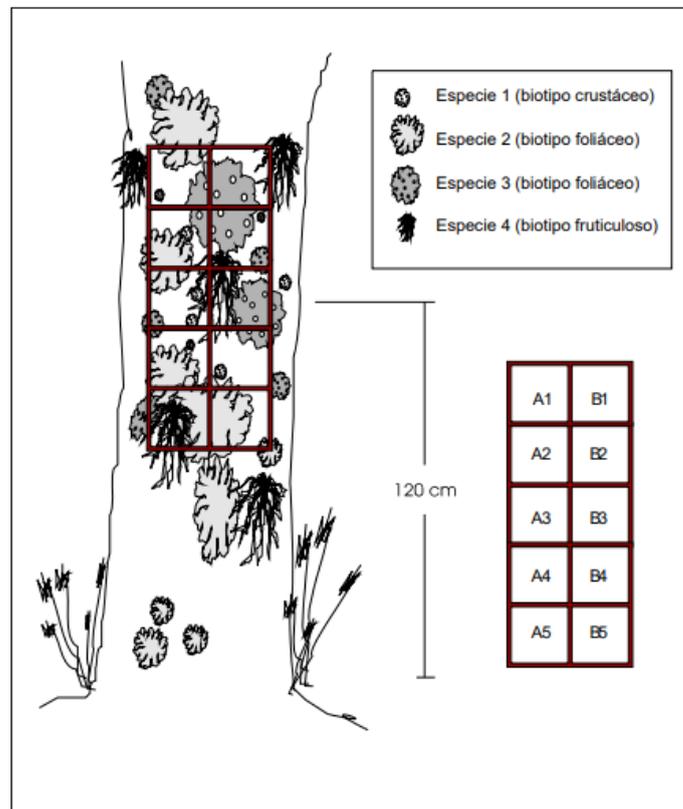


Figura 3. -Rejilla para cartografía de líquenes.

Fuente: Servicio de Sanidad Forestal y Equilibrios Biológicos (SSF), 2015.

Para evitar que los factores que alteren las comunidades liquénicas como radiación solar, temperatura, humedad y viento desviarán los resultados de calidad de aire, y para dar una mejor confiabilidad a los resultados, los muestreos se realizaron durante la época lluviosa en el mes de diciembre durante una semana y se minimizó la afectación de estos factores muestreando siempre el lado del tronco con mayor presencia liquénica.

Se realizó la toma de datos ecológicos como los parámetros medidos en cada forófito (hospedador) y se registraron en la libreta de campo:

- a) Frecuencia (el número de cuadrados en los que se encontró una especie de líquen).
- b) Cobertura (cada cuadrante de la gradilla representa el 10% del total de la población analizada y se registró el porcentaje de dicha especie en la superficie cubierta).

- c) Presencia de la especie en los cinco forófitos estudiados por cada estación de muestreo.

Adicionalmente, se fotografió las especies y área de estudio, también se realizó mediciones de temperatura y coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo.

11.4.2. Análisis de datos

- Cálculo del Índice de Pureza Atmosférica IPA. -Con los datos obtenidos en las fases anteriores, se calculó el Índice de Pureza Atmosférica IPA según lo establecido por (Canseco *et al.* 2006) para cada lugar de muestreo, utilizando la siguiente fórmula:

(Ecuación 3)

$$IPA_j = \sum Q_i F_i$$

Dónde:

IPA_j = Índice de Pureza Atmosférica de la estación de muestreo j.

f_i = Grado de 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_i = Factor de tolerancia de la especie i, que se determina analizando el número de especies acompañantes como promedio en todas las estaciones. El valor de Q resulta ser una constante para cada especie, en el área de investigación, siendo inversamente proporcional a la contaminación.

Se determina mediante la relación:

(Ecuación 4)

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

Dónde:

Q_i = Factor de resistencia de la especie i.

A_j = Número de especies presentes en cada estación (j) donde se encuentra la especie i.

N_j = Número de estaciones (j) donde se encuentra la especie i.

Posteriormente se realizó la agrupación por rangos y sus respectivas clasificaciones de contaminación:

Tabla 7

Valores de IPA para la zonificación

Rangos	Clasificación	
IPA min -	I	Contaminación muy alta
-	II	Contaminación alta
-	III	Contaminación media
-	IV	Contaminación baja
-	V	Contaminación muy baja
IPA máx. observado	VI	Sin Contaminación

Fuente: Canseco *et al.* 2006.

El IPA es un índice expresado en unidades arbitrarias, ya que es una unidad de medida relativa que se utiliza para mostrar la razón de la cantidad de líquenes para una medida de referencia predeterminada. El resultado del valor de IPA se debe repetir el proceso para 5 ejemplares de forófitos u hospedadores que según Granados Sánchez *et al.* (2007) es sobre el que crece una epífita es utilizado sólo como soporte sin recibir más daño que el que pueda provocar su abundancia dentro de su ramaje; por tanto, una epífita difiere de una planta parásita en que esta última obtiene agua y nutrientes del hospedero., posterior se calcula la media y el valor que se obtiene sería el IPA (sobre el forófito) de la estación de muestreo.

12. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

12.1. Riqueza de Líquenes

En las estaciones de muestreo se encontraron cuatro especies liquénicas de tipo folioso y una especie liquénica de tipo fruticoso entre los cuales se observaron especies como *Candelaria concolor*, *Parmotrema austrosinense*, *Parmelia Sp* y *Heterodermia* de tipo folioso y *Ramalina peruviana* de tipo fruticoso. Según Cárdenas *et al.* (2016) este tipo de líquenes presentan resistencia media y baja respectivamente.

En los tres parques del cantón Latacunga se encontraron las especies de líquenes que se detallan a continuación:

Tabla 8*Lista de especies según el tipo morfológico*

Tipo de Liquen	Nombre científico	Nombre común	Familia	Género
LIQUENES FOLIOSOS	<i>Candelaria concolor</i>	(Dicks.) Arnold	Candelariaceae	Candelaria
	<i>Parmotrema austrosinense</i>	(Zahlbr.) Hale	Parmeliaceae	Parmotrema
	<i>Parmelia</i>	Sp	Parmeliaceae	Parmelia
	<i>Heterodermia</i>	Sp	Physciaceae	Heterodermia
LIQUENES FRUTICOSOS	<i>Ramalina peruviana</i>	Ach.	Ramalinaceae	Ramalina

Elaborador por: Zambrano Mayra, 2022.

Las especies de líquenes tipo foliosos se pueden observar respuestas fisiológicas como necrosis, cambios de coloración en la superficie de los talos líquénicos y las hojas de algunos briófitos principalmente en especies de *Bryum argenteum*, *Frullania sp.*, *Heterodermia albicans*, *Punctelia sp.* y varias especies de *Parmotrema*, *Parmelia Sp*, que pese a reconocerse como especies tolerantes, presentan síntomas de acumulación de material particulado y otras sustancias contaminantes (Simijaca Salcedo *et al.* 2014). Canseco *et al.* (2006) mencionan que estas respuestas son un claro indicio de contaminación atmosférica debido a que la tolerancia de las plantas no vasculares hacia los diferentes contaminantes se observa por la resistencia que tiene el protoplasma de la célula y por la madurez de los talos de algunos ejemplares líquénicos.

La presencia de *Ramalina* en áreas verdes urbanas indican una mejor de calidad de aire y la captación de humedad durante las épocas lluviosas permiten que esta especie se desarrolle vegetativamente. Estos ejemplares no poseen estructuras morfológicas de eliminación de sustancias tóxicas, por lo tanto, al acumularse causan la muerte de esta especie. A la *Ramalina* se le puede considerar un líquen de áreas verdes urbanas, por vivir en ciudades; encontrando a esta y otros géneros, en áreas verdes de calles y avenidas habitando en troncos y ramas arbóreas (Ucrospoma Jara, 1991).

Ecológicamente estas especies encontradas son importantes, porque ayuda a determinar la calidad del aire en ambientes urbanos, aparentemente respirable para el hombre, planteándose también la idea, de mantener las áreas verdes, básicamente con árboles. En los tres parques estudiados se encontraron 4 especies de líquenes foliosos y tan solo 1 especie de líquen fruticoso, esta baja cantidad se debe a las condiciones de las zonas de estudio, el alto tráfico vehicular, las actividades de las zonas. Depende las especies de forófitos seleccionados ya que las tres zonas de estudio presentan poca población de especies de forófitos para el análisis por

lo que seleccionaron solo 5 especies de árboles que cuenten con presencia de líquenes para su estudio.

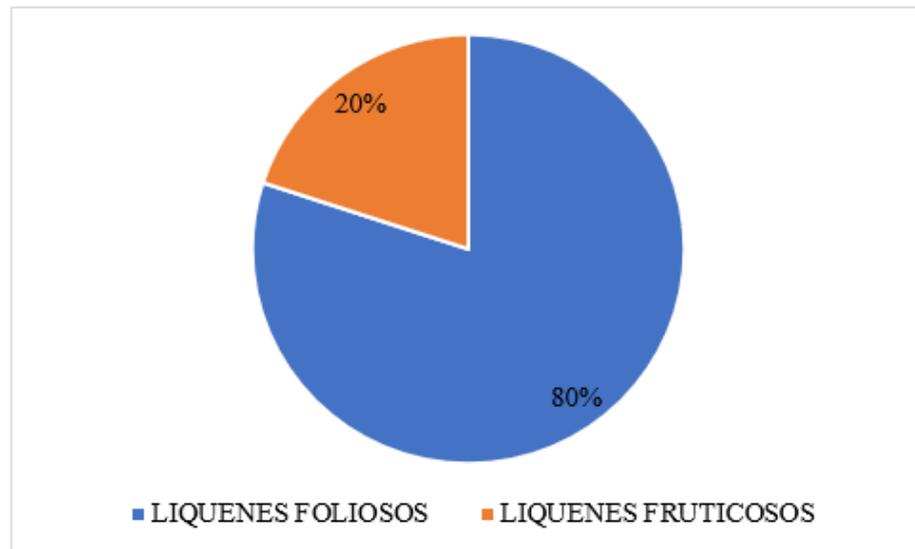


Figura 4. -Porcentaje de tipo de especies de líquenes

Fuente: Zambrano Mayra, 2022.

De las 5 especies de líquenes encontradas 4 son líquenes foliosos que representa el 80% de las especies encontradas y tan solo 1 especie de liquen fruticoso que representa solo el 20% de las especies, esta última se encontró en el parque Vicente León en el forófito *Callistemon viminalis* (cepillo blanco) en la estación de muestreo N°1.

12.2. Frecuencia de especies

La estación de muestreo N° 4 del parque San Francisco, las estaciones de muestreo N° 1 y 2 del parque Vicente León, la estación N° 6 del parque La Filantropía presentan mayor número de especies (4,3,3,3 respectivamente), donde la estación de muestreo N°4 sobresale con cuatro especies, por otro lado, las estaciones de muestreo N° 3 y 5 presentan solo 2 especies de líquenes encontrados (ver figura 5).

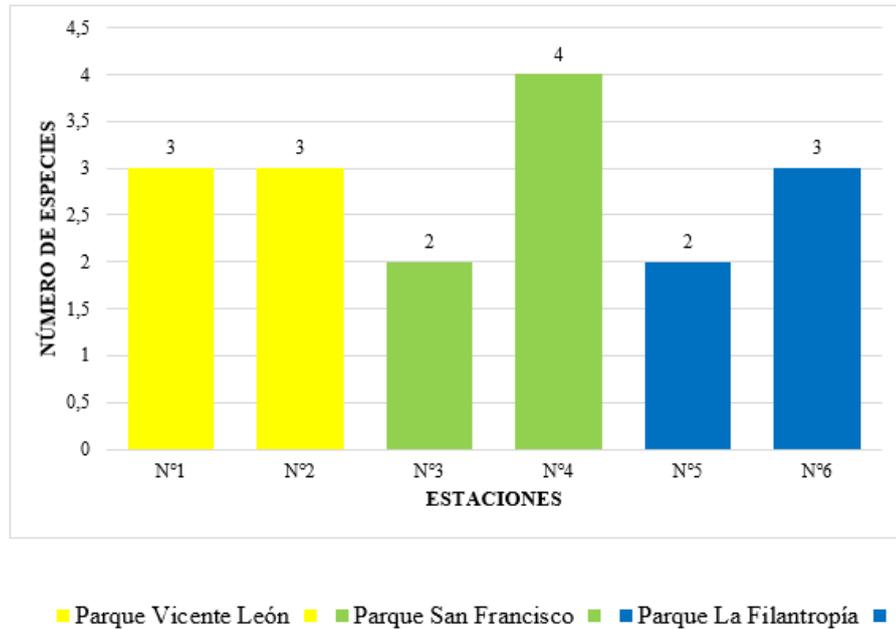


Figura 5.-Número de especies presentes en cada estación de muestreo

Fuente: Zambrano Mayra, 2022.

Según el tipo de líquen el parque San Francisco con las estaciones de muestreo N°3 y N°4 cuenta con el mayor número de especie foliosas, mientras que el parque Vicente León cuenta con la mayor diversidad líquénica presentes con las especies foliosa y fruticosa, en el parque La Filantropía no existen cambios solo con una especie foliosa presente (ver figura 7).

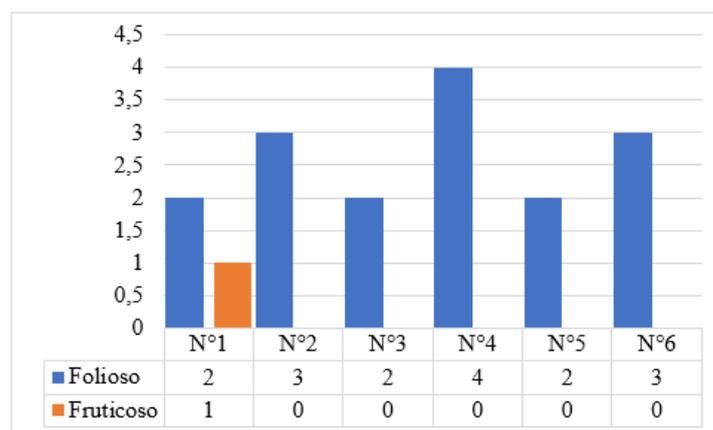


Figura 6. -Número y tipo de especies presentes en cada estación de muestreo.

Fuente: Zambrano Mayra, 2022.

12.3 Sensibilidad y tolerancia de las especies líquenes a la contaminación atmosférica

El factor de tolerancia Q_i está relacionado con el número de especies asociadas y con el número de estaciones en la que la especie i está presente es decir mientras el valor del factor de

tolerancia (Q) sea bajo la tolerancia va a ser mayor, mientras que si el valor de tolerancia (Q) es mayor las especies van a ser más sensibles (Canseco *et al.* 2006). De acuerdo a estos valores las especies *Candelaria concolor* presenta un Qi de 1,5 *Parmotrema austrosinense* Qi de 1, *Parmelia* Sp Qi de 1,7, *Heterodermia* Qi de 17,7 son más tolerantes a la contaminación Mientras que la especie *Ramalina peruviana* con un Qi de 2, se muestra como la especie sensible a la contaminación. Conociendo que el factor de tolerancia (Q) es indirectamente proporcional a los niveles de contaminación, se construyó la siguiente tabla que muestra especies tolerantes, medianamente tolerantes y sensibles.

Tabla 9

Factor de tolerancia Qi

Especie	Qi
<i>Candelaria concolor</i>	1,5
<i>Parmotrema austrosinense</i>	1
<i>Parmelia</i> Sp	1,7
<i>Heterodermia</i>	1,7
<i>Ramalina peruviana</i>	2

Fuente: Zambrano Mayra, 2022.

12.3. Cálculo del Índice de Pureza Atmosférica IPA

Los valores de Índice de Pureza Atmosférica se agruparon en seis categorías que se exponen a continuación:

Tabla 10

Categorías de IPA

Intervalos	Clasificación
0-2	I Contaminación muy alta
2-4	II Contaminación alta
4-6	III Contaminación media
6-8	IV Contaminación baja
8-10	V Contaminación muy baja
≥10	VI Sin Contaminación

Fuente: Zambrano Mayra, 2022.

El IPA es un índice expresado en unidades arbitrarias por lo que variará dependiendo del IPA resultante en las estaciones de muestreo. Es así que los valores asignados van en intervalos de 0 a ≥10 siendo 0-2 clasificación I contaminación muy alta y ≥10 clasificación VI sin contaminación. En base a esta clasificación se observan en la estación de muestreo N°1 IPA

de 5 y en las estaciones N° 2, 3, 4, 5, 6 el resultado del IPA es 4 en todas las estaciones mencionadas, lo que indica una clasificación de III contaminación media para las 6 estaciones establecidas en los tres parques del cantón Latacunga.

Tabla 11

Cálculo de IPA

Parque/Área Verde	N° de Estación de muestreo	Altura Promedio m.s.n.m	IPA
Vicente León	1	2473	5
	2		4
San Francisco	3	2395	4
	4		4
La Filantropía	5	2384	4
	6		4

Fuente: Zambrano Mayra, 2022.

Dentro del estudio se observó que los valores IPA en cada una de las estaciones guardan relación con la ubicación de las mismas, específicamente con la distancia hacia la calle y/o avenida, ya que las distancias entre las mismas son muy cortas y los parques estudiados se establecen en zonas céntricas por lo que a su alrededor están rodeadas de avenidas con alto flujo vehicular.

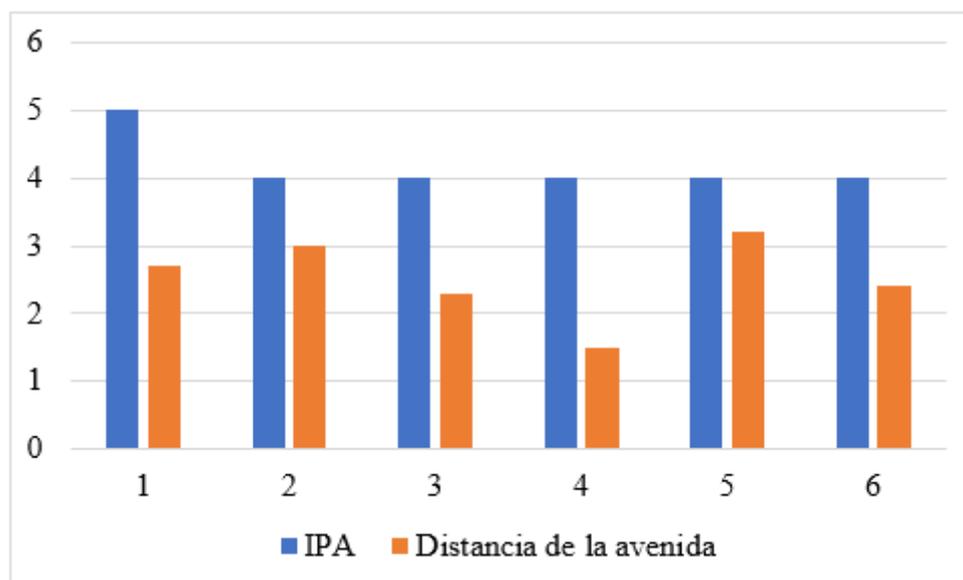


Figura 7. - Factor de tolerancia Q_i y relación con la distancia de la avenida.

Fuente: Zambrano Mayra, 2022.

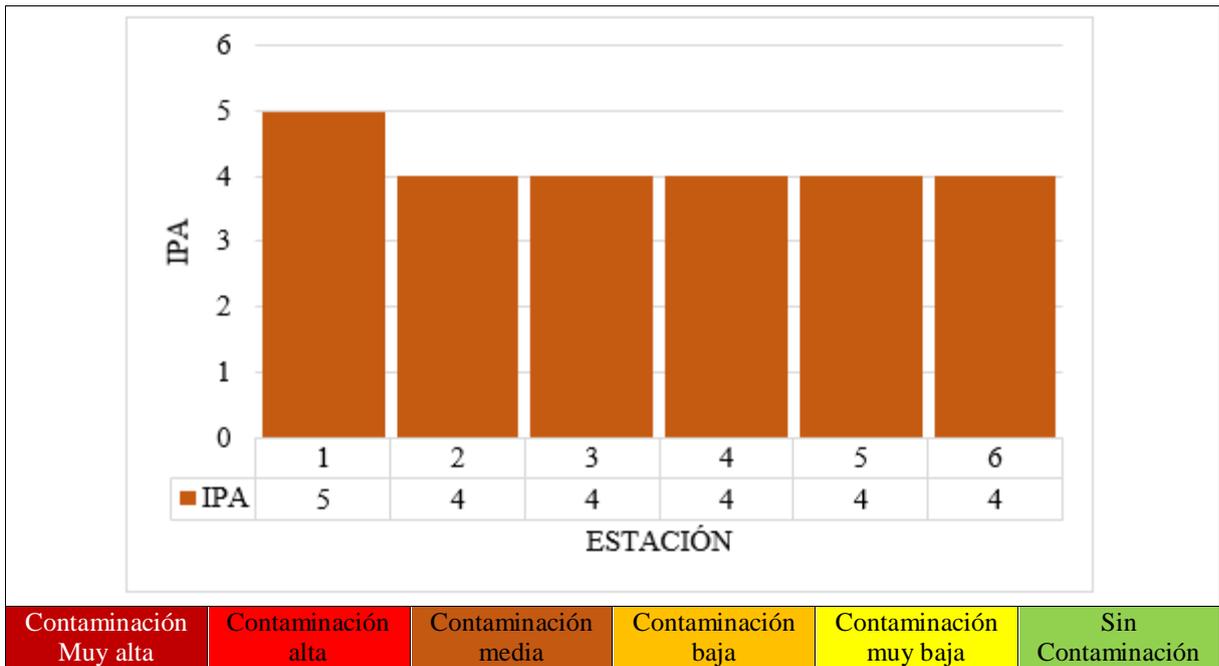


Figura 8. -Valores de IPA por estación de muestreo

Fuente: Zambrano Mayra, 2022.

12.4. Discusión

Para establecer las estaciones de muestreo en los tres parques del cantón Latacunga se tomaron en cuenta ciertos criterios principalmente la presencia de forófitos que cumplieron con lo establecido en la metodología planteada por Canseco *et al.* (2006) y se trató en lo posible de buscar un número de la misma especie de árboles que ayuden al muestreo en las seis estaciones establecidas, hubo impedimentos para lograr cumplir con estos criterios ya que habían diversidad de forófitos pero no existían el número suficiente para realizar el muestreo ya que en ciertos casos solo había una especie lo que imposibilitó aplicar correctamente la metodología propuesta por Canseco *et al.* (2006) en la que señala que deben ser mínimo 3 y máximo 10 especies de hospedadores para el análisis de la información. Sin embargo, las especies *Callistemon viminalis* (cepillo blanco) y *Callistemon citrinus* (cepillo rojo) predominaron como especie en común en las zonas de estudio, otra dificultad que se presentó fue el diámetro establecido para cada forófito ya que al ser especies relativamente jóvenes aún no alcanzan su máximo desarrollo y por tanto su diámetro idóneo, por esta razón se escogieron 5 especies distintas para cada estación de muestreo con la finalidad de tener una amplia diversidad de especies simbióticas y por tanto tener mayor número de bioindicadores.

Para la presente investigación se tomaron en cuenta ciertas características de las zonas de estudio como la ubicación, misma que se encuentran en el centro histórico del cantón Latacunga, este criterio permitió concluir que la calidad del aire está relacionada con las

actividades de la zona de estudio como el flujo vehicular, el comercio, el tránsito de personas en horas pico

Con respecto a la distribución de los líquenes al rededor del tronco, Rubiano *et al* (1988) observó mayor número de especies en la cara opuesta a la fuente de contaminación. Según este criterio en los tres parques estudiados la mayor presencia liquénica está en dirección opuesta al tránsito vehicular, en las zonas de estudio los parques se ubican en el centro de las avenidas por lo que los vehículos circulan en todas las direcciones alrededor de estas, lo que indica que en los parques la contaminación del aire afecta en forma general a los seres vivos, las estructuras y demás.

La metodología aplicada es este proyecto y aplicada por Canseco *et al.* 2006 en la ciudad de la Paz en Bolivia pudo aplicarse de manera casi efectiva ya que debido las limitaciones de especies que cumplan con los requerimientos, además que las zonas establecidas para el estudio están relativamente cerca y las actividades antrópicas que ahí se originan no permitieron hallar una diferencia en el nivel de contaminación del cantón Latacunga por lo que es preferible ampliar las zonas de muestreo. Gracias al factor de tolerancia (Qi) se establecieron intervalos que pueden variar según el caso investigativo y se puso clasificar a un nivel III de contaminación atmosférica al cantón Latacunga, este resultado obtenido es de vital importancia ya que marca el camino a futuras investigaciones que se centren a comparar el nivel de contaminación con mayor amplitud, en más zonas del cantón y así establece límites que permitan prevenir, controlar, mitigar cambios que se presenten a mediano y largo plazo como la resiente actividad volcánica del Cotopaxi que puede influenciar los resultados de futuras investigaciones.

Los resultados del factor Qi establece que las especies foliosas *Candelaria concolor*, *Parmotrema austrosinense*, *Parmelia Sp.* *Heterodermia* son especies medianamente tolerante a la contaminación, mientras que la especie fruticosa *Ramalina peruviana* tiene un nivel de tolerancia más bajo siendo la especie sensible en el estudio.

En la investigación “Caracterización de la contaminación atmosférica en del Distrito Metropolitano de Quito mediante el uso de bioindicadores” de (Segura, 2013) establece como especies tolerantes a la contaminación: las especies *Arnold*, *Physcia* cf. *atrostriata* *Moberg* *Parmelia* Sp, *Ramalina celastri* (Spreng.), *Candelaria concolor* (Dicks.) y *Parmotrema chinense* (Osbeck), mientras que como especie sensible a: Trevis, *Leptogium phyllocarpum* (Pers.) Mont. *Pseudocyphellaria aurata* (Ach.) Vain., *Parmotrema sp.*, *Heterodermia*

obscurata sensu, auct. brit., non (Nyl.), *Leptogium* sp.1 y *Leptogium* sp.2. En este caso las especies *Parmelia* Sp y *Candelaria concolor* (Dicks.) coinciden como especie tolerante.

Analizando la sensibilidad o resistencia de los tipos morfológicos se establece que las especies foliosas presentan mayor resistencia a contaminantes atmosféricos, en el presente proyecto investigativo estos ejemplares estuvieron presentes en todas las estaciones de muestreo. Por otro lado, la del tipo fruticoso está presente sol en la estación de muestreo N°1 con una sola especie de liquen, lo que permite concluir que esta especie de liquen requiere mejor calidad del aire.

En general, se observó que las estaciones de muestreo creadas alrededor de los parques son zonas medianamente contaminadas debido a que no existe vegetación circundante que actúe como barrera natural a los contaminantes atmosféricos.

Pese a la utilización del Índice de Pureza Atmosférica y los valores presentados para cada estación de muestreo a

La utilización del Índice de Pureza Atmosférica ayudó a obtener datos cualitativos en la investigación, en los que se presenta un panorama general de la contaminación atmosférica del cantón Latacunga, no se presentan resultados cuantitativos que señalen que tipos de contaminantes están afectando a la calidad del aire y en qué cantidad están presentes en los líquenes analizados por lo que se considera un método complementario a análisis de medición de parámetros físico-químicos.

Las principales adversidades que presenta la utilización de esta metodología están en la falta de forófitos aptos para la medición y que sean comunes en todas las zonas de estudio a lo largo del cantón Latacunga, además la falta de áreas verdes, el incumplimiento a las recomendaciones de la OMS del índice urbano verde por habitante y la edad relativa de los árboles limita el trabajo investigativo.

13. IMPACTOS

13.1. Ambiental

La presente investigación tiene un aporte ambiental promueve el uso de organismos vivos como indicadores biológicos, y aunque no brindan resultados cuantitativos precisos como los métodos fisicoquímicos, los líquenes brindan información completa sobre la calidad del aire, ya que están expuestos a todos los contaminantes y estos organismos cubren un área más grande que puede indicar la evolución de la contaminación en el tiempo. En general,

proporcionan información cualitativa valiosa, y su ausencia puede considerarse un efecto notorio de la contaminación. También está previsto que se vea como un nuevo enfoque para monitorear la calidad del aire en ciertas áreas, lo que impulsará más investigaciones que podrían ayudar a proporcionar datos importantes sobre si el aire que respiramos es adecuado.

13.2. Científico

Este proyecto representa un aporte a la comunidad científica como base para generar futuros trabajos relacionados a la utilización de líquenes u otros organismos vivos como bioindicadores de la calidad del aire, este documento servirá como guía para previas consultas que fomenten investigaciones futuras sobre temáticas similares.

13.3. Económico

La investigación brinda una complementación a proyectos que se basen en metodologías físico-químicas para la determinación de la contaminación ambiental siendo un método complementario de bajo costo, fácil acceso y de práctica utilización por lo que los gastos de su aplicación son muy bajos comparados a los métodos tradicionales de laboratorio en los que se incurren en gastos para el análisis de las muestras en laboratorios debidamente certificados.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. Conclusiones

- La composición de la comunidad de líquenes en las estaciones evaluadas está constituida por cinco especies, distribuidas en cinco géneros y cuatro familias pertenecientes al grupo de los líquenes foliosos y fruticosos. Las especies de líquenes que tienen en común estos tres parques son las *Candelaria concolor* como especie tolerante a la contaminación y como especie con sensibilidad media a baja se encontró la especie *Parmotrema austrosinense*, siendo la familia Parmeliaceae la más representativa lo que coincide con lo reportado en el trabajo investigativo.
- Los líquenes más sensibles a la contaminación son los tipos fruticoso como la especie *Ramalina peruviana* esto se debe a que necesitan mayor proporción de aire circundante además, no posee estructuras morfológicas de eliminación de sustancias tóxicas, por lo tanto al acumularse mata al Liquen , mientras que los líquenes más tolerantes a la contaminación son los tipos foliosos *Candelaria concolor*, *Parmotrema austrosinense*, *Parmelia* Sp, *Heterodermia* las cual se catalogan como una especie con un rango de tolerancia considerable, que fluctúa entre los extremos de un rango de condiciones de variación continua, ya que captan el agua tanto del

sustrato como de la atmósfera lo que los hacen resistentes a los agentes contaminantes debido a la resistencia del protoplasma de la célula y la madurez de los talos o vástagos.

- Con un intervalo entre 4 a 6 y clasificación III se concluye que los tres parques cuentan con una contaminación media debido a los siguientes factores: las zonas estudiadas están próximas en su ubicación, tienen el mismo flujo vehicular por tanto las mismas emisiones de CO₂ y otros contaminantes atmosféricos, se realizan las mismas actividades comerciales, cuentan con el mismo cuidado y mantenimiento por parte del departamento de parques y jardines de la secretaría del ambiente del cantón Latacunga.

14.2. Recomendaciones

- Se recomienda monitorear la calidad del aire de forma periódica siguiendo la metodología planteada en este proyecto, así como también establecer precedentes de la importancia de las estaciones de muestreos creadas, evitando de este modo que los árboles sean dañados. Trabajando en conjunto con la secretaría del ambiente del cantón Latacunga a través del área de parques y jardines y la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi con la carrera de Ingeniería Ambiental, se podrán crear nuevas áreas de muestreo en las que se evalúe la calidad del aire permitiendo así analizar distintas zonas del cantón lo que implicará que se tenga una base de datos más diversa del nivel de contaminación abarcando así el análisis de la contaminación del aire de todo el cantón Latacunga.
- Se deben implementar nuevos puntos de muestreos en el cantón Latacunga, en zonas urbanas céntricas y alrededores donde exista más diversidad y mayor número de forófitos con el fin que estos sean aptos para la aplicación de la metodología del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) mediante los cuales se podrá monitorear la calidad del aire, especialmente en zonas donde se registren niveles altos de contaminantes de este modo se podrá aportar con información valiosa a las mediciones de las condiciones atmosféricas con el fin de desarrollar esta metodología y que su aplicación sea cada vez más reconocida, analizada y desarrollada como método complementario para obtener resultados más precisos sobre el nivel de contaminación atmosférica no solo del cantón Latacunga sino de toda la provincia y a nivel país.

- Se deberían establecer proyectos enfocados en la continuación y aplicación de la metodología propuesta en conjunto con métodos físico-químicos que ayuden a obtener resultados e importación más completos y exactos para complementar con los resultados cualitativos obtenidos mediante esta metodología, con la complementación de los análisis físico-químicos se podrán obtener resultados de que tipo específico de contaminante está afectando a las comunidades líquénicas y en qué cantidad se presentan esto pudiendo así verificar si cumplen o no con los Límites Máximos Permisibles según lo establecido en la normativa legal vigente.

15. BIBLIOGRAFÍA

- Ammann, K., Herzing, R., Liebendorfer, L., & Urech. (1987). Multivariate correlation of deposition data in small town in Switzerland. En K. Ammann, R. Herzing, L. Liebendorfer, & Urech, *Advances in Aerobiology* (págs. 401-406).
- AQUAe. (2019). *AQUAE FUNDACIÓN*.
- Ballester Díez, F., Tenías, J. M., & Pérez Iloyos, S. (1999). *EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA SALUD: UNA INTRODUCCIÓN*. Valencia: Conselleria de Sanitat. Generalitat Valenciana. .
- Barreno, E., & Pérez, S. (2003). *Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos*,. Oviedo: KRK Ediciones.
- Belar, C. (2007). *Biología y Geología*. México.
- Caiza, M. S. (2020). “ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN CIENTÍFICA DE LÍQUENES (*Cup lichen*) Y MUSGO (*Bryophyta sp*) UTILIZADOS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AIRE”. Latacunga.
- Calvo, M. S. (2002). *Tratado de la Contaminación Atmosférica*. . Madrid: Mundi.Prensa.
- Canseco, A., Anze, R., & Franken, M. (2006). *Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia*. La Paz.
- Capó Marti, M. (2007). *Principios de Ecotoxicología*. Madrid: Tebar.
- Cárdenas Gutiérrez, E. (2004). Contaminación Atmosférica y Medios de Transporte en la Ciudad de Toluca. En E. Cárdenas Gutiérrez, *Cuaderno de Investigación* (pág. 16). Toluca: Casa del Libro.

- Cárdenas, M., Lacruz, Á., Franco, C., & Hernández, J. (2016). *LÍQUENES COMO BIOINDICADORES: HERRAMIENTAS ECOLÓGICAS Y PEDAGÓGICAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DELAIRE EN LA CIUDAD DE CARACAS*. Caracas.
- Cerón, C. (2005). *Manual de Botánica, Sistemática, Etnobotánica y Mpetodos de Estudio en el*. Quito: Escuela de Biología de la Universidad.
- Climate Data. (2021). *Clima Latacunga (ECUADOR)*. Obtenido de Climate-Data.org > Ecuador > Provincia de Cotopaxi > Latacunga: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-cotopaxi/latacunga-2966/>
- Cockerham, L., & Shane, B. (1994). *Basic Environmental Toxicology*. Boca Raton: CRC.
- CORDIS. (31 de marzo de 2016). *Optimización del uso de líquenes como biomonitores de PAH atmosféricos*. Obtenido de <https://cordis.europa.eu/>: <https://cordis.europa.eu/article/id/190820-lichens-as-monitors-of-air-pollution/es>
- Cubas, P., Núñez, J., Crespo, A., & Divakar, P. (2010). *Líquenes: que son y su uso como bioindicadores*. GEMM.
- Cuevas Hernández, A. L. (2019). *La atmósfera, sus capas y propiedades*. Estado de Hidalgo: División Académica.
- Daub, G. W., & Seese, W. S. (1996). *Química*. México: Prentice Hall Inc.
- ENVIRAIOT. (10 de enero de 2022). *ENVIRAIOT*. Obtenido de Contaminantes primarios y secundarios: estos son los más peligrosos: <https://enviraiot.es/contaminantes-primarios-y-secundarios-mas-peligrosos/>
- Espinosa, A. J. (2001). *Especiación química y física de metales en la materia particulada*. Sevilla.
- Freile Fierro, A. (2004). *Botánica Sistemática Ecuatoriana*. St. Louis, Missouri: Missouri Botanical Garden, FUNDACYT, QCNE, RLB y FUNBOTANICA.
- GBITH. (2021). *Parmotrema austrosinense (Zahlbr.) Hale*.
- GENERALITAT VALENCIANA. (17 de Julio de 2020). *GENERALITAT VALENCIANA*. Obtenido de agroambient: <https://agroambient.gva.es/es/web/calidad-ambiental/la-atmosfera-y-sus-capas>

- González, C., Vallarino, A., Pérez, J., & Low, M. (2017). *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental*. El Colegio de la Frontera Sur.
- Granados Sánchez, D., López Ríos, G. F., Hernández García, M. Á., & Sánchez Gonzáles, A. (2007). *ECOLOGÍA DE LAS PLANTAS EPÍFITAS*. Chapingo, México: chapingo.
- Hale, M. (1983). *The Biology of Lichens*. Londres: Edward Arnold Publishers.
- Hawksworth, D., Iturriaga, T., & Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. En D. Hawksworth, T. Iturriaga, & A. Crespo, *Rev Iberoam Micol* (págs. 71-82). Rev Iberoam Micol.
- Holdridge, L. (1987). *Complete Cosmology*.
- INAMHI. (2006). *Estación Rumipamba*. Salcedo.
- INEC. (2010). *DATOS CANTONALES CENSO 2010*. Latacunga: INEC.
- INEC. (2012). *Índice Verde Urbano 2012*. ecuadorencifras.
- Latacunga Turismo. (2020). *Acerca de Latacunga*. Obtenido de latacungaturismo: <https://latacungaturismo.com/acerca-de-latacunga/>
- Ministerio del Ambiente Perú. (2021). *Bicentenario Perú 2021*. Recuperado el 2022, de Calidad de aire: <https://infoaireperu.minam.gob.pe/calidad-de-aire/#:~:text=La%20presencia%20o%20ausencia%20de,microorganismos%2C%20o%20la%20apariciencia%20f%C3%ADsica>.
- Monedero Ramos, J. (2015). *NATURALEZA EN EL RINCÓN DE ADEMUZ*. RINCÓN DE ADEMUZ.
- Morales, M. (14 de junio de 2020). *¿ Qué es un bioindicador?* Obtenido de Biblioteca Digital Universidad de Chile:: <http://bdigital.unal.edu.co/10195/1/naferedivarmoralessalinas.2011.pdf>
- Naranjo, D., Yanez Ayabaca, A., & Zambrano Cevallos, R. (2022). *Common Lichens of Quito's Botanical Garden*. Quito: Jardín Botánico de Quito, Pichincha, Ecuador .
- Nash III, T. (2001). *Lichen Biology*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Neurohr, E. J., Monge-Nájera, & Estrada, V. (2013). *Uso del Sistema de Información Geográfica y líquenes para mapear la contaminación del aire en una ciudad tropical: San José, Costa Rica*. San José: Revista de Biología Tropical.
- Nimis, P. L., Scheidegger, C., & Wolseley, P. (2000). *Monitorin with lichens - Monitoring*. Wales: Kluwer Academic Publishers.
- Ocho, D., & Cuevas, A. (2015). *Cambios en la composición de líquenes epifitos*. Loja: Scielo.
- OMS. (27 de septiembre de 2016). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de La OMS publica estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud: <https://www.who.int/es/news/item/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>
- OMS. (19 de diciembre de 2022). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- PDyOT Latacunga. (2016). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2016-2028 Latacunga*. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Peña Cañón, E., & Metz, F. (2015). *Líquenes como bioindicadores de contaminación en São Gabriel*. Obtenido de RS: https://www.google.com/search?ei=k1FIX_OsC6785gKFt47AAw&q=Líquenes+como+bioindicadores+da+polui%C3%A7%C3%A3o+em+S%C3
- Proyecto Biosfera. (2020). *Gobierno de España*. Obtenido de La energía externa del planeta 3º E.S.O.: http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/3ESO/energia_externa/contenidos6.htm
- Quijano, A. M., Ramirez, O. D., Domínguez, R. M., & Londoño, V. J. (2021). *Líquenes como biosensores para la evaluación de contaminación atmosférica urbana y sub urbana en un valle de montaña tropical, Rionegro, Antioquia*. Rionegro: Grupo de Investigación Unidad de Biotecnología, Universidad Católica de Oriente, Rionegro, Colombia.
- Reinoso Garzón, L. (18 de Agosto de 2018). *pressreader*. Obtenido de La Hora Ecuador: <https://www.pressreader.com/>
- Rivera, G. (2007). *Conceptos Introductorios a la Fitopatología*. Costa Rica: EUNED.

- Rivera, O. (1975). *Critique of concepts and techniques regarding biological indicators*. Zool.
- Rubiano Olaya, L., & Chaparro, M. (1988). *Delimitación de áreas de isocontaminación atmosférica en el campus de la universidad nacional de Colombia mediante el análisis de bioindicadores (líquenes epífitos)*. Colombia.
- Rubiano, I. J. (1990). Líquenes como indicadores de contaminación en el Complejo Industrial de Betania y la Termoeléctrica de Zipaquirá Cundinamarca. *Acta Biológica Colombiana*, (págs. 95-125). Cundinamarca.
- Santoni, C. S., & Lijteroff, R. (2006). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DE BIOINDICADORES EN LA PROVINCIA DE SAN LUIS, ARGENTINA*. San Luis: Rev. Int. Contam. Ambient. 22 (1) 49-58, 2006.
- Segura, B. S. (2013). *“CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN SEIS PARQUES RECREACIONALES DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO MEDIANTE EL USO DE BIOINDICADORES”*. Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Simijaca Salcedo, D. F., Vargas Rojas, D. L., & Morales Puentes, M. E. (2014). *USO DE ORGANISMOS VEGETALES NO VASCULARES COMO INDICADORES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA URBANA (TUNJA, BOYACÁ, COLOMBIA)*. Bogotá: ACTA BIOLÓGICA COLOMBIANA.
- Sosa, M. (2011). *Química I*. Pearson Educación.
- SSF. (2015). RED DE PARCELAS PERMANENTES PARA EL SEGUIMIENTO INTENSIVO Y CONTINUO DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES. En S. d. (SSF), *INVENTARIO DE LÍQUENES EPÍFITOS* (págs. 4-7). COMISIÓN ECONÓMICA PARA EUROPA DE NACIONES UNIDAS.
- Ucrospoma Jara, M. (1991). ESPACIO Y DESARROLLO. N2 3. En M. Ucrospoma Jara, *RAMALINA (LICHENS) EN LOS PARQUES DE LIMA* (pág. 32). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ulloa Enríquez, F. (27 de enero de 2016). *LA CONGESTIÓN EN LATACUNGA*. Obtenido de Blogspot: http://panchoullloaenriquez.blogspot.com/2016/01/la-congestion-en-latacunga_27.html
- Varona, M. (1997). *Cuaderno de campo del treparriscos*.

Vélez Benjumea, E. (agosto de 2020). *Territorios Sostenibles*. Obtenido de ¿Cuáles son los contaminantes primarios del aire y cómo afectan a las poblaciones más vulnerables?: <https://territoriosostenibles.com/calidad-del-aire/contaminantes-primarios-aire/>

Zesta, E. (25 de marzo de 2018). *Geospace Physics Laboratory*. Obtenido de La magnetosfera de la Tierra: <https://ciencia.nasa.gov/la-magnetosfera-de-la-tierra>

16. ANEXOS

16.1. Anexo A. -Permiso Ambiental



UNIDAD DE PLANIFICACION AMBIENTAL Y PATRIMONIO NATURAL

MEMORANDO N° 005/UPAYPN/2022

DE: Ing. Marcelo Mantilla
ASISTENTE TECNICO 1

PARA: Srta. Mayra Zambrano
ESTUDIANTE DE LA UTC

ASUNTO: SOLICITUD DE PERMISO PARA REALIZAR PROYECTO DE INVESTIGACION.

FECHA: 05 de diciembre del 2022.

En base al Memorando Nro. GADCL-DAMB-2022-3151-M, y en referencia al Oficio S/N, en el que solicita el permiso correspondiente para realizar el Proyecto de Investigación **EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DE LIQUENES COMO BIOINDICADORES EN TRES PARQUES DEL CANTON LATACUNGA**, en los siguientes parques **Vicente León, San Francisco y Filantropía**, en razón a esto se le **AUTORIZA** realizar el Proyecto de Investigación por parte de la Unidad de Planificación Ambiental y Patrimonio Natural.

Particular que se comunica para los fines legales pertinentes.

Atentamente



Ing. Marcelo Mantilla
ASISTENTE TECNICO 1

www.latacunga.gob.ec

Calle Sánchez de Orellana y Ramírez Fita
03333222 03333222
alcaldia@latacunga.gob.ec
GADM Latacunga

16.2. Anexo B. –Registro Fotográfico



1. *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.)



2. *Parmelia* Sp.



3. *Candelaria concolor* (Dicks.)



4. *Heterodermia* (Sp)

16.3. Anexo C. – Cálculo del IPA

N°	Estación 1		Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5	Estación 6
Especie	Fl	Fr	Fl	Fl	Fl	Fl	Fl
N° de Árb.	4	1	5	5	5	5	5
Prom. cob.	13,0	10	20	12	14,0	13	14
Prom. frec.	0,9	1,1	0,4	0,8	0,7	0,8	0,6
Fi	17,91	12,10	25,40	17,80	19,70	18,80	19,60
Qi	1,50	1,00	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
Nj	6	6	6	6	6	6	6
Fi*Qi	19,41	13,10	27,07	19,47	21,37	20,47	21,27
N° especies	4	1	4	4	4	4	4
IPA	5		4	4	4	4	4

16.4. Anexo D. -Aval de Traducción



CENTRO
DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DE LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN TRES PARQUES DEL CANTÓN LATACUNGA”** presentado por: **Mayra Stephanie Zambrano Sandoval**, estudiante de la Carrera de: **Ingeniería Ambiental**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a la peticionaria hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, marzo del 2023

Atentamente,



Mg. Bolívar Maximiliano Cevallos Galarza.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 091082166-9