



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**CALIDAD DEL AIRE EN TRES PARQUES  
RECREACIONALES DEL CANTÓN CUENCA, ECUADOR  
MEDIANTE EL USO DE BIOINICADORES LIQUÉNICOS.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

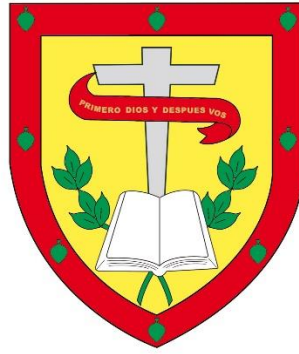
**AUTOR: DOMENICA DANIELA ORRALA VASQUEZ**

**DIRECTOR: ING. MANUEL SALVADOR ALVAREZ VERA, PHD**

**CUENCA - ECUADOR**

**2024**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**CALIDAD DEL AIRE EN TRES PARQUES  
RECREACIONALES DEL CANTÓN CUENCA, ECUADOR  
MEDIANTE EL USO DE BIOINICADORES LIQUÉNICOS.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: DOMENICA DANIELA ORRALA VASQUEZ**

**DIRECTOR: ING. MANUEL SALVADOR ALVAREZ VERA, PHD**

**CUENCA - ECUADOR**

**2024**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Domenica Daniela Orrala Vasquez portador de la cédula de ciudadanía N° 0106549009. Declaro ser el autor de la obra: "Calidad del aire en tres parques recreacionales del cantón Cuenca, Ecuador mediante el uso de bioindicadores liquénicos", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 11 de marzo de 2024

F:   
Domenica Daniela Orrala Vasquez  
0106549009

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Domenica Daniela Orrala Vasquez, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Manuel Salvador Alvarez Vera, Ph.D.**

**DIRECTOR**

## **AGRADECIMIENTOS**

Como primer punto debo agradecer a Dios y a la virgen, por brindarme la oportunidad de realizar un sueño, alcanzar una meta más en mi vida. Aprecio profundamente su constante apoyo, evitando que me desanimara en ningún momento. A lo largo de la carrera, enfrenté diversas complicaciones, sin embargo, gracias a mi fortaleza interior, logré superar cada obstáculo con determinación. Su contribución ha sido invaluable, y estoy agradecido por la inspiración y respaldo que me ha proporcionado durante este significativo trayecto.

Agradezco a mis padres quienes me han dado la fuerza y han sido el motor de mi esfuerzo para concluir con mi carrera, mi madre Mónica quien ha hecho lo posible para ayudarme en este camino se lo agradezco de corazón por darle el valor y las palabras correctas al decir “No te rindas sigue adelante” esas palabras que no olvidaré que hizo lo imposible por darme lo que necesitaba.

Expreso mi gratitud hacia una persona significativa en mi vida, Anthony Mora, por su apoyo constante, sus consejos, sus palabras alentadoras y su afecto, que me han impulsado a seguir adelante y a no rendirme. Hoy reconozco que, gracias a él, estoy logrando alcanzar otro objetivo importante en mi vida.

Agradezco a mis compañeros de aula por saber trabajar en equipo y también por echarme la mano en cada ciclo que avanzamos porque aprendemos cada día algo nuevo. Para poder llegar a cumplir lo que un día nos propusimos ser colegas compañeros tal vez un día de trabajo.

Expreso mi más sincero agradecimiento al Ingeniero Manuel Alvarez, mi tutor de tesis, quien brindó su apoyo y enriqueció mi investigación con su vasto conocimiento. Asimismo, deseo expresar mi reconocimiento al Ingeniero Vinicio Santillán, cuya valiosa contribución y disponibilidad de tiempo han sido fundamentales para mi desarrollo académico. Agradezco sinceramente la colaboración de ambos.

Deseo expresar mi el más grande agradecimiento a todos los educadores los cuales nos han brindado sus experiencias vividas además de su conocimiento, permitiéndonos desarrollarnos de manera óptima en el ámbito laboral. A lo largo de mi formación académica, he acumulado diversas vivencias, y quiero expresar mi gratitud a cada uno de ustedes por compartir sus experiencias, enriqueciendo así mi aprendizaje y preparándome de manera integral para los desafíos profesionales que puedan surgir.

## DEDICATORIA

Se lo dedico a Dios y a la vida por posibilitarme continuar esta enriquecedora trayectoria académica, así como por las valiosas experiencias y conocimientos adquiridos a través de mi participación en la universidad. Expreso mi sincero reconocimiento a los educadores, quienes han desempeñado un papel crucial como pilares fundamentales en mi desarrollo académico. Además, mi agradecimiento se extiende a mis colegas y a todos los integrantes de la comunidad universitaria en la Universidad Católica de Cuenca.

Aprovecho esta ocasión para extender mi agradecimiento a mi querida madre, Mónica, y a mi padre, Pablo, así como a mis amados hermanos, Bryam y Abraham. Este logro en mi vida no solo representa mi esfuerzo individual, sino también el apoyo incondicional y las vivencias compartidas con cada uno de ustedes. Cada emoción compartida y cada instante de apoyo han sido fundamentales en mi trayectoria. Espero sinceramente que mi continuo crecimiento y logros les llenen de orgullo, ya que cada meta alcanzada es también un tributo a la unidad y fortaleza que nos caracteriza como familia. Agradezco profundamente su constante respaldo y estoy emocionada por seguir construyendo juntos este camino lleno de éxitos y momentos significativos.

Es imperativo resaltar mi profundo agradecimiento hacia aquella persona que generosamente dedicó su tiempo y brindó un apoyo incondicional desde los primeros pasos de mi carrera. Su constante presencia fue un sostén invaluable; estuvo a mi lado en momentos que percibía como los más desafiantes de mi vida. Expreso mi más sincero reconocimiento a Anthony Mora por su mano amiga y apoyo constante. No pasaré por alto el respaldo que me ofreciste, y quiero asegurarte que estaré aquí para respaldarte en la consecución de tus propios sueños. La culminación de esta meta no habría sido posible sin tu colaboración, y ahora, con gratitud, puedo afirmar que tu dedicación ha sido fundamental. Ahora digo que debes sentirte orgulloso por haber compartido tu tiempo y por alentarme a esforzarme continuamente sin rendirme.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
CERTIFICACIÓN	IV
AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABLAS	XII
LISTA DE ANEXOS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
CAPÍTULO I	- 1 -
1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1 <i>Objetivos</i>	- 3 -
1.1.1 <i>General</i>	- 3 -
1.1.2 <i>Específicos</i>	- 3 -
CAPÍTULO II	- 4 -
2. REVISIÓN DE LITERATURA	- 4 -
2.1 AIRE	- 4 -
2.2 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	- 4 -
2.2.1 <i>Fuentes de contaminación del aire</i>	- 4 -
2.3 TIPOS DE CONTAMINANTES	- 5 -
2.3.1 <i>Contaminantes primarios</i>	- 5 -
2.3.2 <i>Contaminantes secundarios</i>	- 7 -
2.4 CALIDAD DEL AIRE EN CUENCA Y LOS MEGAPARQUES	- 8 -
2.4.1 <i>Índice de calidad del aire (ICA)</i>	- 8 -
2.4.2 <i>Índice de calidad del aire en Cuenca</i>	- 8 -
2.4.3 <i>Calidad del aire y áreas verdes</i>	- 9 -

2.4.4 Megaparques en Cuenca	- 9 -
2.5 MÉTODOS BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE	- 10 -
2.5.1 Índice de pureza atmosférica (IPA)	- 10 -
2.6 DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y SUS INDICADORES	- 11 -
2.6.1 Bioindicadores atmosféricos	- 11 -
2.6.2 Índice de Shannon- Wiener	- 12 -
2.6.3 Índice de Pielou	- 12 -
2.7 COMPARACIONES ESTADÍSTICAS PARA LA CALIDAD DEL AIRE	- 12 -
2.7.1 Análisis Anova	- 12 -
2.8 SOFTWARE IMAGE J	- 13 -
2.9 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	- 13 -
2.10 PROGRAMA R	- 13 -
2.11 MARCO LEGAL	- 14 -
2.11.1 Objetivos de desarrollo sostenible (agenda 2030)	- 14 -
2.11.2 Código orgánico del ambiente	- 14 -
2.11.3 Normas generales para concentraciones de contaminantes criterio en el aire ambiente	- 16 -
2.11.4 Ordenanzas de la ciudad de Cuenca	- 16 -
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>- 18 -</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>- 18 -</b>
3.1 ZONA DE ESTUDIO	- 18 -
3.1.1 Parque Tarqui-Guzho	- 19 -
3.1.2 Parque de La Luz	- 19 -
3.1.3 Parque Ictocruz	- 20 -
3.2 DETERMINACIÓN DE LA DIVERSIDAD LIQUÉNICA EN PARQUES DE CUENCA: UN ENFOQUE PARA ESTIMAR LA PUREZA ATMOSFÉRICA.	- 21 -
3.2.1 Establecimiento de las unidades muestréales	- 21 -

3.2.2	<i>Determinación de la riqueza de especies</i>	_____	- 22 -
3.2.3	<i>Determinación del índice de Shannon- Wiener</i>	_____	- 23 -
3.2.4	<i>Equidad de Pielou</i>	_____	- 23 -
3.2.5	<i>Procesamiento de los datos por medio de la aplicación Image J</i>	_____	- 23 -
3.2.6	<i>Cálculo del Índice de Pureza Atmosférica</i>	_____	- 23 -
3.3	RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE:	_____	- 24 -
3.3.1	<i>Calculo el Índice de Calidad del Aire (ICA)</i>	_____	- 25 -
3.3.2	<i>Relaciones estadísticas</i>	_____	- 26 -
3.3.3	<i>Importación de datos a Rstudio:</i>	_____	- 27 -
3.4	GEORREFERENCIA DE LOS ÍNDICES DE PUREZA ATMOSFÉRICA DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO EN EL CANTÓN CUENCA.	_____	- 27 -
3.4.1	<i>Análisis espacial de las especies liquénicas</i>	_____	- 27 -
<b>CAPÍTULO IV</b>			<b>- 28 -</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>			<b>- 28 -</b>
4.1.	BIODIVERSIDAD DE ESPECIES LIQUÉNICAS.	_____	- 28 -
4.1.2	<i>Índice de Pureza Atmosférica</i>	_____	- 37 -
4.2	RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) GENERAL Y EL ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA (IPA).	_____	- 41 -
4.3	MAPA DE GEORREFERENCIA DEL ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA	_____	- 44 -
<b>CAPÍTULO V</b>			<b>- 47 -</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b>			<b>- 47 -</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>			<b>- 48 -</b>
<b>6. RECOMENDACIONES</b>			<b>- 48 -</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>			<b>- 49 -</b>
<b>ANEXOS</b>			<b>- 55 -</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Puntos de muestreo dentro de la ciudad de Cuenca. \_\_\_\_\_ - 18 -
- Figura 2** Área del Megaparque Tarqui-Guzho. \_\_\_\_\_ - 19 -
- Figura 3** Área del Megaparque La Luz. \_\_\_\_\_ - 20 -
- Figura 4** Área del Megaparque Ictocruz. \_\_\_\_\_ - 21 -
- Figura 5** Se muestra la gradilla que se implementó en las zonas de estudio. a) Metodología ocupada en los diferentes parques; b) Muestra del levantamiento in situ de las especies líquénicas. \_\_\_\_\_ - 22 -
- Figura 6** Calidad del aire en Cuenca mostrando los principales contaminantes del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE). \_\_\_\_\_ - 24 -
- Figura 7** Comportamiento de las áreas evaluadas en cada una de las ciudades. \_\_\_\_ - 29 -
- Figura 8** Orden de muestra de las especies desde la más abundante hasta la menos abundante por parque (La Luz, Tarqui-Guzho, Ictocruz). \_\_\_\_\_ - 32 -
- Figura 9** Orden de muestra de las especies por árbol (LA01:LA05; TA01:TA05; IA01:IA05) en los tres parques, en orden de La Luz, Tarqui-Guzho, Ictocruz indicando el índice de Shannon en la equitatividad por árbol. \_\_\_\_\_ - 33 -
- Figura 10** Gráfica de cajas para la riqueza de especies en los tres parques evaluados.- 34 -
- Figura 11** Gráfica de cajas para la densidad de las especies en los tres parques evaluados. \_\_\_\_\_ - 35 -
- Figura 12** Gráfica de cajas para el índice de Shannon-Wiener de las especies encontradas en cada uno de los tres parques evaluados. \_\_\_\_\_ - 36 -
- Figura 13** Gráfica de cajas para el índice de Pielou (Evenness) en cada uno de los tres parques. \_\_\_\_\_ - 36 -
- Figura 14** Resultado del Índice de pureza atmosférica. \_\_\_\_\_ - 38 -
- Figura 15** Gráfica de cajas para el IPA en cada uno de los tres parques evaluados. - 39 -
- Figura 16** Zonas de estudio de bioindicadores líquénicos a través del IPA por Galarza, 2019 y autora 2023 en Cuenca. COLOCAR EN DIFERENTE COLOR \_\_\_\_\_ - 40 -
- Figura 17** Dispersión del IPA en zonas del estudio de bioindicadores líquénicos a través del IPA en 2019 y 2023. \_\_\_\_\_ - 40 -

**Figura 18** *Grafica de los ICA por contaminante en relación con cada uno de los parques.*

---

- 44 -

**Figura 19** *Proyección de los valores del IPA para los parques de la ciudad de Cuenca.*

---

- 45 -

**Figura 20** *Proyección de los valores del IPA para los parques de la ciudad de Cuenca en el año 2019.*

---

- 45 -

**Figura 21** *Número de artículos por continente estudiados el índice de pureza atmosférica.*

---

- 46 -

**Figura 22** *Fotografía de las especies evaluadas en el parque La Luz.*

---

- 55 -

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Valores del índice de pureza atmosférica para las diferentes zonas de estudio.	- 10 -
<b>Tabla 2</b> Métodos de medición y sensores en las diferentes estaciones de la EMOV EP	- 25 -
<b>Tabla 3</b> Estándares aceptables de contaminación atmosférica según el Índice de Calidad del Aire (ICA).	- 26 -
<b>Tabla 4</b> Especies líquénicas encontradas en la zona de estudio.	- 28 -
<b>Tabla 5</b> Riqueza y densidad en los puntos de monitoreo de cada árbol muestreado como código de (LA01:LA05; TA01:TA05; IA01:IA05); e índice de Shannon- Wiener.	- 31 -
<b>Tabla 6</b> Prueba de Tukey en la riqueza	- 34 -
<b>Tabla 7</b> Prueba de Tukey en la densidad	- 35 -
<b>Tabla 8</b> Prueba de Tukey en el índice de Shannon-Wiener	- 36 -
<b>Tabla 9</b> Prueba de Tukey en el índice de Pielou	- 37 -
<b>Tabla 10</b> Resultado del Índice de pureza atmosférica.	- 37 -
<b>Tabla 11</b> Prueba de Tukey en el IPA	- 39 -
<b>Tabla 12</b> Relación del índice de pureza atmosférica, transporte y uso del suelo.	- 39 -
<b>Tabla 13</b> Correlación de Pearson del IPA e ICA.	- 41 -
<b>Tabla 14</b> Relación entre riqueza, ICA_SO <sub>2</sub> por contaminante e IPA.	- 42 -
<b>Tabla 15</b> Relación entre densidad, ICA por contaminante e IPA.	- 42 -
<b>Tabla 16</b> Relación entre Pielou (Evenness), ICA por contaminante e IPA.	- 42 -

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1:** Fotografía de la gradilla para el muestreo de los datos *in situ* de cada área para la toma de imágenes dentro la zona de estudio. \_\_\_\_\_ - 55 -
- Anexo 2:** Fotografía de la colocación de la gradilla en cada árbol muestreado en los tres parques \_\_\_\_\_ - 55 -
- Anexo 3:** Medidas *in situ* para poder probar la metodología utilizada \_\_\_\_\_ - 57 -
- Anexo 4:** Fotografías del manejo de los programas “Excel” y “Image J” que sirvieron para determinar el grado de contaminación existente en la zona de estudio. \_\_\_\_\_ - 58 -
- Anexo 5:** Fotografías del manejo de los programas “Excel” que sirvieron para determinar la riqueza y abundancia de las especies líquénicas tomadas *in situ*. \_\_\_\_\_ - 60 -
- Anexo 6:** Fotografías del manejo del programa “Rstudio” que sirvieron para determinar resultados de riqueza, abundancia, Shannon, y las correlaciones. \_\_\_\_\_ - 63 -
- Anexo 7:** Script usado en el programa “R” que sirvieron para determinar resultados de Shannon, por parque. \_\_\_\_\_ - 64 -
- Anexo 8:** Script usado en el programa “R” que sirvieron para determinar resultados de Shannon, por árbol. \_\_\_\_\_ - 66 -
- Anexo 9:** Fotografías de los datos obtenidos por la empresa de movilidad tránsito y transporte EMOV EP para evaluar el índice de calidad del aire de la ciudad de Cuenca de los años 2018 hasta el 202 \_\_\_\_\_ - 70 -

## RESUMEN

El estudio evaluó la calidad del aire en tres parques recreativos de Cuenca, Ecuador, utilizando bioindicadores liquénicos en los parques La Luz, Tarqui-Guzho e Ictocruz. Se recolectaron datos primarios tomados in situ de los bioindicadores y secundarios tomados de la Empresa Municipal de Movilidad, EMOV-EP de la calidad físico-química del aire. Se evidenció que el parque Ictocruz tiene mayor riqueza de especies que Tarqui-Guzho y La Luz. El índice de pureza atmosférica mostró que Ictocruz tiene mejor calidad del aire que Tarqui-Guzho y La Luz. Se hallaron diferencias significativas en el Índice de Calidad del Aire (ICA) por contaminante, destacándose el ICA<sub>PM<sub>2.5</sub></sub>. El estudio confirmó la fiabilidad del Índice de Pureza Atmosférica para evaluar la calidad del aire en entornos urbanos, sugiriendo la efectividad de los líquenes como indicadores. Estos resultados subrayan la importancia de continuar utilizando bioindicadores para monitorear la calidad del aire de manera continua y sistemática, junto con la necesidad de estrategias interdisciplinarias para una gestión ambiental efectiva en la ciudad.

**Palabras clave:** bioindicadores liquénicos, índice de pureza atmosférica, parques, calidad del aire

## ABSTRACT

The study assessed the air quality in three recreational parks in Cuenca, Ecuador, using lichen bioindicators in the La Luz, Tarqui-Guzho, and Ictocruz parks. Primary data regarding the physicochemical air quality were collected on-site from the bioindicators, and secondary data were obtained from the Municipal Mobility Company, EMOV-EP. Ictocruz Park has a more extraordinary species richness than Tarqui-Guzho and La Luz. The atmospheric purity index showed that Ictocruz has better air quality than Tarqui-Guzho and La Luz. Significant differences were found in the Air Quality Index (AQI) by pollutant, with PM<sub>2.5</sub> AQI being noteworthy. The study confirmed the reliability of the Atmospheric Purity Index for assessing air quality in urban environments, suggesting the effectiveness of lichens as indicators. These results underscore the importance of using bioindicators to monitor air quality continuously and systematically, along with the need for interdisciplinary strategies for effective environmental management in the city.

*Keywords:* lichen bioindicators, atmospheric purity index, parks, air quality.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

La degradación de la calidad del medio ambiente es evidente y puede generar consecuencias adversas tanto para los sistemas ecológicos como para la salud de la población humana (WHO, 2006). La polución atmosférica constituye un desafío fundamental en numerosas áreas metropolitanas (ANEMA, 2018). Por tanto, se pueden distinguir en dos escalas en cuanto a las perturbaciones. En la estructura de la atmósfera, se pueden identificar dos niveles de escalas de influencia: a) a niveles locales, regionales y de larga distancia, y b) a nivel global (Galarza, 2019). En la primera, se consideran las contribuciones de específicos contaminantes, como gases de efecto invernadero o aerosoles atmosféricos, mientras que, en la segunda, se aborda la posibilidad de alterar el equilibrio terrestre y, por ende, provocar modificaciones climáticas. Este fenómeno puede manifestarse a través de la destrucción de componentes atmosféricos, como el ozono estratosférico, destacando la complejidad de las interacciones en distintas escalas y la potencial influencia en el clima (Landman, 2010).

De acuerdo con la información proporcionada de los informes de la OMS (2016), el 90% de la humanidad global están expuestas a concentraciones elevadas de agentes contaminantes en la atmósfera. Las últimas estimaciones señalan que anualmente fallecen aproximadamente siete millones de individuos a causa de la polución atmosférica, tanto en ambientes al aire libre como en ámbitos domésticos (OPS y OMS, 2016). Conforme a los datos proporcionados por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), se calcula que, en Ecuador, 500 individuos pierden la vida anualmente debido a esta circunstancia (OPS., 2018).

La ciudad de Cuenca, ubicada en Ecuador, no escapa a esta problemática, la cual se atribuye al crecimiento demográfico, progreso tecnológico y uso desmesurado de transporte, factores que han generado un incremento significativo en los niveles de contaminación ambiental (Jerves y Armijo -Arcos, 2016). La acelerada urbanización e industrialización comúnmente implica un incremento en la probabilidad de vulnerabilidad al exponerse a contaminantes atmosféricos (Chen et al., 2018), que se está convirtiendo en un problema grave para el mundo actual (López et al., 2022).

Las fuentes primordiales de contaminación se clasifican en dos categorías: por un lado, las fuentes fijas, entre las cuales se destaca el parque industrial ubicado en la ciudad de Cuenca en una zona urbana de la ciudad y las fuentes móviles, las más conocidas: transporte aéreo, terrestre y ferroviario. Entre los principales contaminantes están: monóxido de carbono CO, ozono O<sub>3</sub>, dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub>, dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> (Palacios y Espinoza, 2014).

El elevado transporte en las ciudades es la principal fuente de cambios en la calidad del aire se ve afectada por la emisión de agentes contaminantes provenientes de los motores de combustión

interna (Lijteroff et al., 2009). La ciudad cuenta con un sistema de vigilancia para evaluar la calidad del aire, estos se encuentran con estaciones en la ciudad dirigidas por la Empresa Pública de Movilidad, Tránsito y Transporte (EMOV EP).

El monitoreo de la calidad de aire se puede realizar mediante organismos bioindicadores los cuales han experimentado un notable progreso en las últimas décadas; estas poseen la reacción de responder, adaptarse a modificaciones en la calidad ambiental, tanto de manera individual como colectiva (Abas, 2021). El uso de líquenes como bioindicadores proporciona una comprensión especial dentro del ambiente y se encuentran disponibles diferentes métodos de bioindicación según su reacción (Nali et al., 2007). Desde entonces, los líquenes han sido el indicador biológico más estudiado (Asta et al., 2002; Boonpeng et al., 2018).

El índice de pureza atmosférica con sus siglas IPA tiene el propósito de evaluar y supervisar las alteraciones ambientales en concordancia con los impactos derivados de la contaminación del aire en muchos países europeos (Lijteroff et al., 2009). Este emplea un cálculo matemático cuantitativo, es el método más conocido al estimar el resultado de la contaminación en los líquenes epífitos (Firdous et al., 2017).

El índice de calidad del aire (ICA) es de verificación inmediata de manera práctica y asequible de evaluar la calidad conforme a los informes proporcionados por las estaciones de monitoreo pertenecientes a la red nacional de vigilancia (U.S. Environmental Protection Agency, 2018). En Cuenca dicha información es analizada por la EMOV EP, en colaboración con el Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE) (EMOV, 2022).

Se propuso como hipótesis de trabajo que la hipótesis nula ( $H_0$ ) sostiene que no existe diferencia en la calidad del aire entre el Parque Ictocruz y los otros parques por medio de bioindicadores liquénicos, mientras que la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) afirma que la calidad del aire es superior en el Parque Ictocruz en comparación con los demás parques por medio de bioindicadores liquénicos.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 General**

Determinar la calidad del aire en tres parques recreacionales del cantón Cuenca, Ecuador mediante el uso de bioindicadores liquénicos y su relación con indicadores físico-químicos.

### **1.1.2 Específicos**

- Estimar la riqueza y la densidad de la comunidad liquénica en tres parques recreacionales de la ciudad de Cuenca mediante el análisis de la estructura y composición de la comunidad de líquenes para posteriormente calcular el índice de pureza atmosférica.
- Calcular ICAire mediante datos públicos de las estaciones fijas de la EMOV EP para comparar con el Índice de Pureza Atmosférica.
- Elaborar un mapa del índice de Pureza Atmosférica del aire mediante técnicas de geoestadística para georreferenciar la riqueza y densidad de los líquenes en las áreas de estudio en el cantón Cuenca.

## **CAPÍTULO II**

### **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **2.1 Aire**

El término aire se utiliza para referirse a la combinación de diversos gases que constituyen en el entorno. Estos se mantienen en todo el globo terrestre, debido a la influencia de la fuerza gravitatoria. En el planeta, la vida depende esencialmente del aire, este es especialmente delicado, fino, y etéreo. Es un recurso muy esencial y necesario para la vida del ser humano, organismos vivos, y puede ser un signo del deterioro y cambio en la salud. Ya que las industrias, automóviles, entre otros, emiten contaminantes que son causantes de enfermedades respiratorias y enfermedades de alto riesgo (OPS., 2018).

#### **2.2 Contaminación atmosférica**

Es la existencia de compuestos perjudiciales o tóxicos en concentraciones que representan un riesgo para los organismos vivos y el entorno ambiental. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Infancia UNICEF (2016), estos niveles pueden experimentar cambios rápidamente debido a factores como el clima, las actividades humanas y las fuentes de contaminación. La contaminación no conoce fronteras por ello puede extenderse a largas distancias (Caravanos et al., 2019; Landrigan et al., 2018; UNICEF, 2016).

La contaminación del aire está presente en todas partes, especialmente en las zonas urbanas, y puede repercutir en todas las personas durante toda su vida. Distintas fuentes emiten contaminantes que son afectados debido a factores ambientales tales como la temperatura y la humedad, influenciados, a su vez, por contaminantes que se transforman.

Las fuentes de liberación de contaminantes atmosféricos derivados de actividades humanas suelen presentarse en forma puntual, como es el caso de las instalaciones industriales. De acuerdo, a (Segura- Briones, 2013) también se puede pensar en una mezcla de fuentes fijas y móviles que se agrupan en diversos espacios, lo que resulta en efectos perjudiciales para la población.

##### **2.2.1 Fuentes de contaminación del aire**

Conforme al MADS (2017): la fuente de emisión, puede ser conceptualizada como cualquier actividad o procedimiento ejecutado por la población humana que tiene la capacidad de liberar contaminantes en la atmósfera. Estas fuentes se pueden clasificar en diferentes categorías según sus características, como su origen (naturales o antropogénicas) y el tipo de fuente (fijas o móviles).

##### **a) Fuentes fijas**

En relación con Moscoso Vanegas et al., (2018) las fuentes fijas se refieren a aquellos sistemas que liberan contaminantes a través de un ducto o chimenea. Por otro lado, las fuentes fijas difusas se caracterizan por emitir contaminantes a lo largo de toda una zona en lugar de concentrarse en una sola área. Las fuentes de emisión son locales y estacionales, sin embargo, la liberación de los contaminantes está dispersada. Las emisiones estacionarias son aquellas que provienen de equipos fijos y se liberan a través de chimeneas. Algunos ejemplos de fuentes de estas emisiones son el parque industrial, plantas de energía, las industrias manufactureras o de producción, las refinerías de petróleo, los vertederos, entre otros según (Silva et al., 2019).

#### b) Fuentes móviles

Es una fuente de emisión que está sujeta a movimiento, esto se debe a su uso o propósito, como por ejemplo los automotores o vehículos a motor de cualquier tipo. Aunque los automóviles a motor representan la principal fuente de emisiones contaminantes atmosférica, estos tienen la capacidad de desplazarse de manera autónoma y suelen ser utilizadas como medio de transporte y generan contaminantes a lo largo de su trayectoria (Vintimilla-Jarrín, 2015). Debido a la diversidad de modalidades de transporte disponibles, se sostiene que los vehículos representan la primera fuente que se encuentra en zonas urbanas (Ortega, 2018). Es importante destacar que los gases liberados por los sistemas de escape de los automóviles contienen plomo y pequeñas cantidades de contaminantes peligrosos, por lo tanto, el uso de medidas para el control de emisiones de los vehículos ha generado una drástica disminución en la cantidad de contaminantes liberados en la atmósfera (Vásquez-Camalle, 2022).

## 2.3 Tipos de contaminantes

### 2.3.1 Contaminantes primarios

#### a) Monóxido de carbono (CO)

Tiene su origen principalmente a lo largo del proceso de la combustión inadecuada de compuestos carbonados como: el gas natural, la madera, el carbón y productos procedentes del petróleo. Este gas posee características tóxicas y puede resultar letal en concentraciones elevadas al ser inhalado (EMOV EP., 2021).

El CO tiene diversas fuentes de origen, entre las cuales se incluyen:

- Vehículos de motor: Representan uno de los puntos fundamentales de generación de CO en el aire, dado que la generación de este gas se produce cuando el combustible no experimenta una combustión completa en el motor del vehículo.
- Aparatos de combustión: Dispositivos como hornos de gas, calderas de gas y calentadores de agua pueden ser productores de CO si no se les realiza el mantenimiento adecuado.
- Incendios: Representan una fuente significativa de emisión de CO, siendo este gas el resultado de la quema incompleta de materia orgánica.

### **b) Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

Es un compuesto de emanación incoloro con un aroma de carácter ácido, representando un importante contaminante atmosférico asociado con diversos problemas de salud y ambientales (EMOV, 2022).

La emisión de SO<sub>2</sub> proviene de distintas fuentes, las cuales se puede nombrar:

- Centrales eléctricas: Las instalaciones que utilizan carbón o petróleo se posicionan como uno de los principales causantes a nivel global.
- Industrias: Sectores industriales que emplean azufre en sus procesos, como la fabricación de papel y acero, también tienen la capacidad de generar SO<sub>2</sub>.
- Procesos naturales: El SO<sub>2</sub> puede generarse de manera natural mediante el proceso de descomposición de material de origen orgánico y fenómenos como erupciones volcánicas.

### **c) Material particulado 10 micras (PM<sub>10</sub>)**

Las partículas de tamaño reducido tienen su origen principalmente en emisiones directas asociadas a actividades de combustión, como la utilización de gasolina, la incineración de madera, la utilización de carbón para la producción de energía y diversos procedimientos industriales. Estas partículas finas tienen la capacidad de desplazarse considerablemente, incluso a distancias superiores a 100 kilómetros, lo que puede dar lugar a la generación de concentraciones significativas en un área extensa (Valavanidis et al., 2008).

La composición de estos fragmentos pequeños puede mostrar una marcada diversidad, dependiendo de las condiciones meteorológicas y de las actividades humanas realizadas en una determinada región geográfica (Valavanidis et al., 2008). Es crucial resaltar que las partículas finas y ultrafinas están especialmente vinculadas a efectos adversos significativos para la salud, dado que poseen la habilidad para infiltrarse en las zonas más internas del sistema respiratorio e incluso ingresar de manera directa al flujo sanguíneo (Franchini y Mannucci, 2011).

### **d) Material particulado 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>)**

Son emisiones frescas en fuentes asociadas a la combustión, tales como los gases de escape provenientes de automóviles y las reacciones fotoquímicas atmosféricas, y se reconocen como marcadores importantes de exposición a los gases de escape del tráfico a lo largo de las carreteras principales. Las PM<sub>2.5</sub> están contenidas en la fracción de partículas gruesas y representan aproximadamente el 50% de la masa total de PM<sub>10</sub>.

Las partículas finas pueden provenir de una variedad de lugares, como plantas de energía, automóviles, aeronaves, incendios forestales, quema agrícola, tormentas de polvo, quema de madera y erupciones volcánicas. Varias de estas fuentes generan partículas finas directas al aire,

otras se forman como consecuencia de la interacción entre gases y partículas en la atmósfera (Flores et al., 2019).

### **2.3.2 Contaminantes secundarios**

#### **a) Ozono (O<sub>3</sub>)**

El ozono forma parte de una serie de oxidantes fotoquímicos que se forman como contaminantes secundarios debido a la exposición de la radiación solar en presencia de agentes contaminantes, siendo primarios, predominantemente óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (COV) (Ródenas, 2019).

#### **b) Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)**

Comprenden (NO), (NO<sub>2</sub>) y diversos óxidos nitrogenados. Estos compuestos se generan mayormente en procedimientos de combustión a temperaturas elevadas, como el motor de combustión de los diversos vehículos, las instalaciones industriales además de los procedimientos de quema de combustibles fósiles (EMOV EP, 2020).

#### **c) Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)**

Este compuesto se genera como consecuencia de procesos de combustión a elevadas temperaturas, especialmente en motores de combustión interna y en procedimientos industriales. La existencia de dióxido de nitrógeno en la atmósfera guarda una estrecha relación con las emisiones provenientes de vehículos y las actividades industriales que implican la incineración de combustibles de origen fósil. Además, su contribución en la contaminación atmosférica, el NO<sub>2</sub> puede tener efectos nocivos para el hombre al participar en la formación de partículas finas y contribuir a problemas respiratorios. Por consiguiente, su monitoreo y control son aspectos esenciales en la supervisión de la calidad de la atmósfera y resguardo de la salud de la población (EMOV EP, 2020).

#### **d) Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

Se presenta como un gas que, en circunstancias normales de temperatura y presión, carece de color, olor y sabor. Su importancia radica en su función crucial en el ciclo del carbono y en el fenómeno de la fotosíntesis de las plantas, el que es esencial para la conservación de la vida en el planeta Tierra. No obstante, en épocas recientes, se ha observado un aumento de dióxido de carbono en la atmósfera, contribuyendo al cambio climático y al aumento de la temperatura a nivel global. Este fenómeno se atribuye a la contribución del CO<sub>2</sub> al efecto invernadero, donde retiene el calor en la atmósfera (EMOV EP., 2021).

### **Dispersión de contaminantes**

Es el proceso por el que los contaminantes se mezclan con el aire lo cual puede ocurrir por una serie de factores (OPS., 2018):

- La turbulencia: Es el movimiento irregular del aire. La turbulencia puede ayudar a mezclar los contaminantes con el aire, lo que puede reducir su concentración en cualquier lugar.
- La convección: Es el movimiento del aire debido a las diferencias de temperatura. La convección puede ayudar a transportar los contaminantes hacia arriba en la atmósfera, donde pueden ser dispersados por los vientos (OPS., 2018).

### **Desplazamiento por acción del viento**

Es un tipo de dispersión que ocurre cuando los vientos mueven los contaminantes a lo largo del planeta. Los vientos tienen la capacidad de trasladar los contaminantes a distancias considerables, lo cual puede causar problemas de contaminación en áreas remotas. El desplazamiento por acción de la calidad del aire constituye un elemento crucial en la difusión del contaminante en la atmósfera, como el dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, y el material particulado (Simioni, 2020).

## **2.4 Calidad del aire en Cuenca y los megaparques**

En Ecuador, se han llevado a cabo diversas investigaciones de la calidad del aire en las principales metrópolis dentro del territorio, como: Ambato, Quito, Esmeraldas, Guayaquil y Cuenca (MAATE, 2020). La calidad del aire en Cuenca es considerada adecuada para la mayoría de la población, y la presencia de contaminantes atmosféricos representa un riesgo bajo o nulo. Los megaparques se definen como áreas de gran extensión que destacan por su biodiversidad, tamaño e importancia ecológica (Romero, 2021). Además de su valor intrínseco, desempeñan un papel fundamental en la preservación de la biodiversidad, la protección de los recursos naturales, la mitigación del cambio climático y la prestación de servicios ecosistémicos.

### **2.4.1 Índice de calidad del aire (ICA)**

Se emplea como una herramienta que anuncia sobre la calidad del aire de forma diaria. Proporciona una indicación de la pureza o la falta de salud del aire, así como las posibles consecuencias negativas para la salud que podrían surgir preocupación. Este índice se centra en evaluar los impactos en la salud que podrían manifestarse en unas pocas horas o días después de la inhalación de aire contaminado (López et al., 2022; U.S. Environmental Protection Agency, 2016).

### **2.4.2 Índice de calidad del aire en Cuenca**

Este constituye una métrica que analiza la limpieza del aire en una región específica, teniendo en cuenta varios factores como la existencia de agentes contaminantes en la atmósfera, partículas en suspensión y otros elementos nocivos para la salud y el medio ambiente. Dentro de la ciudad en Cuenca, la calidad varía a lo largo del día según el Índice de Evaluación de la Calidad del Aire (2020) estos llevaron a cabo observaciones de monitoreo en el área urbana, la cual exhiben una marcada variabilidad, la cual atribuye a diversos factores que operan en escalas espaciales y temporales distintas (EMOV, 2022).

En Cuenca también hay mayores concentraciones de contaminantes en la atmósfera en lugares donde el estatus socioeconómico de la población es menor, en diversos estudios acerca del monóxido de carbono tiene relación con la prevalencia de enfermedades respiratorias en niños en edad escolar, identificando una mayor incidencia de casos entre los estudiantes de educación primaria en localidades como Cuenca y Quito (MAE, 2003; Palacios y Espinoza, 2014). En estas áreas también se presentan dificultades relacionadas con afecciones respiratorias, como se ve en los bebés al nacer llegan a tener un peso bajo (Palacios, 2018). Una investigación realizada en Cuenca reveló que al exponer partículas suspendidas ( $PM_{10}$ ) incrementa la probabilidad de fallecimiento a causa de cáncer de pulmón y trastornos cardiopulmonares (Palacios y Espinoza, 2014).

### **2.4.3 Calidad del aire y áreas verdes**

Los espacios verdes urbanos se consideran como zonas estratégicas, ya que fomentan el bienestar de los ciudadanos y reducen el impacto físico de las infraestructuras. Igualmente, cumplen funciones ambientales como: regulan la temperatura, aumentan la biodiversidad, disminuye del ruido y sirven como un mecanismo natural de purificación del aire al funcionar como un filtro, facilitando la eliminación de agentes contaminantes en la atmósfera, como el  $CO_2$  (Salbitano et al., 2016). De acuerdo a Matovelle (2018), se documentó que la ciudad de Cuenca disponía de 260 áreas que contaban con los requisitos establecidos para ser consideradas espacios verdes, los cuales incluían plazas, plazoletas y diversos tipos de parques, tales como los infantiles, barriales, zonales y lineales.

### **2.4.4 Megaparques en Cuenca**

El equipamiento de parques en el área urbana debe ser el resultado de una planificación anticipada, que tome en cuenta un enfoque multidisciplinario para evitar el aislamiento del parque respecto a la red de instalaciones existentes dentro del área urbana (Vargas y Roldán, 2018).

Estos lugares son de acceso público y abierto a todos, donde se pueden recopilar diversos tipos de información, como estadísticas (conteos), encuestas, fotografías, análisis físico-espaciales, entre otros. Los parques, como infraestructuras, deben ser sostenibles y respetuosos con la preservación del entorno natural. Para alcanzar este objetivo, es necesaria una política de gestión y una gestión adecuada del espacio público, que permita la creación de un plan de gestión. Este plan debe ser implementado y respaldado continuamente por entidades gubernamentales, asegurando que estos espacios se ajusten a los propósitos para los cuales fueron concebidos y construidos (Rivera, 2017).

Desde el año 2014, el Sistema de Megaparques ha sido incorporado en la ciudad de Cuenca bajo la categoría de "Parques y Áreas Verdes". Este sistema incluye la construcción de varios parques, como Tarqui- Guzho, La Luz, La Libertad, Ictocruz y el Jardín Botánico. Así mismo, abarca los parques de La Música y del Agua, los cuales han sido planificados para su integración dentro de su estructura en la ciudad (Chiriboga et al., 2021).

## 2.5 Métodos bioindicadores de la calidad del aire

Los procedimientos de bioindicación para evaluar la calidad del aire representan instrumentos empleados para analizar el estado y la salud del entorno atmosférico a través de la observación de seres vivos. Estos seres vivos, que incluyen: plantas, líquenes, musgos, hongos y ciertos invertebrados voladores y anfibios los que reaccionan de forma particular ante las variaciones en la composición química y física del aire, lo cual los convierte en indicadores altamente sensibles de la calidad del mismo.

### 2.5.1 Índice de pureza atmosférica (IPA)

Es un método de indicación de la calidad del aire por líquenes consiste al poder detectar, recolectar, identificar y mapear las especies, además de calcular él (IPA). La base de este Índice de Pureza Atmosférica conocido como IPA radica al recopilar datos de la frecuencia de distintas especies de líquenes englobando un sistema de muestreo (Lijteroff et al., 2009; Rhzaoui et al., 2015). El valor inferior de IPA denotan regiones con una escasa variedad de especies, en contraste, los valores elevados de índice de pureza atmosférica señalan áreas con una notable abundancia de especies. El enfoque ofrece una evaluación cuantitativa que distingue entre las áreas urbanas y rurales en términos de líquenes. Aunque la interpretación común de los valores de IPA se relaciona con la calidad del aire, las disparidades en el IPA o en la riqueza de las especies de líquenes también podrían originarse a las alteraciones en el hábitat (Santoni y Lijteroff, 2006) como se visualiza en la **Tabla 1** La cual indica la zonificación y la descripción de cómo se interpretarían los resultados del índice de pureza atmosférica.

**Tabla 1** Valores del índice de pureza atmosférica para las diferentes zonas de estudio.

Rangos	Zonas	Descripción
IPA min-	I	Falta de líquenes: zonas con niveles más elevados de contaminación.
-	II	Limitada presencia de líquenes: aún se evidencia la existencia de áreas afectadas por la contaminación.
-	III	Área de transición: caracterizada por una vegetación epífita que, aunque no es abundante, está adecuadamente representada.
-	IV	Región en la que la calidad del aire es propicia y propicia para el crecimiento de líquenes.
IPA max. Observado	V	Área abundante y propicia para el óptimo crecimiento de los líquenes.

**Fuente:** (Segura-Briones, 2013)

## **2.6 Diversidad biológica y sus indicadores**

La biodiversidad engloba la amplia gama de formas de vida presentes en distintos niveles de organización, abarcando la diversidad de especies, genes y ecosistemas (Sasa et al., 2022). En la actualidad, la biodiversidad es un tema de considerable interés y relevancia a nivel local, nacional y global debido a su impacto en diversas condiciones, tales como el entorno natural, las comunidades humanas, las tradiciones culturales y el ámbito económico. En la década de 1980, Wilson aludió a la amplia gama de formas de vida en el planeta, que incluye la variabilidad genética, la diversidad de especies y la amplitud de ecosistemas.

Los indicadores de biodiversidad son parámetros o rasgos empleados para analizar y seguir esta amplitud en un contexto geográfico específico (Feinsinger y Murcia, 2003). Estas son herramientas importantes en diversos campos, como el ambiental, económico, social, de salud, entre otros, ya que ayudan a comprender mejor la realidad, tomar decisiones informadas y realizar un seguimiento eficaz de los cambios o mejoras en una situación determinada.

### **2.6.1 Bioindicadores atmosféricos**

Los bioindicadores atmosféricos son organismos capaces de actuar, responder o ajustarse frente a modificaciones en la calidad del aire, tanto a nivel individual como comunitario. Existen ciertos indicadores biológicos que actúan como biomonitores sensibles o acumulativos. No obstante, hay indicadores biológicos que pueden desempeñar ambos, por ejemplo, los líquenes (Abas, 2021).

La utilización de bioindicadores permite facilita la obtención de datos acerca de las cantidades de agentes contaminantes que se encuentran en las concentraciones de sustancias nocivas. Según Vallarino et al., (2014), al ser vulneradas las especies a los cambios que se den en el ambiente, esto se debe a que depende de su capacidad para reaccionar, es decir, su capacidad de recuperación y para ajustarse a las nuevas condiciones climáticas, también denominada resiliencia. Este planteamiento establece que las especies que muestran una capacidad restringida para adaptarse a modificaciones en su entorno son consideradas las más susceptibles, y, por consiguiente, se emplean como indicadores biológicos de la calidad ambiental. Un ejemplo de estas especies incluye: abejas, líquenes, musgos, salamanquesas y gekos.

#### **a. *Líquenes como bioindicador***

Estos son organismos simbióticos fotosintético formados por hongos y por lo general algas verdes y cianobacterias, tienen un crecimiento lento. El uso de líquenes como bioindicadores proporciona un punto de vista especial sobre el entorno atmosférico (Nimis et al., 2002). Un gran número de especies de estos organismos únicos se caracterizan por una gran sensibilidad al impacto de la contaminación del aire y, por esta razón, pueden usarse como indicador de la contaminación.

Desde entonces, los líquenes han sido el indicador biológico más estudiado (Boonpeng et al., 2018; Nimis et al., 2002) y han sido definidos como: “sistemas de control permanente” para la

evaluación de la contaminación del aire. El creciente interés ha impulsado varios estudios, han evidenciado la utilidad de este como indicador biológico, destacando su capacidad para reflejar las diversas condiciones climáticas y la calidad de la atmósfera tanto en entornos urbanos como rurales (Molero et al., 2008).

### **2.6.2 Índice de Shannon- Wiener**

Este índice fue propuesto en 1963, cuantifica la diversidad de especies al tener en cuenta tanto la cantidad de especies presentes como la riqueza del sitio y su abundancia (Pla, 2006). El índice es una herramienta destacada para simplificar la diversidad biológica específica la que constituye el enfoque más abarcado y directo para evaluar la cantidad total de especies actuales en las áreas del muestreo in situ.

### **2.6.3 Índice de Pielou**

El Índice de Pielou, denominado también como índice de equitatividad o índice de uniformidad, se emplea en el campo de la ecología con el fin de analizar la equidad en la distribución de individuos entre diversas especies dentro de un ecosistema específico. Este indicador ofrece una medida de la proporción de equidad en la distribución de individuos en comparación con el total de especies presentes en dicho ecosistema.

## **2.7 Comparaciones estadísticas para la calidad del aire**

Se refiere a una medida que explica la conexión entre dos variables cuantitativas. Estas herramientas sirven para determinar si hay diferencias significativas entre varios estudios al compararlos. La evaluación estadística de la calidad del aire involucra la aplicación de enfoques cuantitativos con el propósito de analizar y contrastar distintos elementos vinculados con la composición atmosférica (López et al., 2022). Esta metodología es ampliamente empleada en la investigación ambiental y en la administración de la calidad del aire, con el objetivo de obtener datos acerca de la existencia y proporciones de contaminantes en el aire.

### **2.7.1 Análisis Anova**

El análisis de varianza (ANOVA) se emplea como un método estadístico para contrastar las medias de tres o más grupos, con el fin de discernir si al menos uno de ellos difiere significativamente de los demás (Juárez-Lugo, 2015). Este enfoque se fundamenta en la descomposición de la variación total presente en los datos en diversas fuentes de variabilidad, que incluyen la variación entre grupos y la variación dentro de los mismos. En consecuencia, el ANOVA proporciona a los investigadores la capacidad de determinar la presencia de disparidades significativas entre los grupos estudiados.

### **b. Prueba de Tukey**

Constituye un procedimiento estadístico empleado tras la realización de un análisis de varianza (ANOVA) con el propósito de identificar discrepancias significativas entre las medias de múltiples grupos (Batanero, 2013). Este método contrasta las divergencias entre todas las posibles combinaciones de pares de medias y establece si la disparidad entre cada pareja es estadísticamente significativa conforme al rango crítico determinado. Ampliamente difundida en la investigación científica y experimental, la prueba de Tukey se emplea para llevar a cabo comparaciones múltiples entre grupos con precisión, identificando cuáles presentan diferencias estadísticamente significativas después de haber detectado una discrepancia relevante en el ANOVA.

## **2.8 Software Image J**

ImageJ es un software de procesamiento de imágenes científicas de código abierto y sin costo alguno, se posiciona como una herramienta de gran valor en el ámbito de la investigación científica. Su diseño está orientado a simplificar el análisis de imágenes, posibilitando una precisión en la medición e identificación de áreas, así como la enumeración de objetos presentes en una imagen (Césari y Espartaro, 2020). La interfaz amigable y la flexibilidad inherentes lo convierten en una elección favorecida por investigadores y profesionales que buscan llevar a cabo análisis cuantitativos de imágenes en diversos campos, incluyendo la biología, medicina, investigación ambiental e ingeniería.

Además de su capacidad para procesar imágenes estáticas, ImageJ es empleado para examinar secuencias de imágenes, esta característica le confiere versatilidad como instrumento para rastrear cambios a lo largo del tiempo en investigaciones de naturaleza longitudinal (Vargas-Quesada, 2005). La accesibilidad de su código ha propiciado una comunidad activa de desarrolladores y usuarios, contribuyendo constantemente a su mejora, expansión y consolidándolo como una herramienta esencial en la investigación científica (Kunik, 2014).

## **2.9 Sistemas de información geográfica (SIG)**

Es un programa muy importante que posibilita la adquisición, conservación, evaluación y representación de la información geoespacial de una zona. Estos integran datos cartográficos que son los mapas, además de ello se tiene información de los atributos para mostrar mejor un área geográfica. Esta es la más óptima cuando se aborda datos relativos a la contaminación atmosférica, esta herramienta se presenta como sumamente efectiva (Wong et al., 2004) .

## **2.10 Programa R**

R es un lenguaje de programación y un software comúnmente empleados en el ámbito de la estadística y el análisis de datos. Su naturaleza de código abierto y gratuito lo convierte en una opción muy favorecida por investigadores, científicos de datos y analistas (Paradis y Ahumada,

2013). Este sistema proporciona una amplia variedad de herramientas para la manipulación de datos, la realización de análisis estadísticos, la creación de representaciones gráficas y la construcción de modelos predictivos. Asimismo, dispone de una amplia gama de paquetes y extensiones que permiten expandir sus capacidades funcionales (Santana y Farfán, 2014).

## **2.11 Marco legal**

### **2.11.1 Objetivos de desarrollo sostenible (agenda 2030)**

Estos objetivos tienen sus fundamentos en los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), los cuales se concentraron en la disminución de la pobreza, el mejoramiento de la salud y la educación, así como la promoción del desarrollo sostenible (Naciones Unidas, 2015).

### **13 Acción por el clima**

Ante la inminencia de un cataclismo climático, el ritmo y la escala de los actuales planes de acción por el clima son totalmente insuficientes para hacer frente al cambio climático con eficacia. Es crucial tomar medidas urgentes y transformadoras que vayan más allá de meros planes y promesas. Esto exige aumentar las ambiciones, abarcar economías enteras y avanzar hacia un desarrollo resiliente al clima, al tiempo que se traza una trayectoria clara para lograr cero emisiones netas (Naciones Unidas, 2015).

#### Metas del objetivo

**13.1** Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.

**13.2** Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.

**13.3** Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana (Naciones Unidas, 2015).

### **2.11.2 Código orgánico del ambiente**

El Código Orgánico del Ambiente (COA) representa la legislación ambiental preeminente en Ecuador. Su promulgación tuvo lugar en 2017, y su propósito fundamental es asegurar el derecho de los individuos a residir en un entorno saludable y ecológicamente equilibrado. Adicionalmente, el COA establece las disposiciones necesarias para la protección, conservación y utilización sostenible del ambiente en el país.

En la sección segunda del capítulo II perteneciente al título II de la constitución de la república denominada: Ambiente Sano, se menciona en el artículo 14 lo siguiente:

Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y

ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

En el capítulo II título VII manejo responsable del arbolado urbano en el artículo 152 se menciona que:

Del arbolado urbano para el desarrollo urbano sostenible. Con el fin de promover el desarrollo urbano sostenible, se reconoce como de interés público el establecimiento, conservación, manejo e incremento de árboles en las zonas urbanas, priorizando los árboles nativos en las zonas territoriales respectivas.

El Estado central otorgará incentivos a aquellos Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos o Municipales que contribuyan eficazmente al establecimiento, conservación e incremento del arbolado urbano.

En el artículo 153 de destaca lo siguiente:

De la participación ciudadana en la promoción y protección del arbolado urbano. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos fomentarán la participación ciudadana individual y organizada en la gestión del arbolado urbano, así como las iniciativas locales, privadas o comunitarias para su implementación, manejo, mantenimiento, uso y protección. Asimismo, potenciarán las actividades de las diversas organizaciones públicas y privadas que tengan por objeto el conocimiento, conservación, valoración y protección del arbolado urbano, especialmente aquellas que tengan por objeto el disfrute de sus valores ecológicos y culturales.

En el artículo 154 se menciona:

Forestación y reforestación en los espacios públicos. Se promoverán las actividades de forestación y reforestación de espacios públicos de acuerdo a criterios técnicos, ecológicos y socioculturales, destacándose el fomento del uso de especies forestales nativas con características ornamentales o de especies que contribuyan a los procesos ecológicos indispensables para mantener corredores ecológicos y la conectividad de la fauna propia de cada circunscripción territorial.

En el capítulo V denominado calidad de los componentes abióticos y estado de los componentes bióticos menciona los siguientes artículos:

El artículo 191 establece que:

Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto.

Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción.

Además, que el artículo 193 se menciona lo siguiente:

Evaluaciones adicionales de la calidad del aire. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, según corresponda, dispondrán evaluaciones adicionales a las establecidas en la norma a los operadores o propietarios defuentes que emitan o sean susceptibles de emitir olores ofensivos o contaminantes atmosféricos peligrosos. La norma técnica establecerá los métodos, procedimientos o técnicas para la reducción o eliminación en la fuente de emisiones de olores y de contaminantes atmosféricos peligrosos (Código Orgánico del Ambiente, 2018).

En el artículo 414 Título VII del capítulo II Naturaleza y ambiente establece que:

El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo.

### **2.11.3 Normas generales para concentraciones de contaminantes criterio en el aireambiente**

4.1.2.1 Para los contaminantes criterio del aire, definimos en 4.1.1.1, se establece las siguientes concentraciones máximas permitidas. La Autoridad Ambiental establecerá la frecuencia de revisión de los valores descritos en la presente norma de calidad de aire ambiente. La Autoridad Ambiental de Aplicación responsable acreditada en el Sistema Único de Manejo Ambiental utilizara los valores de concentraciones máximas de contaminantes del aire ambiente aquí definidos, para fines de elaborar su respectiva ordenanza o norma sectorial (MAE, 2003).

### **2.11.4 Ordenanzas de la ciudad de Cuenca**

Las ordenanzas se refieren a disposiciones municipales que supervisan las operaciones y actividades dentro de la ciudad. En el contexto específico de Cuenca, dichas ordenanzas reciben la aprobación del Concejo Municipal y poseen el estatus de leyes.

*Ordenanza que regula las condiciones para el mejoramiento de la calidad del servicio de transporte público de pasajeros de buses urbanos en el cantón cuenca y su plan de renovación.*

En el título II artículo 5 se describe lo siguiente:

Del límite de opacidad máximo inicial. - El límite de opacidad de emisiones para todo vehículo nuevo, adquirido por las diferentes operadoras de transporte público de buses urbanos de Cuenca, para la prestación de este servicio público, incluso para la renovación o cambio de unidad, deberá ser no mayor al 5%. El porcentaje de opacidad de emisiones no mayor al 5% deberá

respetarse por un lapso no menor a dieciocho meses contados a partir de la primera RTV de la nueva unidad

*Ordenanza que regula los procesos relacionados con la prevención, control, seguimiento y sanción de la contaminación ambiental dentro de la jurisdicción del cantón Cuenca.*

En el título II de los sujetos de control, consultores, facilitadores y laboratorios ambientales en artículo 9 se menciona:

El monitoreo, mediciones y análisis físico-químico, biológico y micro biológico para los diferentes parámetros permisibles que se requieren en las evaluaciones de impactos ambientales para ruido, gases, desechos, descargas, entre otras, deberán ser realizados por laboratorios certificados ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE).

# CAPÍTULO III

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto de investigación tiene un enfoque descriptivo, centrado en la recopilación de datos tanto primarios como secundarios. La información primaria se recolectó mediante observaciones in situ utilizando bioindicadores liquénicos en tres parques recreacionales ubicados en la ciudad de Cuenca. Por otro lado, en cuanto a la información secundaria, se examinó la documentación disponible de la Empresa EMOV-EP a través de la página web del IERSE, entidad dirigida por la Universidad del Azuay, con el propósito de adquirir el Índice de Calidad del Aire (ICAire), para posteriormente compararlo con el Índice de Pureza Atmosférica (IPA).

### 3.1 Zona de estudio

La investigación se realizó en el contexto urbano de Cuenca, situada en la provincia del Azuay, a una altura de 2560 m.s.nm, con un promedio en su temperatura de entre los 15 grados centígrados, la estación lluviosa se presenta en febrero a mayo y de octubre a noviembre (Moscoso, 2007). En la **Figura 1** se muestran los puntos en los cuales se desarrolló la investigación relacionada a la calidad del aire en los megaparques: La Luz, Tarqui-Guzho y Ictocruz.

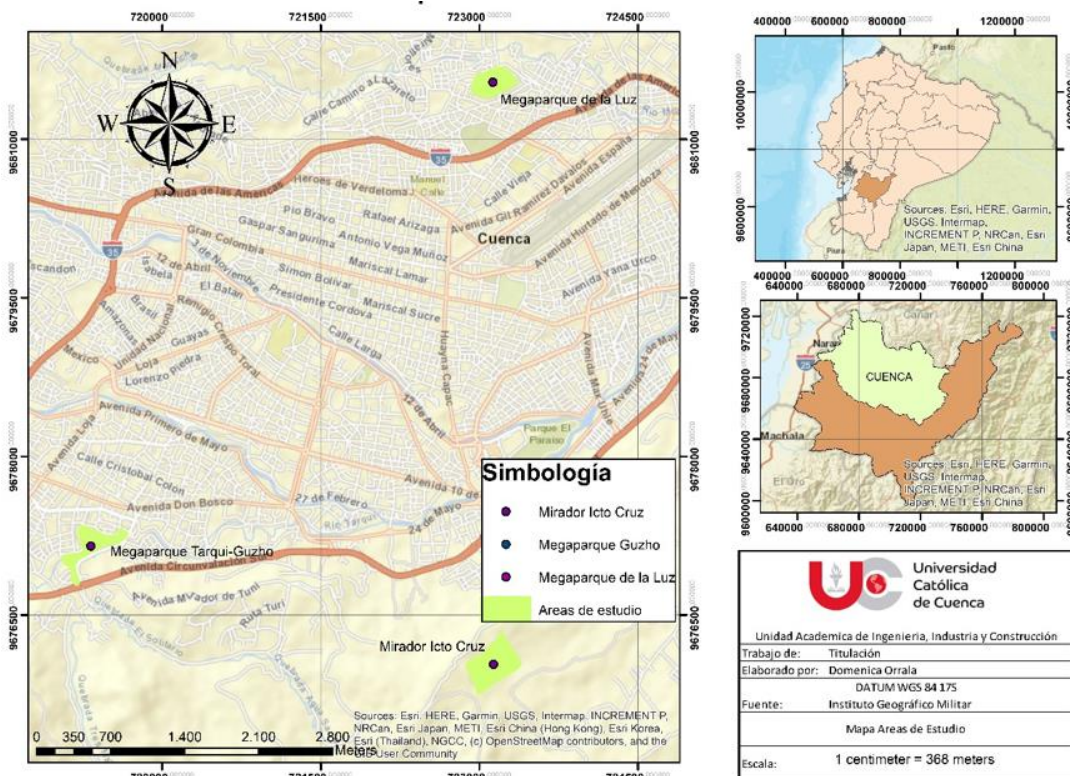


Figura 1 Puntos de muestreo dentro de la ciudad de Cuenca.

### 3.1.1 Parque Tarqui-Guzho

El parque Tarqui-Guzho se encuentra situado en la Avenida Doce de Octubre, frente al campus de la Universidad de Cuenca, en el sector Yanuncay. Ocupa una extensión de 8,80 hectáreas y cuenta con diversas instalaciones, incluyendo áreas de juegos infantiles, senderos, zonas de acampada, una pista de bicicross infantil, una instalación de canopy, espacios destinados al descanso y el esparcimiento, servicios de baterías sanitarias y un área de estacionamiento, según la información proporcionada por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Cuenca en 2018.

La vegetación presente, está compuesta principalmente por eucaliptos, desempeña el papel de barrera vegetal, cumpliendo la función de delimitar y asignar roles específicos a las distintas áreas dentro del megaparque. En contraste, la vegetación recientemente establecida aún no ha alcanzado las dimensiones apropiadas para desempeñar eficazmente su función como elemento ornamental dentro de la unidad paisajística. En la **Figura 2** se puede ver la zona de estudio donde se tomaron las diferentes muestras que tenga las características planteadas.



**Figura 2** Área del Megaparque Tarqui-Guzho.

**Fuente:** (Arias y Jácome, 2020)

### 3.1.2 Parque de La Luz

El parque está situado en el sector Miraflores, en el cerro Wanakauri, también reconocido como la loma "Tú eres Pedro". Abarca una extensión de 7,50 hectáreas y ofrece diversas instalaciones, entre las cuales se incluyen múltiples miradores, escalinatas, senderos para caminar, áreas de juegos infantiles, espacios para barbacoas, servicios de baterías sanitarias y zonas de estacionamiento.

Dentro del sistema establecido en el parque consta de juegos arbóreos que se desarrolla entre la vegetación preexistente de eucaliptos, siendo utilizado por los ciudadanos de diversas edades. La presencia de vegetación desempeña una función crucial en ejecución del parque, ya que los juegos se llevan a cabo en torno al bosque de eucaliptos en la unidad de paisaje, proporciona sombra a los usuarios que los utilizan y están protegidos contra el clima. En lo que respecta a la vegetación recién establecida, aún no se ha logrado alcanzar las dimensiones ideales para desempeñar eficazmente su función como elemento decorativo en el interior del megaparque. En la **Figura 3** se muestra el parque el cual se va a medir y obtener los datos necesarios para la investigación.



**Figura 3** Área del Megaparque La Luz.

**Fuente:** (Arias y Jácome, 2020)

### **3.1.3 Parque Ictocruz**

El parque Ictocruz abarca una superficie de 56 hectáreas y está situado en la parroquia Turi, específicamente en el barrio Ictocruz. Este proyecto incluye diversas instalaciones, como miradores, escalinatas, rampas, áreas de juegos infantiles, una cafetería, servicios de baterías sanitarias, estacionamientos, entre otras características.

La mayor parte del área se encuentra en la parroquia Turi se distingue por la existencia de mosaicos agropecuarios, lo cual genera un conflicto en cuanto al uso del suelo, dado que la idoneidad de este recurso en su mayoría se destina a propósitos de conservación y no es apropiada para actividades agropecuarias ni de explotación. Cada una de estas zonas, además de ostentar un innegable valor ecosistémico, exhibe un valor paisajístico particular, así como una flora y fauna con

atributos distintivos. La vegetación presente, es de bosques de eucalipto en la zona, sin embargo, dentro del parque se puede visualizar pastizales, bosques secundarios, a los alrededores del parque están presentes árboles de eucalipto. En la **Figura 4** se puede ver el área que abarca el parque Ictocruz además de la vegetación que más abunda en el lugar.



**Figura 4** Área del Megaparque Ictocruz.

Fuente: Google earth pro

### **3.2 Determinación de la diversidad líquénica en parques de Cuenca: un enfoque para estimar la pureza atmosférica.**

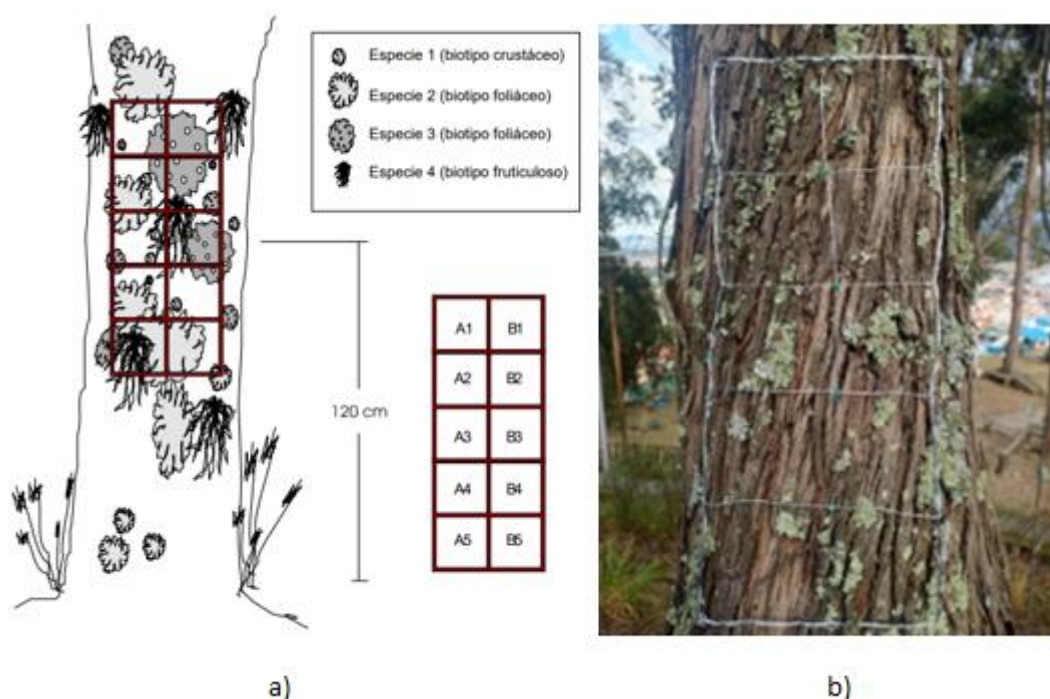
#### **3.2.1 Establecimiento de las unidades muestréales**

En esta fase se realizó un reconocimiento en los parques propuestos para la investigación, se llevó a cabo la elección de los individuos “especies arbóreas” se efectuó un registro de líquenes en los cuales se consideraron las siguientes características:

- Individuos adultos en buen estado, que cuenten con el perímetro mínimo de 50 cm.
- Se descartaron árboles dañados, pintados, inclinados y que no cuenten con corteza.
- La unidad de muestreo fue definida un mínimo de 5 especies arbóreas.

Siguiendo las pautas propuestas por (Abril et al., 2021; Canseco et a l., 2006), se eligieron cinco árboles en cada parque, los parámetros iniciales tomados en cuenta fueron los valores medidos en el tronco de cada árbol que comprende: el diámetro a la altura del pecho (DAP) además de las coordenadas geográficas. Se seleccionaron árboles de una misma especie eucalipto (*Eucalyptus globulus*) con el fin de asegurar una similitud en el sustrato para el crecimiento de líquenes.

Según la metodología expuesta en el Manual Red CE nivel II (2000), se empleó una gradilla de acero de dimensiones 20 x 50 cm, dividida en 10 subcuadros de 10 x 10 cm. Inicialmente, se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) y el perímetro del tronco de cada uno de los árboles en los tres parques planteados. La gradilla se colocó provisionalmente con una piola, ubicándola sobre el tronco de modo que su centro coincidiera con la cara con mayor cobertura de líquenes. Se llevó a cabo un conteo de las especies más recurrentes en los subcuadros de la gradilla. Posteriormente, se capturaron imágenes para documentar las especies y se procedió a analizar la densidad de los líquenes en cm<sup>2</sup> mediante el programa Image J. La **Figura 5** muestra detalladamente la metodología aplicada en cada uno de los tres parques (Servicio de Sanidad Forestal y Equilibrios Biológicos SSF, 2000). Es importante destacar que se han realizado estudios con la misma metodología en varios países (Canseco et al., 2006; Gonzales et al., 2016).



**Figura 5** Se muestra la gradilla que se implementó en las zonas de estudio. a) Metodología ocupada en los diferentes parques; b) Muestra del levantamiento in situ de las especies líquénicas.

**Fuente:** (Servicio de Sanidad Forestal y Equilibrios Biológicos SSF, 2000)

### 3.2.2 Determinación de la riqueza de especies

En cada árbol se estimó la incidencia de especies líquénicas dentro de la gradilla considerando el número de cuadrante donde se ubicó a cada especie. A través de una cámara fotográfica, se procedió a fotografiar los líquenes presentes en la zona de estudio, registrando aquellos que exhibieron una mayor diversidad en los tres parques (La Luz, Tarqui-Guzho, Ictacruz) para posteriormente mediante manuales taxonómicos de líquenes documentados en Ecuador, como los elaborados por Bungartz et al., (2013) y Minga et al., (2010) los cuales muestran las

características para establecer a que especies pertenecen. Además, se capturaron imágenes con el fin de documentar y respaldar la evaluación de la disposición geográfica de los líquenes en el medio considerando su riqueza y densidad.

### 3.2.3 Determinación del índice de Shannon- Wiener

#### *Ecuación 1*

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Por medio del programa R se evaluó la homogeneidad de los valores de importancia en todas las especies de la muestra, calculando el promedio del grado de incertidumbre para predecir la pertenencia de un individuo seleccionado al azar a una especie (Castroverde, 2007; Magurran, 1988; Peet, 1975). Este supuesto se basa en la premisa de que los individuos son seleccionados de forma aleatoria, asegurando que todas las especies estén debidamente representadas en la muestra (Magurran, 1988).

### 3.2.4 Equidad de Pielou

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

Donde:  $H'_{\max} = \ln(S)$

Por medio del programa R se evaluó la proporción de diversidad observada en comparación con la máxima diversidad anticipada. Su rango fluctúa entre 0 y 0.1, donde un valor de 0.1 indica que todas las especies tienen una abundancia equitativa (Magurran, 1988).

### 3.2.5 Procesamiento de los datos por medio de la aplicación Image J

Para establecer la densidad liquénica se utilizó la aplicación de imagen Image J, en la cual a partir de fotografías tomadas in situ se identificó el área para posteriormente calcular el índice de pureza atmosférica para cada parque establecido ajustando el contraste para poder diferenciar a los líquenes y poder medir la abundancia en cm<sup>2</sup> por árbol (Kunik, 2014).

### 3.2.6 Cálculo del Índice de Pureza Atmosférica

Al obtener los datos in situ se realizó el cálculo del índice de pureza atmosférico de cada árbol. Según (Giordani et al., 2002) se ha evidenciado que este índice es considerablemente más eficiente. Consiste en la agregación del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) que se deriva de las frecuencias de todas las especies que se encuentran en cada árbol, representando así el valor promedio de todas las especies a lo largo de la totalidad de árboles muestreados.

## Ecuación 2

$$IPA_{\text{árbol}} = \sum f_i$$

$IPA_{\text{sitio o área}} = \text{promedio de los valores } IPA_{\text{árbol}} \text{ de cada sitio o área de muestreo.}$

Donde:  $f_i$ : frecuencia de cada especie =  $n_i/n_T$

Siendo:

$n_i$ : número de cuadros de la gradilla ocupados por un taxón.

$n_T$  = número total de cuadros en la gradilla (10)

### 3.3 Recopilación de información secundaria sobre la calidad del aire:

Los datos fueron recopilados de la empresa EMOV EP van del 2018 hasta el 2022 mediante la plataforma Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE) de la Universidad del Azuay como se muestra la siguiente **Figura 6** se indica de donde se obtuvo la información para poder comparar con los datos del IPA.



**Figura 6** Calidad del aire en Cuenca mostrando los principales contaminantes del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE).

**Fuente:** (EMOV, 2022)

Estos datos son basados en los informes de la EMOV EP los cuales tienen estaciones en toda la ciudad de Cuenca como principal estación se tomó la estación Municipio (MUN) el cual el rango de una cobertura de 4 kilómetros, engloba la mayor extensión de la ciudad, delimitándose al norte con Pumayunga de la parroquia Sinincay, al sur con Virgen de la Nube de la parroquia Turi, al este con el límite parroquial de San Joaquín y al oeste con la intersección de la Panamericana Norte y la Avenida Gonzales Suárez. Además, se consideran las estaciones que están ubicadas en el

Colegio Carlos Arizaga Vega (CCA) y en la Escuela Ignacio Escandón (EIE) estas son consideradas urbanas lo cual entra dentro del rango de los parques planteados para poder compararlos. En la **Tabla 2** se indican los métodos de medición y los sensores de la estación MUN, CCA y EIE.

**Tabla 2** Métodos de medición y sensores en las diferentes estaciones de la EMOV EP

Contaminante	Método	Sensor/Marca
Monóxido de carbono (CO)	Absorción de radiación infrarroja no dispersiva USEPA Método de referencia EQOA-0992.087	Teledyne. T300
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Fluorescencia por radiación ultravioleta USEPA Método de referencia EQOA-0495-100	Teledyne. T100
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Corrimiento de fase de cavidad atenuada USEPA Método de referencia EQOA-0514-212	Teledyne. T500U
Material particulado fino (MP2.5)	Atenuación de rayos beta USEPA Método equivalente EQPM-0308-170	Met One BAM-1020
Material particulado fino (MP10)	Atenuación de rayos beta USEPA Método equivalente EQPM-0798-122	Met One BAM-1021
Ozono (O <sub>3</sub> )	Absorción de radiación ultravioleta USEPA Método equivalente EQOA-0992-087	Teledyne. T400

**Fuente:** Empresa de movilidad tránsito y transporte (EMOV, 2022).

### 3.3.1 Calculo el Índice de Calidad del Aire (ICA)

El cálculo para un determinado contaminante se fundamenta en el valor promedio generado durante un intervalo de tiempo analizado del mencionado contaminante (U.S. Environmental Protection Agency, 2018).

#### **Ecuación 3**

$$ICA = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} * (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

$I_p$  = Índice de calidad del aire para el contaminante  $p$

$C_p$  = Concentración observada del contaminante  $p$

$BP_{Hi}$  = Punto de corte de concentracion mayor o igual a  $C_p$

$BP_{Lo}$  = Punto de corte de concentracion menor o igual a  $C_p$

$L_{Hi}$  = Valor del Ica correspondiente al  $BP_{Hi}$

$L_{Lo}$  = Valor del Ica correspondiente al  $BP_{Lo}$

**Fuente:** (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2018).

La **Tabla 3** cumple una función crucial al señalar los valores esenciales que deben ser considerados con respecto a la concentración de cada contaminante antes de emplear la fórmula prescrita por la (EPA) para la evaluación del Índice de Calidad del Aire (ICA). Estos valores actúan como puntos de referencia cruciales al llevar una medición exacta de la calidad del aire garantizando una evaluación rigurosa y significativa del entorno atmosférico. La aplicación de la fórmula del ICA de la EPA se convierte, de este modo, en un proceso informado y fundamentado en los parámetros específicos delineados en la tabla, lo que contribuye a una estimación más detallada y efectiva de la calidad del aire en un contexto dado.

**Tabla 3** Estándares aceptables de contaminación atmosférica según el Índice de Calidad del Aire (ICA).

Índice de Calidad Del Aire		Puntos de Corte del ICA					
ICA Rangos	CATEGORÍA	PM <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup> 24 horas	PM <sub>2.5</sub> µg/m <sup>3</sup> 24 horas	CO µg/m <sup>3</sup> 8 horas	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> 1 horas	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup> 8 horas	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> 8 horas
0-50	Buena	0-50	0-25	0-5000	0-100	0-50	0-62.5
51-100	Aceptable	51-100	26-50	5001-10000	101-200	51-100	63.5-125
101-150	Dañina a la salud de grupos sensibles	101-250	51-150	10001-15000	201-1000	101-200	126-200
201-300	Dañina a la salud	251-400	151-250	15001-30000	1001-2000	201-400	201-1000
301-400	Muy dañina a la salud	401-500	251-350	30001-40000	2001-3000	401-600	1001-1800
401-500	Peligrosa	>500	>350	>40000	>600	>3001	>1800

**Fuente:** (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2018).

### 3.3.2 Relaciones estadísticas

Se llevaron a cabo diversos modelos mediante el programa R, el cual analizó las diversas relaciones existentes entre las variables y determinó si estas poseen alguna significancia en relación con la calidad del aire en la ciudad de Cuenca. Los datos utilizados se obtuvieron de las estaciones de la Empresa Pública de Movilidad, Tránsito y Transporte (EMOV EP) correspondientes a los años 2018 hasta el 2022. Estos datos abarcan información relativa a cada contaminante atmosférico.

Además de ello se implementó un análisis de varianza y con la prueba Tukey para ver la significancia en cada una de las variables.

### **3.3.3 Importación de datos a Rstudio:**

Los datos obtenidos de los de los parques donde se colocó la gradilla en cada árbol de *Eucalytus globulus* se tabularon y estuvieron listos, fueron importados al programa Rstudio, con lo cual se utilizaron funciones adecuadas para leer el archivo de Excel en formato CSV para luego ser almacenados, como dataframes o matrices.

## **3.4 Georreferencia de los índices de pureza atmosférica de las áreas de estudio en el cantón Cuenca.**

### **3.4.1 Análisis espacial de las especies liquénicas**

Por medio del software ArcMap versión 10.5 aplicando la técnica IDW que es la óptima, se trabajó con los valores de contaminación atmosférica (Wong et al., 2004), se realizó una extrapolación al área urbana de la ciudad de Cuenca en base a los resultados obtenidos del IPA en cada zona de monitoreo.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Biodiversidad de especies líquénicas.

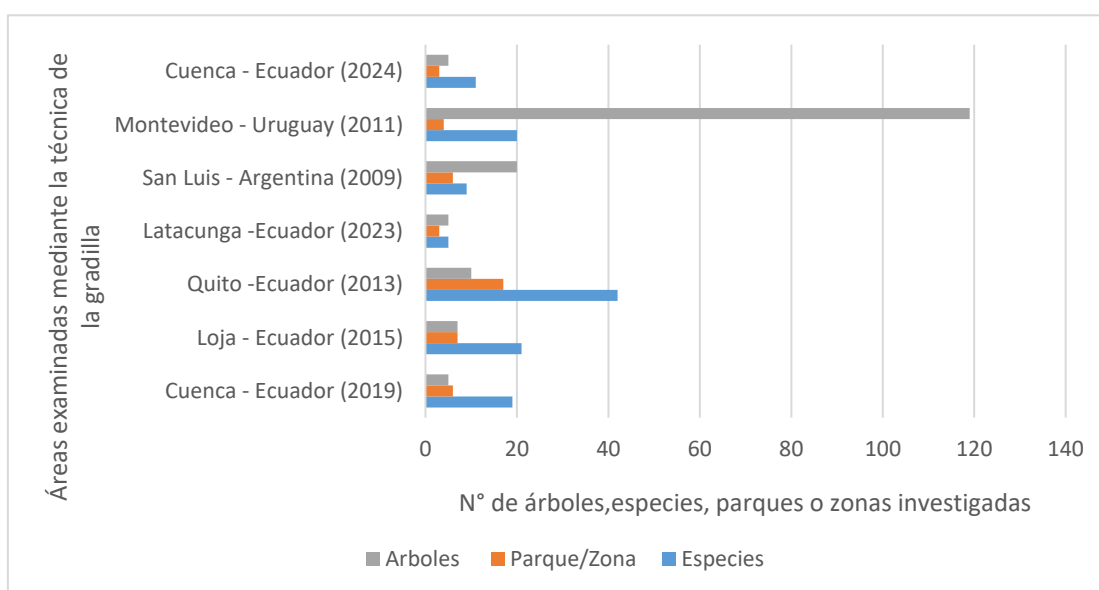
Se registraron un total de 11 especies de líquenes en los tres parques, se distribuyen en cuatro familias y 5 géneros como se detalla en la **Tabla 4** La familia *Parmeliaceae* es la predominante con un total de 2 géneros y 7 especies; seguido por la familia *Teloschistaceae*, *Candelariaceae* y *Ramalinaceae*.

**Tabla 4** Especies líquénicas encontradas en la zona de estudio.

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>
<b><i>Candelariaceae</i></b>	<i>Candelaria</i>	<i>Candelaria concolor.</i>
<b><i>Parmeliaceae</i></b>	<i>Parmotrema</i>	<i>Parmotrema sp.</i>
		<i>Parmotrema sp.1</i>
		<i>Parmotrema sp.3</i>
		<i>Parmotrema sp.4</i>
		<i>Parmotrema sp.5</i>
		<i>Parmotrema sp.6</i>
	<i>Usnea</i>	<i>Usnea sp.</i>
<b><i>Teloschistaceae</i></b>	<i>Teloschistes</i>	<i>Teloschistes sp.</i>
		<i>Teloschistes sp.1</i>
<b><i>Ramalinaceae</i></b>	<i>Ramalia</i>	<i>Ramalina fraxinea</i>

En la **Tabla 4** se registró una riqueza total de 11 especies de líquenes; en una investigación similar en la ciudad de Cuenca (Ecuador) se reconoció un total de 19 especies monitoreadas en 6 parques utilizando una gradilla Galarza (2019), además en la ciudad de Loja (Ecuador) durante el año 2015 se reconoció un total de 21 especies monitoreadas en 7 parques Ochoa-Jiménez et al., (2015), valores que resultan similares a los de la investigación presente, mientras que en la ciudad

de Quito (Ecuador) en el año 2013, se detectaron 42 especies liquénicas en las 17 estaciones de muestreo Segura-Briones (2013), cabe destacar en el cantón de Latacunga (Ecuador) en el 2023 donde se identificaron cuatro especies de líquenes foliosos y únicamente una especie es el fruticoso seleccionando 5 árboles en tres área evaluadas Zambrano (2023), en Argentina en la ciudad de San Luis el año 2009 donde monitorearon diversos sectores al norte, sur, este y oeste de la ciudad donde fueron hallados 9 taxones liquénicos de los cuales 5 a nivel de especie (Santoni y Lijteroff, 2006).



**Figura 7** Comportamiento de las áreas evaluadas en cada una de las ciudades.

En la **Figura 7** se presentan varios estudios llevados a cabo tanto en el país como fuera de él. Se observa que a medida que aumenta el número de parques o zonas evaluadas, aumenta también el número de especies encontradas, dependiendo de la zona de estudio. Además, se puede apreciar la cantidad de especies en cada área, lo que indica un equilibrio en todos los estudios. En base a la investigación, se puede concluir que hay similitudes entre los estudios realizados en Loja (2015), Cuenca (2019) y Latacunga (2023), en cuanto a la metodología empleada y las especies encontradas.

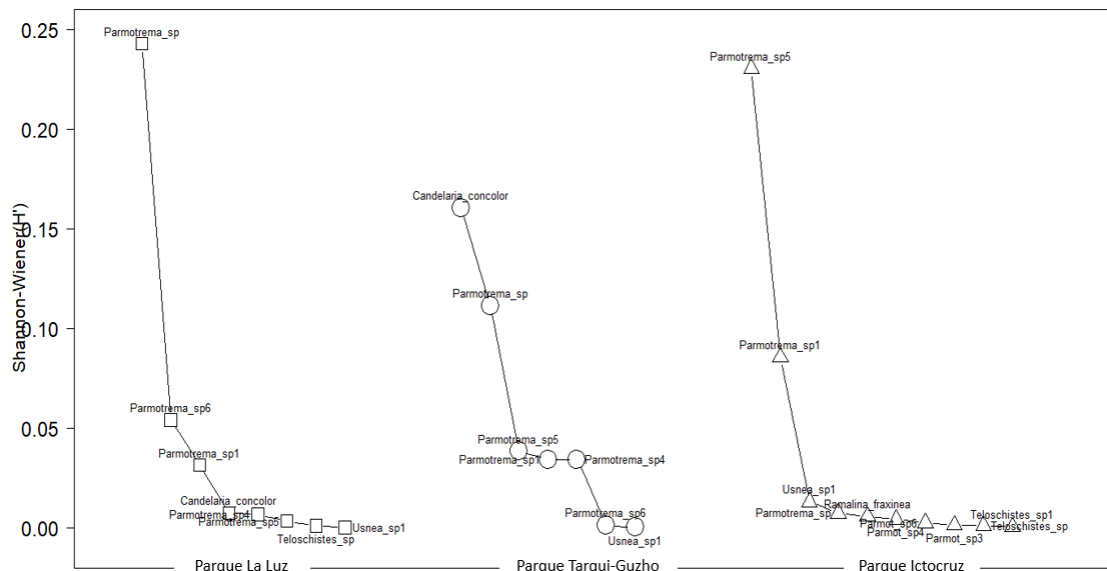
Entre los resultados en el análisis del índice de equidad Shannon-Wiener, en los diferentes parques, se destaca que la zona de Tarqui-Guzho exhibe el índice más elevado, con un valor de 1,37. Este resultado sugiere que las especies presentes en esta zona muestran una distribución más equitativa en términos de abundancia, con especies de similar dominancia numérica. Por otro lado, el parque Ictocruz muestra un índice de equidad cercano a 1, con un valor de 0,9214, indicando una distribución relativamente equitativa de especies. Por último, en el parque La Luz se observa un índice inferior, lo que sugiere una menor equidad en la distribución de especies dentro de la muestra, posiblemente debido a la presencia de una o varias especies dominantes. En la **Tabla 5**,

se presentan los datos correspondientes a los tres parques evaluados, indicando la riqueza y diversidad de especies, que se cuantificó mediante el número total de individuos (S) representadas por códigos de árbol (LA01:LA05; TA01:TA05; IA01:IA05) obtenidos mediante la gradilla. Además, se muestran los resultados del índice de Shannon-Wiener, representado en la tabla como  $H(\log_{10})$ , el cual fue considerado tanto a nivel de parque para analizar la equidad de las especies, como a nivel de árbol para cada una de las cinco especies muestreadas en el campo.

**Tabla 5** Riqueza y densidad en los puntos de monitoreo de cada árbol muestreado como código de (LA01:LA05; TA01:TA05; IA01:IA05); e índice de Shannon- Wiener.

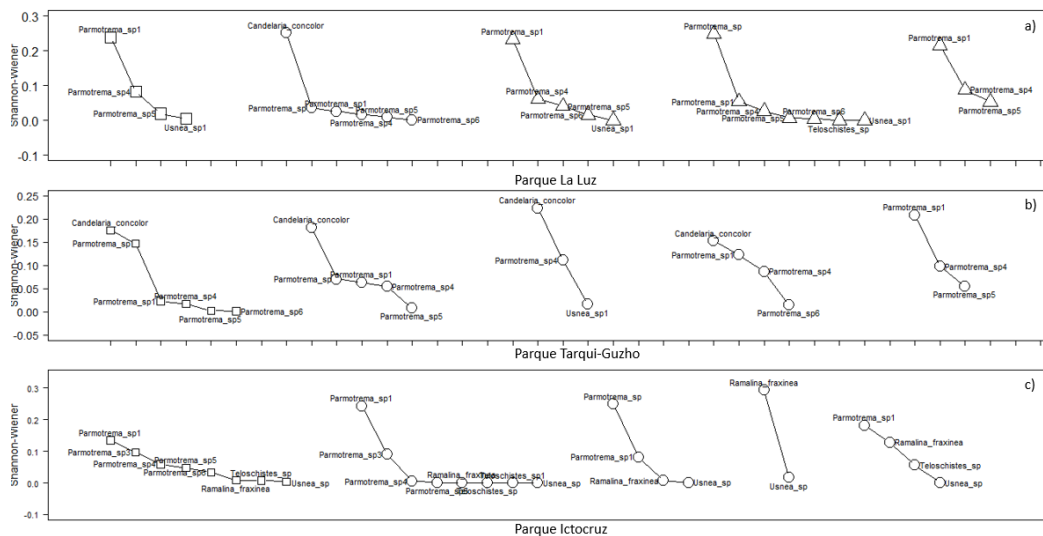
Especie	Parque La Luz						Parque Tarqui- Guzho						Parque Ictocruz					
	Total	LA01	LA02	LA03	LA04	LA05	Total	TA01	TA02	TA03	TA04	TA05	Total	IA01	IA02	IA03	IA04	IA05
<i>Candelaria_concolor</i>	5637	0	5637	0	0	0	219878	149937	67709	2176	56	0	0	0	0	0	0	0
<i>Parmotrema_sp</i>	11517	0	9567	0	1950	0	143926	121064	22862	0	0	0	211122	0	0	211122	0	0
<i>Parmotrema_sp1</i>	56310	4104	15064	24632	10838	1672	40380	15949	17245	0	364	6822	2717166	21343	2664226	514	0	31083
<i>Parmotrema_sp3</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35105	31557	3548	0	0	0	
<i>Parmotrema_sp4</i>	99840	18729	20767	37858	22145	341	40283	1488	20398	5069	539	12789	122580	98926	23654	0	0	0
<i>Parmotrema_sp5</i>	564088	66004	191616	177380	128508	580	45436	11704	2352	0	0	31380	8746303	39701	8706602	0	0	0
<i>Parmotrema_sp6</i>	12892	0	640	9562	2690	0	1315	618	0	0	697	0	67766	67766	0	0	0	0
<i>Ramalina_fraxinea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	161909	5306	28878	4537	4080	119108
<i>Teloschistes_sp</i>	84	0	0	0	84	0	0	0	0	0	0	0	27525	4500	23022	0	0	3
<i>Teloschistes_sp1</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10080	0	10080	0	0	0
<i>Usnea_sp</i>	1653	1029	0	439	185	0	281	0	0	281	0	0	379800	2542	138224	56454	104145	78435
<b>Densidad total</b>	<b>752021</b>	89866	243291	249871	166400	2593	<b>491499</b>	300760	130566	7526	1656	50991	<b>12479356</b>	271641	11598234	272627	108225	228629
<b>No. de individuos (S)</b>	<b>9</b>	5	7	6	7	4	<b>8</b>	7	6	3	5	4	<b>11</b>	9	9	5	3	4
<b>H(log10)</b>	0,8627	0,7556	0,8005	0,8936	0,776	0,885	1,37	1,034	1,275	0,7477	1,177	0,9148	0,9222	1,634	0,6545	0,6041	0,1606	0,9782

Existen diversas investigaciones que emplean el índice de Shannon con el propósito de evaluar el nivel medio de incertidumbre en la predicción de la especie a la que pertenecerá un individuo seleccionado al azar de una colección dada. En el análisis efectuado por Galarza (2019) en la localidad de Cuenca, se evidencian resultados análogos, como se observa en el Sector de Monay, que exhibió una diversidad de 1,32, siendo el valor más bajo registrado en el Parque Gradinos con 0,69 (Galarza, 2019). En la ciudad de Quito, Ecuador, durante el año 2022, se determinó que el índice de Shannon no supera el valor de 1, como es el caso del centro histórico con 1,3 mientras que el Centro Sur presenta el valor más bajo, con 0,89 (Granja- Guevara, 2022). Al contrastar con la investigación mencionada, se destaca que el Parque de la Luz se ubica al norte de la ciudad, a diferencia del Mirador-Parque Ictocruz, situado al sur. Se puede inferir que el Parque Tarqui-Guzho presenta un mayor índice de tráfico, dado que se encuentra en una zona altamente transitada, además de estar situado frente a la Facultad de Agronomía de la Universidad de Cuenca. En contraste, los parques La Luz e Ictocruz se hallan a mayores altitudes y no experimentan un tránsito tan frecuente.



**Figura 8** Orden de muestra de las especies desde la más abundante hasta la menos abundante por parque (La Luz, Tarqui-Guzho, Ictocruz).

En la **Figura 8** se resaltan las tres áreas de estudio, las cuales muestran la equidad relativa por parque, según el Índice de Shannon. En cada parque, el ancho sobre el eje x indica el número de puntos que contiene, es decir, S que representa la densidad. Cuanto más agrupados estén los puntos, menos dominancia hay, confirmando lo observado en la **Tabla 5**. El parque Tarqui-Guzho exhibe una distribución más equitativa en comparación con el parque La Luz, donde la especie dominante es *Parmotrema\_sp*, la misma que ocupa mayor espacio y, el parque Ictocruz, donde la especie *Parmotrema\_sp5* se muestra dominante en la muestra.



**Figura 9** Orden de muestra de las especies por árbol (LA01:LA05; TA01:TA05; IA01:IA05) en los tres parques, en orden de La Luz, Tarqui-Guzho, Ictocruz indicando el índice de Shannon en la equitatividad por árbol.

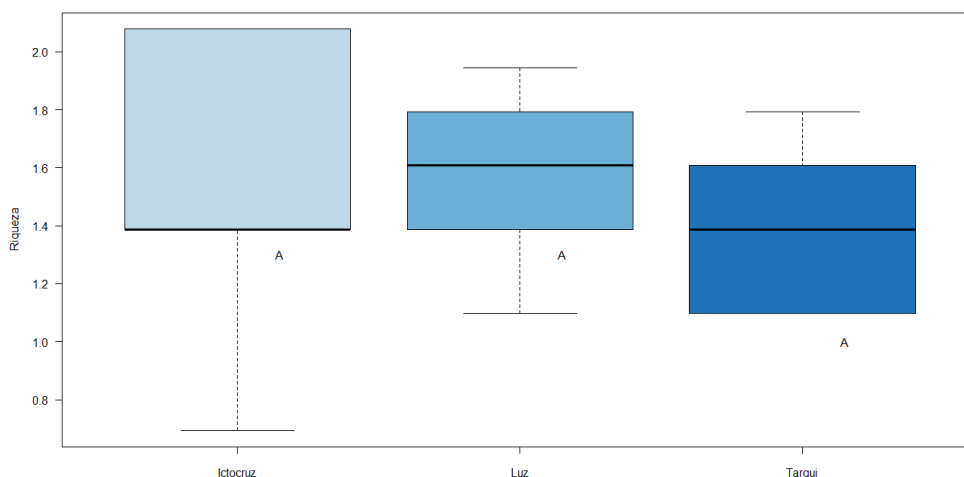
Dentro de la **Figura 9** a), se pudo observar que en el parque La Luz, los árboles que exhibieron mayor equidad fueron el LA01, LA03 y LA05, con la especie más densa identificada como *Parmotrema\_sp1*. En contraste, el árbol LA02 mostró una menor equidad, con la especie dominante siendo *Candelaria\_concolor*. Por último, en el árbol LA04 se evidenció que la especie más densa fue *Parmotrema\_sp*.

En la sección b), se ofrece el análisis pertinente al parque Tarqui-Guzho. En este contexto, los árboles TA01, TA02, TA03 y TA04 no exhiben una dominancia numérica marcada, lo que sugiere una distribución más equitativa de las especies en cada árbol, la especie más densa identificada fue *Candelaria\_concolor*. En contraste, el árbol TA05 no muestra una equidad en la distribución de especies, siendo *Parmotrema\_sp1* la especie dominante en el árbol.

En el apartado c), se presenta el análisis correspondiente al parque Ictocruz. Se identificó que en el árbol IA01 no existe una dominancia numérica evidente, lo que resulta en una distribución equitativa respecto al resto de árboles. La especie más densa observada fue *Parmotrema\_sp1*, aunque no ejerce una dominancia clara, en contraste con el árbol IA02, donde se registra la misma especie con una distribución menos marcada, y el árbol IA03, caracterizado por una dominancia de la especie *Parmotrema\_sp*. Además, en el árbol IA04, se identificaron únicamente dos especies, con la especie *Ramalina\_fraxinea* como la más dominante.

Se realizó una distribución de los datos correspondientes a las variables de riqueza, densidad, índice de Shannon e índice de Pielou en diagramas de caja específicos para cada uno de los parques. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de varianza (Anova) y se aplicó la prueba de Tukey para determinar la significancia de dichos datos. El objetivo era verificar la hipótesis de que al menos uno de los parques presentaran diferencias significativas entre sí. Es importante destacar que se

excluyeron los valores atípicos de los gráficos para facilitar la interpretación de los datos y mejorar la calidad de las imágenes. La **Figura 10** muestra la variable de riqueza encontrada en los tres parques, donde se observa que en el Parque La Luz los datos son más asimétricos en comparación con los otros parques, como el Parque Ictocruz, que exhibe una mayor concentración de datos. La prueba de Tukey indicó que los datos no presentaban diferencias significativas, asignándoles a todos la letra "A" como resultado de la comparación.



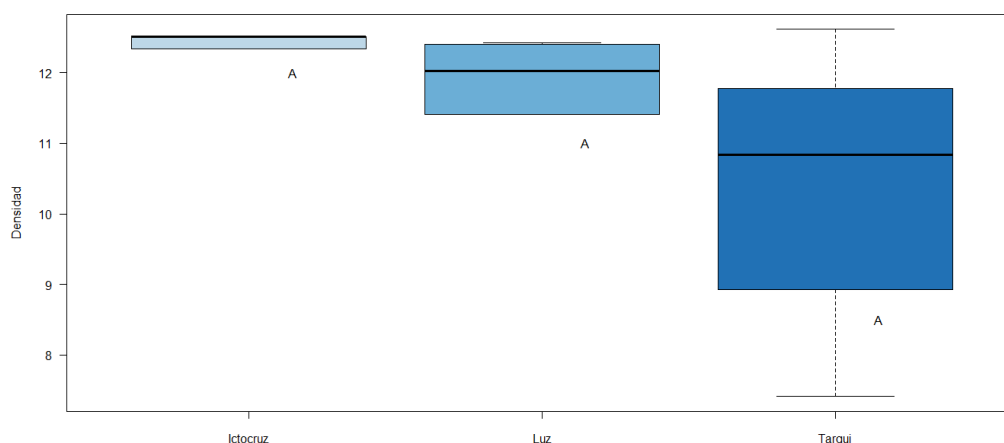
**Figura 10** Gráfica de cajas para la riqueza de especies en los tres parques evaluados.

En la **Tabla 6** se muestra la prueba de Tukey realizada en el programa R con una confianza del 95% se relaciona la riqueza con los parques indicando que no hay significancia.

	diff	lwr	upr	p adj
Luz-Ictocruz	-0.2	-3.489163	3.089163	0.9856143
Tarqui-Ictocruz	-1.0	-4.289163	2.289163	0.7035209
Tarqui-Luz	-0.8	-4.089163	2.489163	0.7964918

**Tabla 6** Prueba de Tukey en la riqueza

La contaminación tiene un efecto de homogeneización en las áreas que están directamente afectadas, lo que resulta en una disminución de la diversidad y la riqueza. En consecuencia, la escasez o ausencia de líquenes puede indicar niveles elevados de contaminación (LeBlanc y Sloover, 1970). En la **Figura 11** se destacan las medianas, la dispersión intercuartil, los resultados que indican variaciones sustanciales en la densidad entre los parques, evidenciando áreas con concentraciones más homogéneas de datos y otras con una dispersión más amplia como en el parque la Luz que muestra una mayor dispersión a diferencia de parque Tarqui- Guzho el cual tiene una distribución de datos más pequeña.



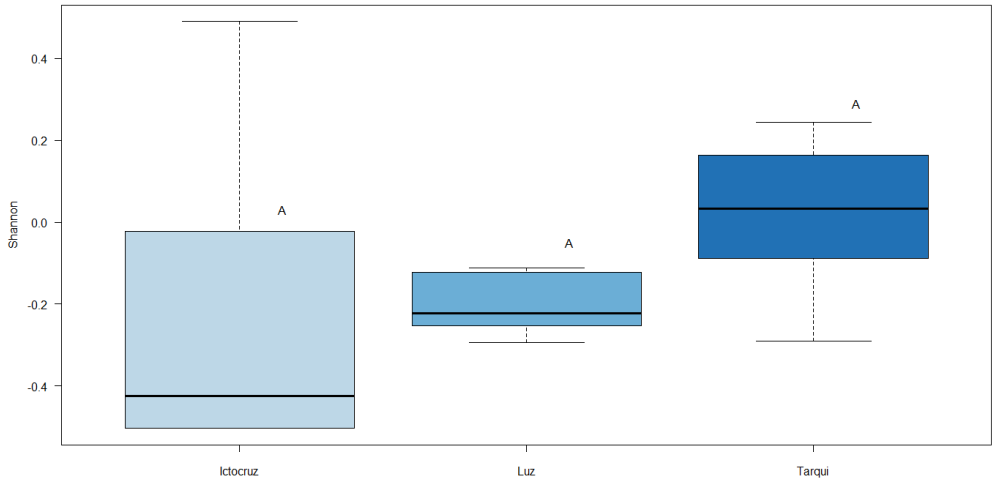
**Figura 11** Gráfica de cajas para la densidad de las especies en los tres parques evaluados.

En la **Tabla 7** se muestra la prueba de Tukey realizada en el programa R con una confianza del 95% se relaciona la densidad con los parques indicando que no hay significancia.

	diff	lwr	upr	p adj
Luz-Ictocruz	-2345467.0	-7305360	2614426	0.4420107
Tarqui-Ictocruz	-2397571.4	-7357464	2562321	0.4271958
Tarqui-Luz	-52104.4	-5011997	4907788	0.9995671

**Tabla 7** Prueba de Tukey en la densidad

En la **Figura 12** se muestra la dispersión del índice de Shannon-Wiener en cada uno de los tres parques los resultados revelan variaciones sustanciales entre los parques, indicando disparidades en la diversidad y uniformidad de las especies presentes en cada área. Al analizar estos resultados, se observa que algunos parques, como el Parque Tarqui, exhiben una distribución más equitativa de especies, reflejada en una simetría mayor en su índice de diversidad. En contraste, otros parques como La Luz, Ictocruz pueden mostrar una equidad más concentrada o dispersa, indicando diferentes patrones en la distribución de especies dentro de sus límites geográficos. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar las variaciones en la diversidad biológica al planificar y gestionar áreas recreativas, proporcionando información valiosa para la conservación y el manejo sostenible de los espacios verdes.



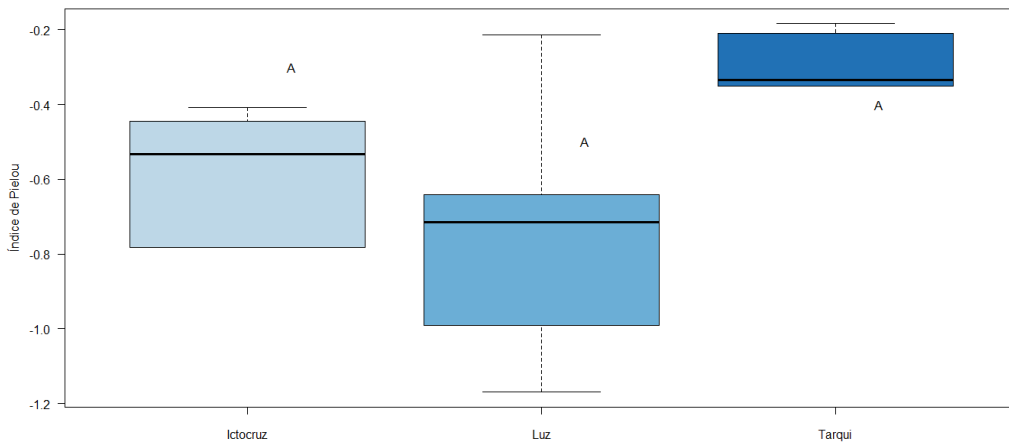
**Figura 12** Gráfica de cajas para el índice de Shannon-Wiener de las especies encontradas en cada uno de los tres parques evaluados.

En la **Tabla 8** se muestra la prueba de Tukey realizada en el programa R con una confianza del 95% se relaciona el índice de Shannon-Wiener con los parques indicando que no hay significancia.

	diff	lwr	upr	p adj
Luz-Ictocruz	0.01388019	-0.5598519	0.5876123	0.9977064
Tarqui-Ictocruz	0.22366785	-0.3500642	0.7973999	0.5670663
Tarqui-Luz	0.20978767	-0.3639444	0.7835197	0.6053479

**Tabla 8** Prueba de Tukey en el índice de Shannon-Wiener

Al analizar estos resultados en la **Figura 13** se observa que algunos parques que no exhiben una distribución equitativa reflejada en una simetría menor. En contraste, otros parques como Tarqui-Guzho pueden mostrar una equidad de Pielou más alta indicando diferentes patrones en la distribución dentro de sus límites geográficos.



**Figura 13** Gráfica de cajas para el índice de Pielou (Evenness) en cada uno de los tres parques.

En la **Tabla 9** se muestra la prueba de Tukey realizada en el programa R con una confianza del 95% se relaciona el índice de Pielou con los parques indicando que no hay significancia.

	diff	lwr	upr	p adj
Luz-Ictocruz	-0.01712539	-0.30660492	0.2723541	0.9863766
Tarqui-Ictocruz	0.18840206	-0.10107748	0.4778816	0.2322555
Tarqui-Luz	0.20552744	-0.08395209	0.4950070	0.1826562

**Tabla 9** Prueba de Tukey en el índice de Pielou

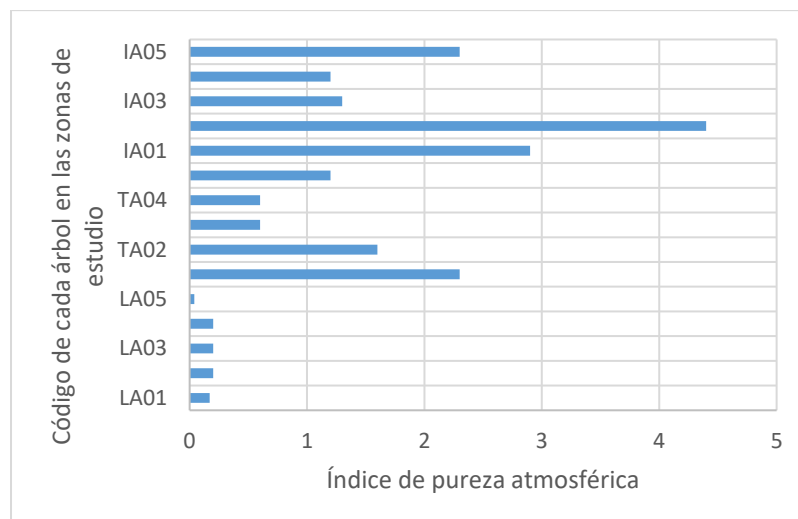
#### 4.1.2 Índice de Pureza Atmosférica

Después de analizar la frecuencia liquénica en cada árbol muestreado y posteriormente en cada zona, se sugiere que el Parque Ictocruz presenta el mayor Índice de Pureza Atmosférica (IPA) seguida del Parque de La Luz y el Parque Tarqui-Guzho. En la **Tabla 10** se resume los valores del IPA para cada punto. Tras analizar los resultados del test ShapiroWilk, se pudo determinar que todos los parques presentan una distribución normal ( $\alpha < 0.05$ ).

**Tabla 10** Resultado del Índice de pureza atmosférica.

Parque	Árbol	IPA
Luz	LA01	0,17
Luz	LA02	0,2
Luz	LA03	0,2
Luz	LA04	0,2
Luz	LA05	0,04
Tarqui	TA01	2,3
Tarqui	TA02	1,6
Tarqui	TA03	0,6
Tarqui	TA04	0,6
Tarqui	TA05	1,2
Ictocruz	IA01	2,9
Ictocruz	IA02	4,4
Ictocruz	IA03	1,3
Ictocruz	IA04	1,2
Ictocruz	IA05	2,3

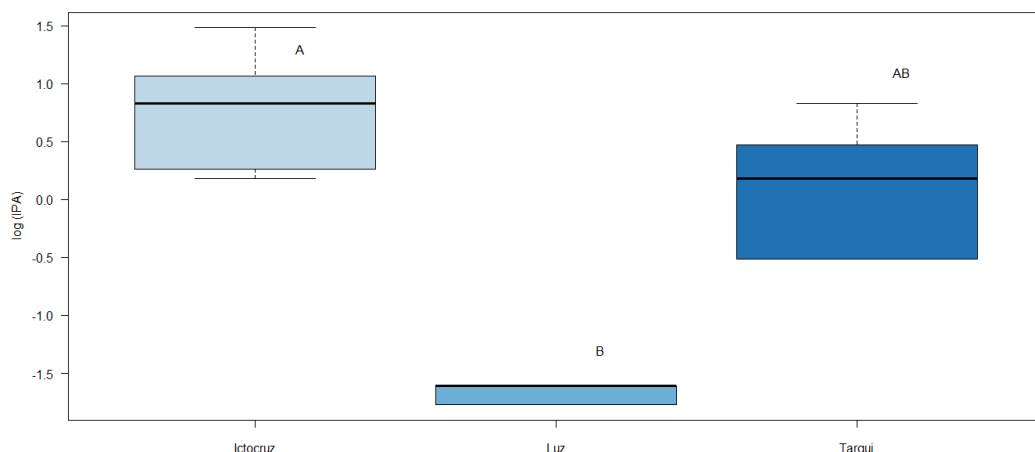
Como consiguiente se logra una comprensión más precisa de la distribución de los datos del Índice de Pureza Atmosférica por árbol en la ciudad de Cuenca. Se observa claramente que el parque Ictocruz exhibe una mejor calidad del aire. Esta mejora podría atribuirse, en parte, a la reducida actividad vehicular en la zona, dado que el parque ha sido implementado recientemente y no cuenta con numerosas zonas residenciales cercanas que puedan impactar negativamente en la diversidad del entorno. Este análisis detallado contribuye a una evaluación más completa de los factores que influyen en la calidad del aire en esta ubicación específica.



**Figura 14** Resultado del Índice de pureza atmosférica.

Para poder comparar con otros estudios se realizó una extrapolación porcentual de los datos. En una investigación realizada en Bogotá - Colombia en el año 2015 se obtuvo un IPA de 0,382 y en el año 2017 se obtuvo un IPA de 0,35 se determinó en la investigación que de acuerdo a las especies identificadas para el año 2017 disminuyó considerablemente las especies en la ciudad (Rivera, 2017). Cabe destacar que en la ciudad de Quito en el año 2013 con una escala de 1-1000 se realizó un monitoreo de 17 estaciones oscilando un IPA de 43,1 – 962,62 mostrando que el parque El Ejido ubicado en el centro de la ciudad presentó una contaminación más alta a diferencia del parque Metropolitano Guangüiltagua estando ubicado a la periferia de Quito por medio del índice de pureza atmosférica demostró mejor calidad del aire, además por la extensión de área que estas ocupan (Segura-Briones, 2013). En otra investigación en la ciudad de Loja – Ecuador en el año 2015 se presentaron patrones similares demostrando mayor contaminación en la zona centro de la ciudad en los puntos P1, P2, P7 oscilando 130-310 y una zona con menor índice de contaminación a las afueras de la ciudad en los puntos P3, P4, P5, P6 oscilando 10-90 utilizando el modelo IPA como metodología (Ochoa-Jiménez et al., 2015).

En la **Figura 15** muestra la dispersión del índice de pureza atmosférica (IPA) con los parques propuestos mostrando en el parque Ictocruz una asimétrica positiva y en menor indican variaciones significativas entre los parques, con algunas áreas mostrando una mayor concentración de datos como se ve en el diagrama de cajas.



**Figura 15** Gráfica de cajas para el IPA en cada uno de los tres parques evaluados.

En la **Tabla 11** se muestra la prueba de Tukey realizada en el programa R con una confianza del 95% se relaciona el índice de pureza atmosférica (IPA) con los parques indicando que hay significancia en los parques Luz y Ictocruz por tener un índice de significancia menor a 0,05.

	diff	lwr	upr	p adj
Luz-Ictocruz	-2.258	-3.7191907	-0.7968093	0.0037339
Tarqui-Ictocruz	-1.160	-2.6211907	0.3011907	0.1277365
Tarqui-Luz	1.098	-0.3631907	2.5591907	0.1534126

**Tabla 11** Prueba de Tukey en el IPA

Se realizó una tabla relacionando el transporte público con el uso de suelo de las zonas del estudio para relacionar los datos obtenidos mediante el modelo del índice de pureza atmosférica. En la **Tabla 7** se realizó una relación entre los números de buses que transitan por las zonas de estudio y el índice de pureza atmosférica.

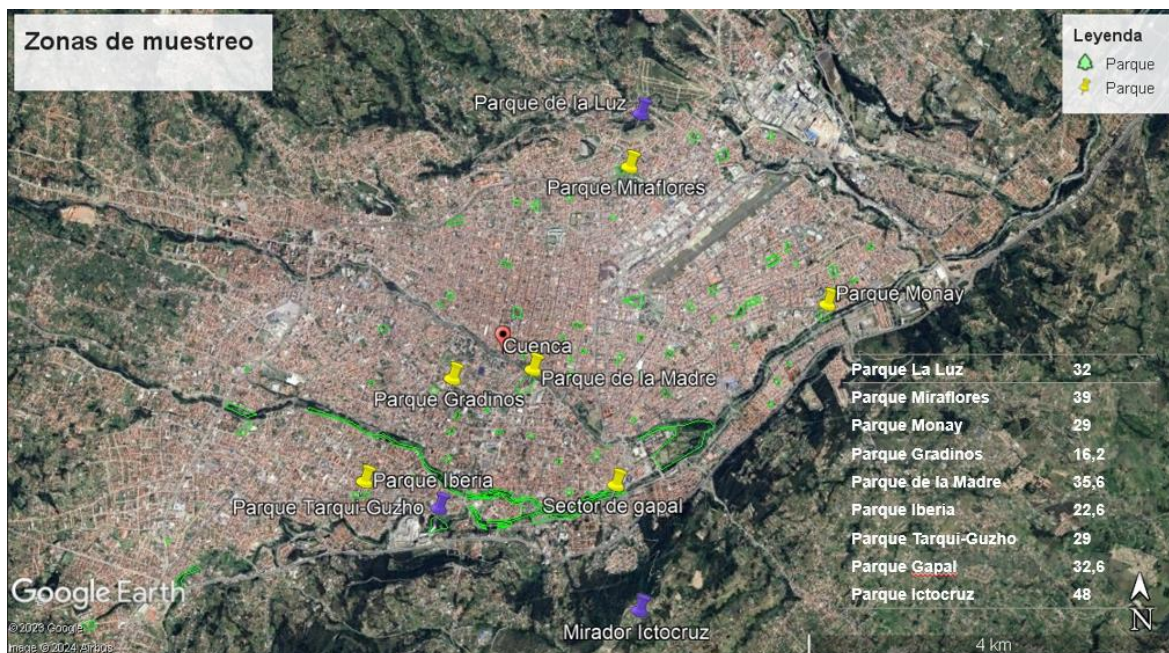
**Tabla 12** Relación del índice de pureza atmosférica, transporte y uso del suelo.

Zonas de estudio	IPA	N° Líneas de buses	Zona
<b>Parque La Luz</b>	32	8	Residencial
<b>Parque Tarqui-Guzho</b>	29	12	Residencial
<b>Parque Ictocruz</b>	48	1	Periferia urbana

Comparando con Galarza, (2019) los datos son similares de acuerdo a la carga vehicular cercana a cada uno de los parques.

La **Figura 16** indica las áreas planteadas por Galarza, (2019) en Cuenca complementándola con la investigación de tres zonas más en 2023 estableciendo una comparación significativa que resalta la evolución de la calidad del aire en la ciudad de Cuenca **Figura 17**. Este análisis no solo brinda una perspectiva temporal de la situación atmosférica, sino que también muestra el mejor

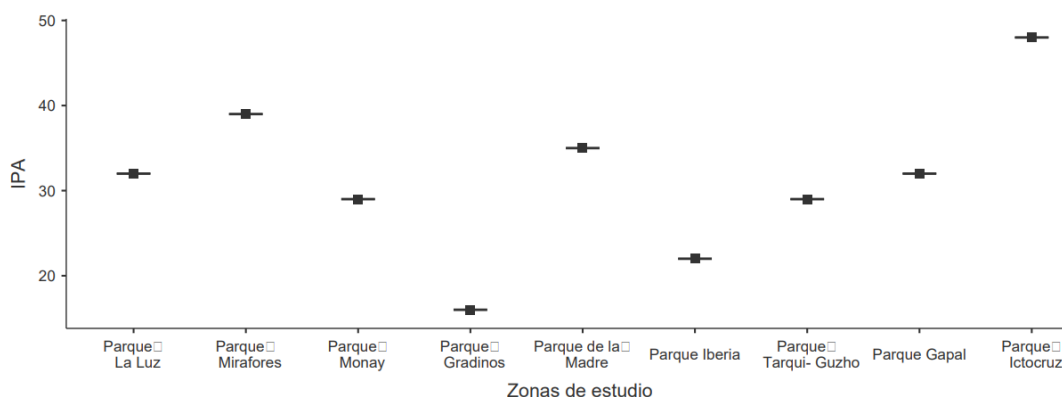
estado del aire en las áreas con vegetación en la ciudad. A pesar de ser áreas reducidas en relación con la expansión de la ciudad, las zonas verdes cumplen un papel esencial en la mejora de la calidad ambiental al actuar como pulmones verdes que contrarrestan los efectos de la contaminación, contribuyendo así a fomentar un entorno más saludable para los habitantes. Esta representación visual proporciona una comprensión completa de la interrelación entre la calidad del aire y los espacios verdes, subrayando la relevancia de la planificación ambiental para el bienestar urbano.



**Figura 16** Zonas de estudio de bioindicadores líquenicos a través del IPA por Galarza, 2019 y autora 2023 en Cuenca.

Fuente: (Galarza, 2019)

En relación con el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) y su comparación con otros parques evaluados en la ciudad, se observan todos los parques en la **Figura 17**, destacando una relación significativa entre los resultados. En particular, el Parque Ictocruz se posiciona con valores más elevados en la escala, indicando una mejor calidad del aire. Cabe destacar que este parque se ubica en la periferia de la ciudad, a diferencia de los demás parques que se encuentran en zonas urbanas.



**Figura 17** Dispersión del IPA en zonas del estudio de bioindicadores líquenicos a través del IPA en 2019 y 2023.

## 4.2 Relación entre el índice de calidad del aire (ICA) general y el índice de pureza atmosférica (IPA).

### a. Correlación de Pearson

Tras analizar la prueba paramétrica del coeficiente de correlación de Pearson entre la relación entre el IPA y el ICAire en la zona de los tres parques planteados, se obtuvo una relación positiva moderada ( $R=0.340$ ) (**Tabla 13**), por lo tanto, se puede afirmar que cuenta con una correlación del 86% de confianza al aumentar las concentraciones de ICA disminuye el valor del IPA en líquenes.

**Tabla 13** Correlación de Pearson del IPA e ICA.

		ICA	IPA
<b>ICA</b>	Correlación de Pearson	1	0,861**
	Sig. (bilateral)		0,340
	N	3	3
<b>IPA</b>	Correlación de Pearson	0,861**	1
	Sig. (bilateral)	0,340	
	N	3	3

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

En un estudio llevado a cabo por Galarza (2019) se estableció una correlación entre el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) y el Índice de Pureza Atmosférica (IPA), incorporando además las coordenadas para la aplicación del coeficiente de correlación de Pearson. Los resultados revelaron correlaciones bajas, indicando una respuesta atenuada a los datos propuestos en la investigación. En un contexto relacionado, un estudio de investigación en Perú, dirigido por Quispe en 2014, exploró correlaciones con el flujo vehicular de distintas zonas. Los hallazgos de este estudio indicaron una relación significativa del 81,24% entre el índice de contaminación atmosférica y el flujo vehicular, evidenciando así la influencia del tráfico vehicular en la calidad del aire en dichas áreas. Estos análisis contribuyen al entendimiento de las complejas interacciones entre variables ambientales y factores antropogénicos.

En un estudio llevado a cabo en Bolivia, específicamente en la ciudad de Cochabamba, por Gonzales et al. (2016), se examinaron los índices de Calidad del Aire (ICA) e Índice de Pureza Atmosférica (IPA). Los resultados revelaron una correlación moderada según el coeficiente de correlación de Pearson, indicando una relación significativa entre estos dos índices ambientales.

Se procedió a ejecutar la comparación cuantitativa y cualitativa de los datos recolectados en cada uno de los parques para evaluar la relación lineal entre los resultados obtenidos con ambos métodos. Considerando así los factores como la riqueza, densidad, Shannon, los ICAs por contaminante, IPA y el índice Pielou (Evenness). Para ello se trabajó con las estaciones fijas de la

EMOV EP para extraer los datos de cada una para posteriormente realizar un dataframe e ir ajustándolo.

En la **Tabla 14** la riqueza se relaciona con el IPA y el ICA\_SO<sub>2</sub> y es significativa, mientras mayor IPA e ICA\_SO<sub>2</sub> más riqueza hay de líquenes; R<sup>2</sup>= de 0,55 aproximándose a uno que no es malo, pero muestra la relación entre las variables.

**Tabla 14** Relación entre riqueza, ICA\_SO<sub>2</sub> por contaminante e IPA.

	Riqueza			
	Estimate	Std. Error	t value	Pr( > t  )
(Intercept)	2,2356	0,6714	3,330	0,00600 **
IPA	0,6158	0,2720	2,264	0,04288 *
ICA_SO <sub>2</sub>	0,4863	0,1492	3,26	0,00683 **

En la **Tabla 15** se observa la relación entre la densidad de líquenes y el IPA, ICA\_PM<sub>2.5</sub> y ICA\_SO<sub>2</sub> indica que cuando hay PM<sub>2.5</sub> disminuye la abundancia de los líquenes en los parques, de igual manera cabe recalcar que los líquenes están adaptados a la ciudad, con un R<sup>2</sup> = 0,82 siendo muy significativo para la relación entre las demás variables.

**Tabla 15** Relación entre densidad, ICA por contaminante e IPA.

	Densidad			
	Estimate	Std. Error	t value	Pr( > t  )
(Intercept)	11,9824	0,8817	13,591	0.000000032 ***
IPA	0,9128	0,2068	4,413	0,00104 **
ICA_PM <sub>2.5</sub>	-14,9046	3,4124	-4,368	0,00112 **
ICA_SO <sub>2</sub>	0,2868	0,1143	2,509	0,02904 *

En la **Tabla 16** se observa la relación del índice de Pielou (Evenness) que es la equidad existente en los parques de acuerdo con las variables IPA, ICA\_PM<sub>2.5</sub> y ICA\_SO<sub>2</sub> indica que el ICA\_PM<sub>2.5</sub> aumenta cuando aumenta la equidad de Evenness, en conclusión, cuando hay menos desigualdad con el PM<sub>2.5</sub> aumenta la equidad.

**Tabla 16** Relación entre Pielou (Evenness), ICA por contaminante e IPA.

	Evenness			
	Estimate	Std. Error	t value	Pr( > t  )
(Intercept)	0,573074	0,060712	9,439	0.000000666 ***
IPA	1,194882	0,245650	4,864	0.000389 ***
ICA_PM <sub>2.5</sub>	-0,058070	0,008199	-7,082	0.0000128 ***

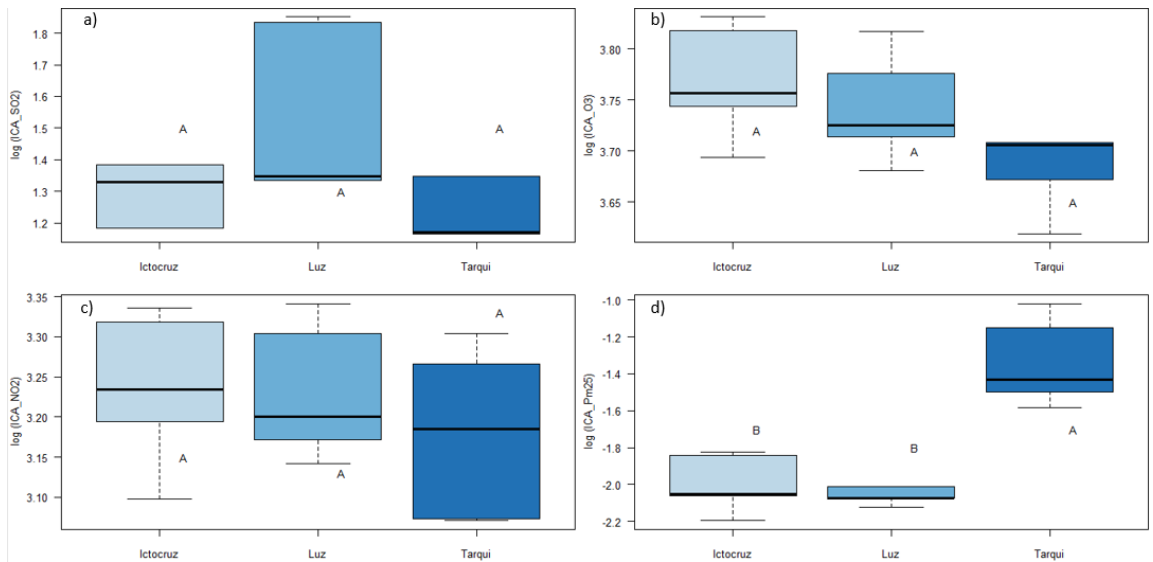
En una investigación realizada por Santoni & Lijteroff, (2006) indica que los resultados derivados del análisis estadístico de los datos del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) indican que las disparidades observadas entre los índices de las áreas de estudio y control poseen significancia estadística, a diferencia de la investigación los datos mostraron significancia en ciertos

contaminantes al tener la riqueza, densidad, que se ocupar para poder medir los líquenes. En un estudio propuesto por Quispe et al., (2014) se establece que realizaron correlaciones con el tránsito vehicular de la zona de Tingo en Perú teniendo una correlación del 81.24% siendo alta.

En un análisis mostrado por Gonzales et al., (2016) se estableció una relación entre las variables de contaminantes del aire, tales como los promedios mensuales de NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y PM<sub>10</sub>, junto con parámetros climáticos e Índices de Calidad del Aire, con el Índice de Pureza Atmosférica. Se observaron relaciones lineales significativas entre los contaminantes y el crecimiento de los líquenes, con valores que oscilan entre 0,83 y 0,967, y un  $P < 0,005$  (Gonzales et al., 2016). Se identificaron relaciones negativas entre el IPA y los contaminantes de NO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub>, indicando que mayores concentraciones de estos contaminantes se asocian con una menor calidad del aire en relación con los líquenes. En contraste, el O<sub>3</sub> mostró una correlación positiva, sugiriendo que mayores concentraciones de este contaminante están relacionadas con un mayor desarrollo de las comunidades liquénicas. Según Pellegrini et al., (2014), la comunidad de líquenes puede manifestar una capacidad de tolerancia a elevadas concentraciones de ozono troposférico, ya que estos organismos poseen ciclos de hidratación-deshidratación que resultan en la liberación de enzimas en respuesta al estrés oxidativo inducido por dicho contaminante.

Por otra parte, Freitas et al., (2011) indican que las partículas suspendidas ejercen una influencia significativamente perjudicial en la distribución de líquenes en zonas urbanas, dado que diversos contaminantes atmosféricos, especialmente elementos, pueden ser absorbidos por su superficie. Esta observación podría justificar la relación más pronunciada del promedio de PM<sub>10</sub> ( $Rho=-14,9046$  y  $P=0,0011$ ) con la diversidad de líquenes. Se sugiere que los líquenes funcionan eficazmente como bioindicadores integrales de la calidad del aire, reflejando de manera integral el impacto global de los contaminantes atmosféricos.

Los datos recopilados de la empresa de movilidad, tránsito y transporte EMOV-EP, correspondientes al período comprendido entre los años 2018 hasta el 2022. Se realizó una relación del Índice de Calidad del Aire (ICA) por contaminante en cada uno de los parques. De las pruebas ANOVA realizadas en todos los ICAs que cumplieron los supuestos, no se encontraron diferencias significativas para ningunos de los factores a excepción del PM<sub>2,5</sub>, donde se observaron diferencias significativas (valor  $p=0.0005324$ ). El posterior análisis con la prueba Tukey, arrojó diferencias significativas entre las distintas zonas de estudio, los cuales fueron representados por la **Figura 18**. En esta figura puede visualizarse que los valores del ICA\_SO<sub>2</sub>, ICA\_O<sub>3</sub>, ICA\_NO<sub>2</sub> los cuales no demostraron que no hay una diferencia significativa a diferencia del ICA\_PM<sub>2,5</sub> mostrando que el parque Ictocruz y Luz no hay diferencia significativa pero el parque Tarqui-Guzho es diferente de Ictocruz pero no es diferente de Luz.

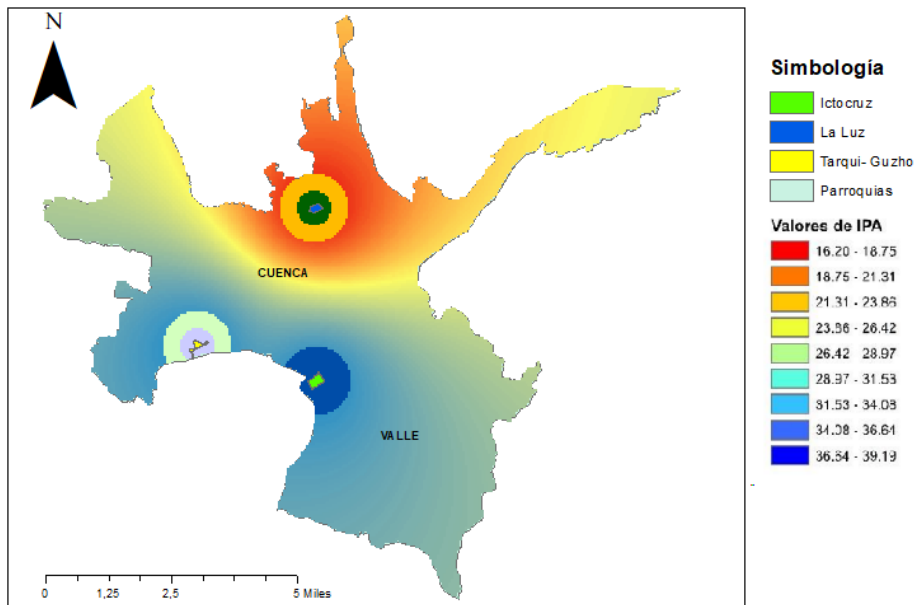


**Figura 18** Grafica de los ICA por contaminante en relación con cada uno de los parques.

Los parques mostraron variaciones significativas a lo largo del tiempo en diversas variables, tales como ICA\_O<sub>3</sub>, ICA\_NO<sub>2</sub>, ICA\_PM<sub>2.5</sub>, ICA\_O<sub>3</sub>. Estas variaciones se manifiestan mediante la observación de picos tanto altos como bajos en las concentraciones de dichas variables. Este comportamiento temporal sugiere la existencia de patrones fluctuantes en la calidad del aire, indicando momentos de mayor y menor concentración de contaminantes atmosféricos en los parques analizados. La interpretación de estos picos proporciona información valiosa sobre la dinámica ambiental en el transcurso del tiempo y puede contribuir a la comprensión de los factores que influyen en la calidad atmosférica en dichas áreas.

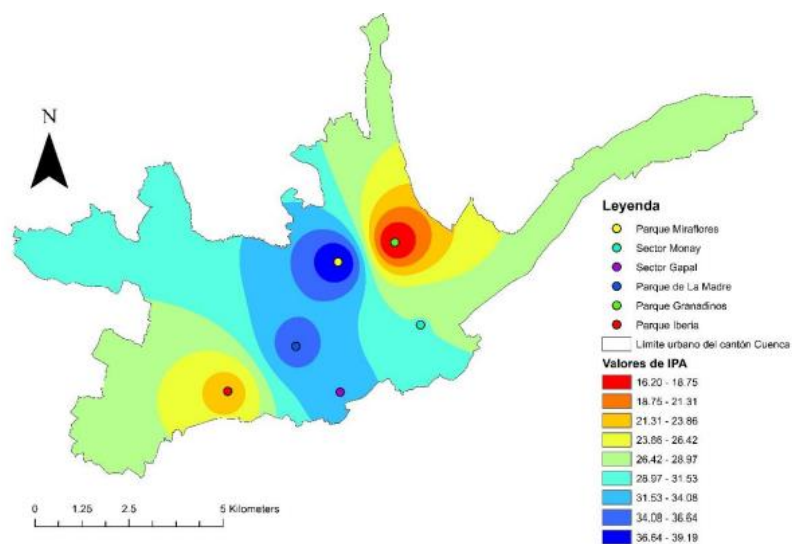
### 4.3 Mapa de georreferencia del índice de pureza atmosférica

De acuerdo a los valores del IPA encontrados de las especies líquénicas en cada parque se realizó un mapa para georreferenciar las zonas de estudio. Este mapa no simplemente muestra la distribución espacial las especies de líquenes, sino que también resalta las regiones con mayores o menores niveles de pureza atmosférica. Las áreas donde hay líquenes sugieren una mejor calidad del aire, mientras que aquellas donde la diversidad de estos organismos disminuye podrían indicar posibles preocupaciones relacionadas con la contaminación atmosférica.



**Figura 19** Proyección de los valores del IPA para los parques de la ciudad de Cuenca.

La **Figura 20** presenta índices de pureza atmosférica para los años 2019 y 2023, destacando la evolución significativa de la calidad del aire en Cuenca. Este análisis no solo ofrece una perspectiva temporal de la atmósfera, sino también destaca áreas verdes en la ciudad, resaltando su papel crucial como pulmones verdes para contrarrestar la contaminación y mejorar la calidad ambiental en el contexto urbano. La representación visual subraya la importancia de la planificación ambiental para promover un entorno urbano más saludable.

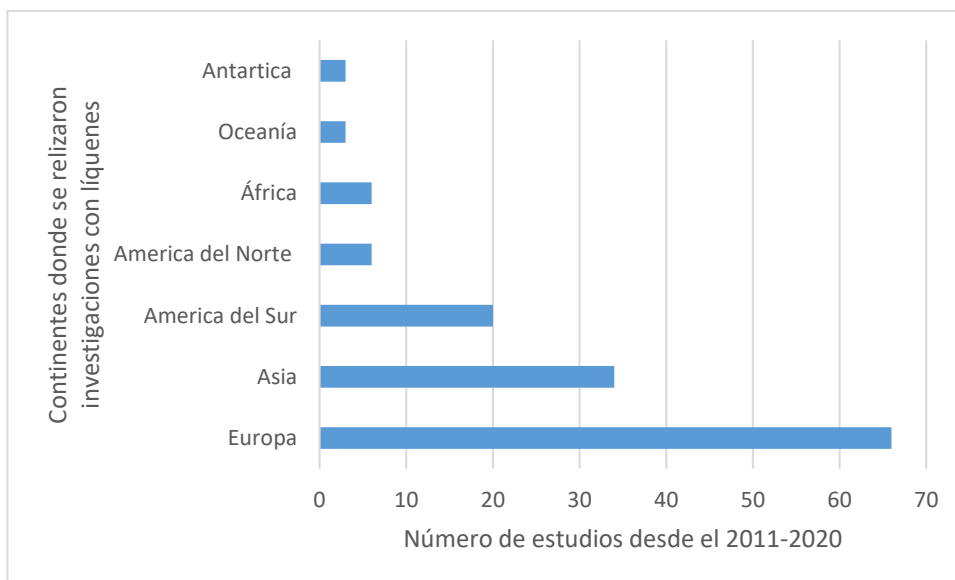


**Figura 20** Proyección de los valores del IPA para los parques de la ciudad de Cuenca en el año 2019.

Fuente: (Galarza, 2019)

En la última década ha aumentado el número de estudios procedentes de Asia, especialmente de India, China y algunos países del Sudeste Asiático. Esto muestra que el estudio

de biomonitorio utilizando líquenes se ha distribuido bien en todo el mundo y no solo se ha llevado a cabo en unos pocos países específicos. Esto mejorará el conocimiento de diferentes áreas geográficas mediante diferentes enfoques. La **Figura 21** indica los diferentes países sobre estudios del índice de pureza atmosférica. La mayoría de los estudios se realizaron en Europa, siendo Italia el país más dominante (Abas, 2021).



**Figura 21** Número de artículos por continente estudiados el índice de pureza atmosférica.

Fuente : (Abas, 2021)

Resulta sumamente impresionante la cantidad de estudios que emplean los bioindicadores líquénicos, los cuales desempeñan un papel crucial en la evaluación de la calidad del aire en entornos urbanos. Estas investigaciones no solo se llevan a cabo a nivel local, sino que también han arrojado resultados prometedores en diversos países. La utilidad de los líquenes como biomonitores atmosféricos radica en su capacidad para absorber contaminantes del aire, funcionando como verdaderas esponjas. La realización de estudios sobre la acumulación de contaminantes en los líquenes ofrece una valiosa perspectiva sobre qué especies pueden ser más susceptibles a niveles elevados de contaminación. Este enfoque amplía nuestro entendimiento de los bioindicadores líquénicos y su relevancia en la monitorización ambiental a nivel global.

# CAPÍTULO V

## 5. CONCLUSIONES

El parque Ictocruz mostró una mayor riqueza de especies líquénicas, luego el parque Tarqui-Guzho y finalmente el parque La Luz. En lo que respecta al índice de Shannon en los parques, el parque Tarqui-Guzho exhibió una mayor equidad de especies en comparación con el parque Ictocruz, que mostró una menor equidad; el parque La Luz presentó un índice inferior, lo que sugiere una menor distribución de especies en la muestra, posiblemente debido a la presencia de *Parmotrema sp.*

El índice de pureza atmosférica (IPA) es altamente utilizable por el hecho de que pueden utilizarse en varias escalas para evaluar los cambios que tienen lugar en una comunidad biológica específica. Por lo tanto, debido a las cualidades mencionadas en el texto, el uso de líquenes como biomonitores y bioindicadores parece ser un método potencial para estudiar el efecto de factores externos en el ecosistema y diferenciar los ecosistemas contaminados y no contaminados.

En los resultados obtenidos, se puede concluir que se aprueba la hipótesis nula, la cual afirmaba que existe diferencia en la calidad del aire entre el Parque Ictocruz y los otros parques. Este hallazgo se respalda con el análisis de los datos recopilados, que revelaron disparidades significativas en la calidad del aire entre los parques mencionados en el IPA e ICA\_PM<sub>2,5</sub>.

Según los análisis de la relación lineal entre los datos, se observó que la riqueza de especies se correlacionó con las variables IPA e ICA\_SO<sub>2</sub> con un ajuste del 55%. La densidad se correlacionó al IPA, ICA\_PM<sub>2,5</sub> y ICA\_SO<sub>2</sub>, mostrando un ajuste del 82%. El índice de Pielou (Evenness) se ajustó al IPA y al ICA\_PM<sub>2,5</sub>, con una predicción del 82%.

La representación cartográfica de líquenes emerge como un recurso valioso para la vigilancia a largo plazo de la calidad del aire. El presente estudio reveló que la contaminación del aire en el área de la ciudad de Cuenca y sus zonas se pueden deber a los contaminantes emanados por los vehículos que se muestran un impacto negativo en la diversidad de los líquenes además de la distribución de áreas verdes en la ciudad. Se concluye el IPA es un método confiable para monitorear la calidad del aire. Se concluyó que el Parque Ictocruz exhibió una calidad de aire superior, según el índice de pureza atmosférica, en contraste con el Parque Tarqui-Guzho, el cual presentó un índice menor, y el Parque La Luz, que demostró una calidad atmosférica inferior, según los bioindicadores líquénicos.

## CAPÍTULO VI

### 6. RECOMENDACIONES

Con base en las conclusiones expuestas en la investigación, se derivan las siguientes sugerencias:

Se recomienda realizar más estudios utilizando bioindicadores para establecer un monitoreo continuo y sistemático en el tiempo, dado que están vinculados directamente con los cambios ambientales. Es crucial llevar a cabo investigaciones sobre la bioacumulación a través de los líquenes, dada su capacidad para absorber directamente contaminantes. Esto debe realizarse considerando la taxonomía específica de los líquenes, lo que permitirá una evaluación más precisa de la calidad del aire y otros aspectos ambientales. Dada la confiabilidad demostrada del Índice de Pureza Atmosférica (IPA), se recomienda continuar su monitoreo como método eficaz para evaluar la calidad del aire en la ciudad. Esto proporcionará datos continuos y permitirá identificar tendencias a lo largo del tiempo.

Una sugerencia adicional consistiría en extender la investigación para abarcar estudios sobre la ecología de los líquenes en la Ciudad de Cuenca. Esto contribuiría a una mejor comprensión de su distribución, diversidad y capacidad de respuesta a las variaciones ambientales. Se sugiere adoptar un enfoque interdisciplinario que integre datos de cartografía, georreferenciación y bioindicadores líquénicos para obtener una comprensión más holística de la calidad del aire en la ciudad. Esto permitirá una planificación más efectiva de estrategias de gestión ambiental.

Se propone considerar otros métodos bioindicadores para la evaluación de la calidad del aire, entre los cuales se destacan el empleo de libélulas, abejas y mariposas. Estos organismos tienen el potencial de proporcionar información valiosa sobre las condiciones ambientales y la presencia de contaminantes atmosféricos. Su utilización como bioindicadores se fundamenta en las respuestas biológicas y comportamentales que exhiben frente a condiciones particulares del entorno. Las libélulas, abejas y mariposas son reconocidas por su sensibilidad a cambios en la calidad del aire. Sus reacciones a los contaminantes atmosféricos pueden ofrecer una indicación precisa de la presencia de sustancias dañinas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abas, A. (2021). A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges. *Ecological Indicators*, 121, 107197. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107197>
- Abril, M. A. Q., Ospina, D. M. R., Rave, M. I. D., & Valencia, J. L. (2021). Lichens as biosensors for the evaluation of urban and sub-urban air pollution in a tropical mountain valley, Rionegro, Antioquia. *Bionatura*, 6(1), 1501-1509. <https://doi.org/10.21931/RB/2021.06.01.10>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2018. (2018). *Publicación de contaminantes atmosféricos de la estación de monitoreo de la ciudad de Cuenca, utilizando servicios estándares OGC*.
- ANEMA. (2018). *Contaminación atmosférica: nuestra salud no tiene todavía la suficiente protección*.
- Arias, M., & Jácome, J. (2020). *Uso de los Megaparques de Cuenca*.
- Asta, J., Erhardt, W., Ferretti, M., Fornasier, F., Kirschbaum, U., Nimis, P. L., Purvis, O. W., Pirintsos, S., Scheidegger, C., Haluwyn, C., & Wirth, V. (2002). Mapping Lichen Diversity as an Indicator of Environmental Quality. En *Monitoring with Lichens — Monitoring Lichens* (pp. 273-279). Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7\\_19](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7_19)
- Batanero, C. (2013). Estadística Con Proyectos. En *Revista de Didáctica de las Matemáticas*. <https://www.ugr.es/~batanero/pages/ARTICULOS/Libroproyectos.pdf>
- Boonpeng, C., Sriviboon, C., Polyiam, W., Sangiamdee, D., Watthana, S., & Boonpragob, K. (2018). Assessing atmospheric pollution in a petrochemical industrial district using a lichen-air quality index (LiAQI). *Ecological Indicators*, 95, 589-594. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2018.08.012>
- Bungartz, F., Alba, Y., Fredy, N., & Frauke, Z. (2013). *Guía rápida de líquenes de las Islas Galápagos*. 445.
- Canseco, A., Anze, R., & Franken, M. (2006). Comunidades de líquenes : indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz , Bolivia. *Acta Nova*, 3(2), 286-307. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892006000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892006000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Caravanos, J., Ganter, J., Möller-Gulland, J., Pope, C., Geer, L. A., Landrigan, P. J., McCarthy, G., Bruce Mechner, K., Member, B., Earth Greg Medcraft, P., Perera, F., Rafi, S., Alam, R., Bernhardt, A., Fuller, R., Leahy, S., & Pradhan, A. (2019). *Panel, Former European Commissioner for Environment*. [www.earthtime.org](http://www.earthtime.org)
- Castroverde, E. (2007). Evaluación y Predicción de la Biodiversidad, Un modelo con Araneidos en el Parque Natural del Cadí-Moixeró. *Programa Biología Animal*, 312. [http://www.eeza.csic.es/foodweb/colgantes/Tesis\\_Eva.pdf](http://www.eeza.csic.es/foodweb/colgantes/Tesis_Eva.pdf)
- Césari, M. I., & Espartaro, V. (2020). *Aplicación del software ImageJ en el análisis de imágenes médicas*. <http://rsbweb.nih.gov/ij/>
- Chen, C., Liu, C., Chen, R., Wang, W., Li, W., Kan, H., & Fu, C. (2018). Ambient air pollution and daily hospital admissions for mental disorders in Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, 613-614, 324-330. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.098>
- Chiriboga, C., Calderón, M. A., Vinueza, N. D., Morales, J. A., & Novillo, V. (2021). *Metro Cultura*.
- Código Orgánico del Ambiente. (2018). Código Orgánico del Ambiente. En *Cristeros y agraristas en Jalisco* (pp. 393-416). <https://doi.org/10.2307/j.ctv3dnqrq.26>
- EMOV. (2022). Informe de la calidad del aire de la Ciudad de Cuenca. En *Emov* (Vol. 25, Número 8

- EMOV EP. (2021). *Informe de calidad del aire*.
- EMOV EP. (2020). Informe de Calidad del Aire. En *Alcaldía de Cuenca* (Vol. 23, Número 3). <http://www.riss.kr/link?id=A107040011>
- Feinsinger, P., & Murcia, C. (2003). *El estudio de campo para la conservación de la biodiversidad*.
- Firdous, S. S., Naz, S., Shaheen, H., & Dar, M. E. (2017). *Lichens as bioindicators of air pollution from vehicular emissions in district Poonch, Azad Jammu and Kashmir, Pakistan*.
- Flores, O., Cortez, R., & Idalia, R. (2019). *Sistema telemático de monitoreo de calidad del aire en zonas remotas, utilizando técnicas IoT y big data: fase I. Estación IoT automatizada para el monitoreo de calidad del aire por contaminantes PM2.5 y Pm10* [Universidad Tecnológica de El Salvador]. <http://biblioteca.utec.edu.sv:8080/jspui/handle/11298/1144>
- Franchini, M., & Mannucci, P. O. (2011). Thrombogenicity and cardiovascular effects of ambient air pollution. *Blood*, 118(9), 2405-2412. <https://doi.org/10.1182/BLOOD-2011-04-343111>
- Freitas, M., Costa, N., Rodrigues, M., Marques, J., & Vieira Da Silva, M. (2011). Lichens as bioindicators of atmospheric pollution in Porto, Portugal. *Journal of Biodiversity and Ecological Sciences*, 1(1), 1.
- Galarza, P. E. (2019). *Facultad de Ciencias Químicas Carrera de Ingeniería Ambiental Determinación de la calidad de aire mediante el uso de líquenes en la ciudad de Cuenca Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental Autora: Paola Estefanía Gal. 74*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33804/1/Trabajo-de-Titulacion.pdf>
- Giordani, P., Brunialti, G., Isocrono, D., Piervittori, R., & Loppi, S. (2002). Identifying Deviations from Naturalness of Lichen Diversity for Bioindication Purposes. En *Monitoring with Lichens — Monitoring Lichens* (pp. 281-284). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7\\_20](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7_20)
- Gonzales, N., Luján, M., Navarro, G., & Flores, R. (2016). Aplicabilidad de líquenes bioindicadores como herramienta de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cochabamba. En *ACTA NOVA* (Vol. 7, Número 4). Universidad Católica Boliviana. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892016000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892016000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Granja- Guevara, G. (2022). *Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de Quito, Ecuador* (Número 8.5.2017). [www.aging-us.com](http://www.aging-us.com)
- Jerves, R., & Armijos -Arcos, F. (2016). Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca - Ecuador. *La Granja*, 23(1). <https://doi.org/10.17163/LGR.N23.2016.03>
- Juárez-Lugo, C. S. (2015). Análisis de varianza de tipo I: Anova I. *Centro Universitario UAEM Ecatepec*, 17, 2-8. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/33860/secme-16960.pdf?sequence=1>
- Kunik, D. (2014). *Introducción al programa ImageJ*. 1-9. <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/install/linux.html>
- Landman, W. (2010). Climate change 2007: the physical science basis. *South African Geographical Journal*, 92(1), 86-87. <https://doi.org/10.1080/03736245.2010.480842>
- Landrigan, P. J., Fuller, R., Acosta, N. J. R., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N. (Nil), Baldé, A. B., Bertollini, R., Bose-O'Reilly, S., Boufford, J. I., Breyse, P. N., Chiles, T., Mahidol, C., Coll-Seck, A. M., Cropper, M. L., Fobil, J., Fuster, V., Greenstone, M., Haines, A., ... Zhong, M. (2018). The Lancet Commission on pollution and health. En *The Lancet* (Vol. 391, Número 10119, pp. 462-512). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)

- LeBlanc, S. C. F., & Sloover, J. De. (1970). Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany*, 48(8), 1485-1496. <https://doi.org/10.1139/b70-224>
- Lijteroff, R., Lima, L., & Prieri, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(2), 111-120. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992009000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- López, J. L., Correa Abril, J., Cano, Y., & Bermúdez Portero, J. (2022). Evaluación de los gases de combustión y material particulado en el aire de parqueaderos del Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador. *REVISTA CIENTÍFICA ECOCIENCIA*, 9(4), 28-46. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.94.693>
- MAE. (2003). Norma De Calidad Del Aire Ambiente Libro VI Anexo 4. *Ministerio del Ambiente del Ecuador*, 402-415. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf>
- Magurran, A. E. (1988). Ecological Diversity and Its Measurement. *Ecological Diversity and Its Measurement*. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>
- Matovelle, C. (2018). Ubicación óptima de parques zonales en el área urbana de la ciudad de Cuenca a través de evaluación multicriterio. *Universidad del Azuay*, 1-145. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4832>
- Minga, D., Adolfo, V., Fredy, N., & Xavier, C. (2010). *Guía de plantas y líquenes de la Refinería del Pacífico*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2017). *Inventarios de emisiones atmosféricas*. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/emisiones-contaminantes>
- Molero, J., Calzado, F., & Merzouki, A. (2008). Para el seguimiento del cambio climático en Sierra Nevada. *Research Gate*, 2005-2008. [https://www.researchgate.net/publication/259345147\\_ESCENARIOS\\_FITOCENOLOGICOS\\_DE\\_OBSERVACION\\_PARA\\_EL\\_SEGUIMIENTO\\_DEL\\_CAMBIO\\_CLIMATICO\\_EN\\_SIERRA\\_NEVADA](https://www.researchgate.net/publication/259345147_ESCENARIOS_FITOCENOLOGICOS_DE_OBSERVACION_PARA_EL_SEGUIMIENTO_DEL_CAMBIO_CLIMATICO_EN_SIERRA_NEVADA)
- Moscoso, J. (2007). *Universidad del Azuay Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación Escuela de Turismo La Belleza Oculta de la Parroquia Rural Sinincay Monografía previa a la obtención del Grado de Guía Superior de Turismo Autora*.
- Moscoso Vanegas, D., Astudillo Alemán, A., & Morales Pérez, M. C. (2018). Inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas de combustión del parque industrial del cantón cuenca-ecuador. *Centro Azúcar*, 45(2), 33-45. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612018000200004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000200004)
- Naciones Unidas. (2015). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. En *Naciones Unidas* (p. 1). <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Nali, C., Balducci, E., Frati, L., Paoli, L., Loppi, S., & Lorenzini, G. (2007). Integrated biomonitoring of air quality with plants and lichens: A case study on ambient ozone from central Italy. *Chemosphere*, 67(11), 2169-2176. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.12.036>
- Nimis, P. L., Scheidegger, C., & Wolseley, P. A. (2002). Monitoring with Lichens — Monitoring Lichens. En *Monitoring with Lichens — Monitoring Lichens* (pp. 1-4). Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7_1)
- Ochoa-Jiménez, D. A., Cueva-Agila, A., Prieto, M., Aragón, G., & Benitez, Á. (2015). Cambios en la composición de líquenes epífitos relacionados con la calidad del aire en la ciudad de Iloja (Ecuador). *Caldasia*, 37(2), 333-343. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v37n2.53867>
- OPS. (2018). Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda: Preguntas frecuentes.

- Organización Panamericana de la Salud, 1-15. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire-salud/contaminacion-aire-ambiental-exterior-vivienda-preguntas-frecuentes>
- OPS, & OMS. (2016, diciembre 19). *Calidad del Aire Ambiente*. Organización Panamericana 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)
- Ortega, C. (2018). Análisis del sistema de transporte público privado de la ciudad de Quito-Ecuador. *19, 39, 1*. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/3041>
- Palacios, E. (2018). *Determinación social de la contaminación del aire urbano y de su relación con el deterioro de la salud respiratoria en los niños y niñas menores de 5 años (Cuenca, Ecuador) 2012-2014* [Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador]. <http://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/6218>
- Palacios, E., & Espinoza, C. (2014). Contaminación del aire exterior. Cuenca-Ecuador, 2009-2013. Posibles efectos en la salud. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas Universidad de Cuenca*, *32(2)*, 6-17. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/medicina/article/view/883/781>
- Paradis, E., & Ahumada, J. A. (2013). Rstudio. *Evolution*.
- Peet, R. K. (1975). Relative Diversity Indices. *Ecology*, *56(2)*, 496-498. <https://doi.org/10.2307/1934984>
- Pellegrini, E., Bertuzzi, S., CandottoCarniel, F., Lorenzini, G., Nali, C., & Tretiach, M. (2014). Ozone tolerance in lichens: A possible explanation from biochemical to physiological level using *Flavoparmelia caperata* as test organism. *Journal of Plant Physiology*, *171(16)*, 1514-1523. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.06.017>
- Quispe, K., Ñiquel, M., & Chuquilin, E. (2014). *Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo*. *42(03)*, 41-50.
- Rhzaoui, G., Divakar, P. K., Crespo, A., & Tahiri, H. (2015). Biomonitoring of air pollutants by using lichens (*Evernia prunastri*) in areas between Kenitra and Mohammedia cities in Morocco. *Lazaroa*, *36(0)*. [https://doi.org/10.5209/rev\\_laza.2015.v36.49486](https://doi.org/10.5209/rev_laza.2015.v36.49486)
- Rivera, L. M. (2017). Los parques urbanos como indicadores de calidad de vida, símbolos de bienestar y espacios de uso recreativo: una investigación en Bucaramanga (Colombia). *Universidad & Empresa*, *16(27)*, 215-237. <https://doi.org/10.12804/rev.univ.empresa.27.2014.07>
- Ródenas, R. (2019). Estudio de la concentración de compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y ozono en el núcleo urbano de la ciudad de Cartagena y evaluación de la exposición de la población. En *All rights reserved. IJES*. <http://nadir.uc3m.es/alejandro/phd/thesisFinal.pdf%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Universidad+de+murcia#0>
- Romero, S. (2021). *Infografía sobre Mega-parques de Cuenca*. <https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/86342>
- Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M., & Chen, Y. (2016). Guidelines on Urban and Peri-Urban Forestry. En *Fao*.
- Santana, J. S., & Farfán, E. M. (2014). El Arte de programar en R. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, 182. [https://cran.r-project.org/doc/contrib/Santana\\_El\\_arte\\_de\\_programar\\_en\\_R.pdf](https://cran.r-project.org/doc/contrib/Santana_El_arte_de_programar_en_R.pdf)
- Santoni, C. S., & Lijteroff, R. (2006). Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la provincia de San Luis, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, *22(1)*, 49-58. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37022105>
- Sasa, M., Oviedo-Brenes, F., & Beneyto-Garrigos, D. (2022). Uso de la diversidad biológica de

- grupos indicadores para evaluar la compensación ecológica: el caso del Embalse Río Piedras, Costa Rica. En *Revista de Biología Tropical* (Vol. 70, Número October). <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v70iS1.53487>
- Segura-Briones, S. V. (2013). *Caracterización de la contaminación atmosférica en seis parques recreacionales del Distrito Metropolitano de Quito mediante el uso de bioindicadores*. 107. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/678>
- Servicio de Sanidad Forestal y Equilibrios Biológicos SSF. (2000). *Inventario de Líquenes Epífitos. En Manual Red CE de Nivel II (Vols. 1–Parte VII)*. [https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/manual\\_red\\_nivel\\_2\\_completo\\_tcm30-155458.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/manual_red_nivel_2_completo_tcm30-155458.pdf)
- Silva, L. T., Fonseca, F., Pires, M., & Mendes, B. (2019). SAUS: A tool for preserving urban green areas from air pollution. *Urban Forestry and Urban Greening*, 46. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126440>
- Simioni, D. (2020). Contaminación Atmosférica y conciencia ciudadana. *Naciones Unidas CEPAL*, 5(Ilustrada), 279. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2351/1/S02121026\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2351/1/S02121026_es.pdf)
- U.S. Environmental Protection Agency. (2016). *Report U.S. Environmental Protection Agency (EPA) International Decontamination Research and Development Conference. December*. [www.epa.gov/nhsrc](http://www.epa.gov/nhsrc)
- U.S. Environmental Protection Agency. (2018). Guidelines for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI) . *Airnow.Gov*. <https://www.airnow.gov/sites/default/files/2020-05/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf>
- UNICEF. (2016). *Clear the air for children - The impact of air pollution on children*. <https://www.unicef.org/media/60106/file>
- Valavanidis, A., Fiotakis, K., & Vlachogianni, T. (2008). Airborne particulate matter and human health: Toxicological assessment and importance of size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms. En *Journal of Environmental Science and Health - Part C Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews* (Vol. 26, Número 4, pp. 339-362). *J Environ Sci Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev*. <https://doi.org/10.1080/10590500802494538>
- Vallarino, A., Pérez, J., Low Pfeng, A., & González, A. (2014). *Bioindicadores* (Primera ed).
- Vargas-Quesada, B. (2005). *Visualización y análisis de grandes dominios científicos mediante redes pathfinder (PFNET)*. <http://www.ugr.es/~benjamin/Tesis-Benjamin.pdf>
- Vargas, A., & Roldán, P. (2018). Not too close, not too far: Urban parks and subjective well-being in the city of Barranquilla, Colombia. *Lecturas de Economía*, 88(88), 183-205. <https://doi.org/10.17533/udea.le.n88a06>
- Vásquez-Camalle, L. M. (2022). *Sistematización de los procesos de monitoreo de la calidad del aire desarrollados en el cantón Latacunga*. <http://localhost/handle/27000/8580>
- Vintimilla-Jarrín, P. F. (2015). *Análisis de resultados de las mediciones de emisiones de gases contaminantes de fuentes móviles a partir de la implementación de la revisión técnica vehicular*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7647>
- WHO. (2006). Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. *Pollution Atmospherique*, 190, 169. <https://www.who.int/publications/i/item/E88189>
- Wong, D. W., Yuan, L., & Perlin, S. A. (2004). Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of air quality data. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 14(5), 404-415. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500338>
- Zambrano, S. M. (2023). "Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de líquenes como

bioindicadores en tres parques del cantón Latacunga”. En *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>

## ANEXOS

**Anexo 1:** Fotografía de la gradilla para el muestreo de los datos in situ de cada área para la toma de imágenes dentro la zona de estudio.



a)



b)

**Figura 1** Colocación de la gradilla para cada árbol de *Eucalytus globulus*. a) Construcción de la gradilla; b) Gradilla en la primera especie.

**Anexo 2:** Fotografía de la colocación de la gradilla en cada árbol muestreado en los tres parques



**Figura 22** Fotografía de las especies evaluadas en el parque La Luz.



**Figura 2** Fotografía de las especies evaluadas en el parque Tarqui -Guzho.



**Figura 3** Fotografía de las especies evaluadas en el parque Ictocruz.

### Anexo 3: Medidas in situ para poder probar la metodología utilizada

Puntos de monitoreo y dirección		Coordenadas									
		Árbol 1		Árbol 2		Árbol 3		Árbol 4		Árbol 5	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Parque Tarqui-Guzho Sector Yanuncay	Avenida Doce de Octubre, frente al campus de la Universidad de Cuenca	291893964	7902628765	291833693	7902625177	291863326	7902526002	291954235	7902742725	291940942	7902650524
Parque de La Luz Sector Miraflores	Cerro Wanakauri, también reconocido como la loma "Tú eres Pedro"	28794076	7899170861	287922846	7899160065	28794076	7899170861	287922846	7899160065	287945013	7899183836
Parque IctoCruz Parroquia Turi	Barrio IctoCruz	2925625	78989816	2926146	78988340	2926003	78.987.879	2927336	790015286	2926206	79.000.915

**Tabla 1** Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo de cada especie en cada parque.

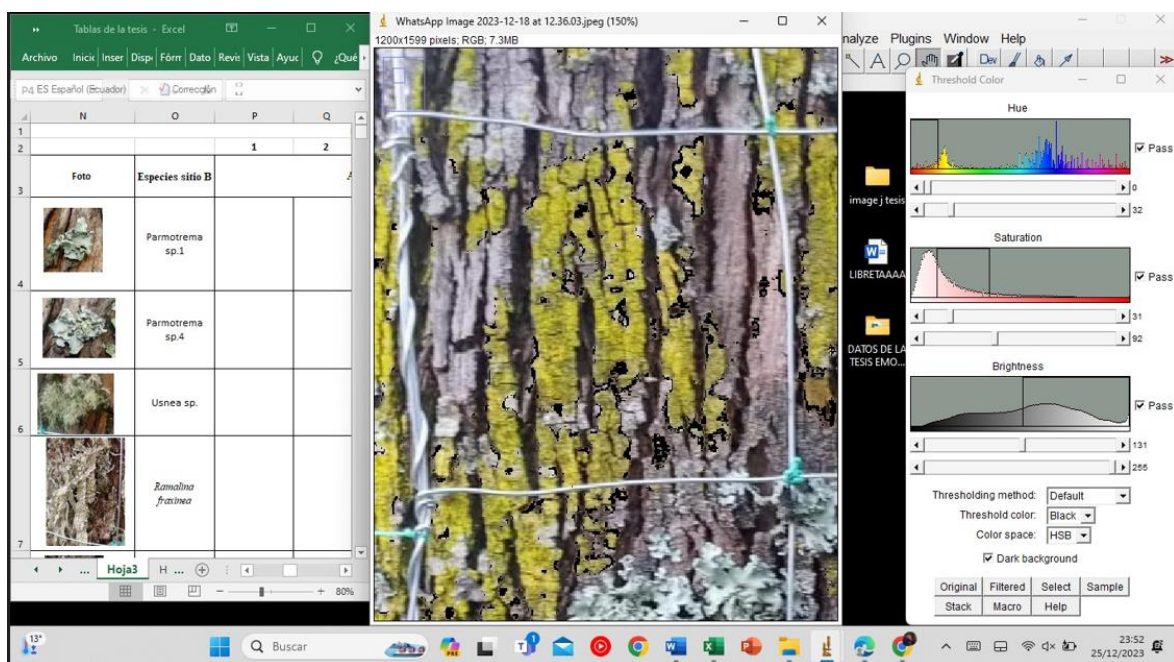
Diámetro (DPA)			
Especies muestreadas	Parque de la Luz	Parque Tarqui Guzho	Parque Ictocruz
Árbol 1	119	169	115
Árbol 2	137	145	116
Árbol 3	182	101	185
Árbol 4	165	165	138
Árbol 5	105	103	110

**Tabla 2** Diámetro a la altura del pecho de cada especie en cada uno de los tres parques.

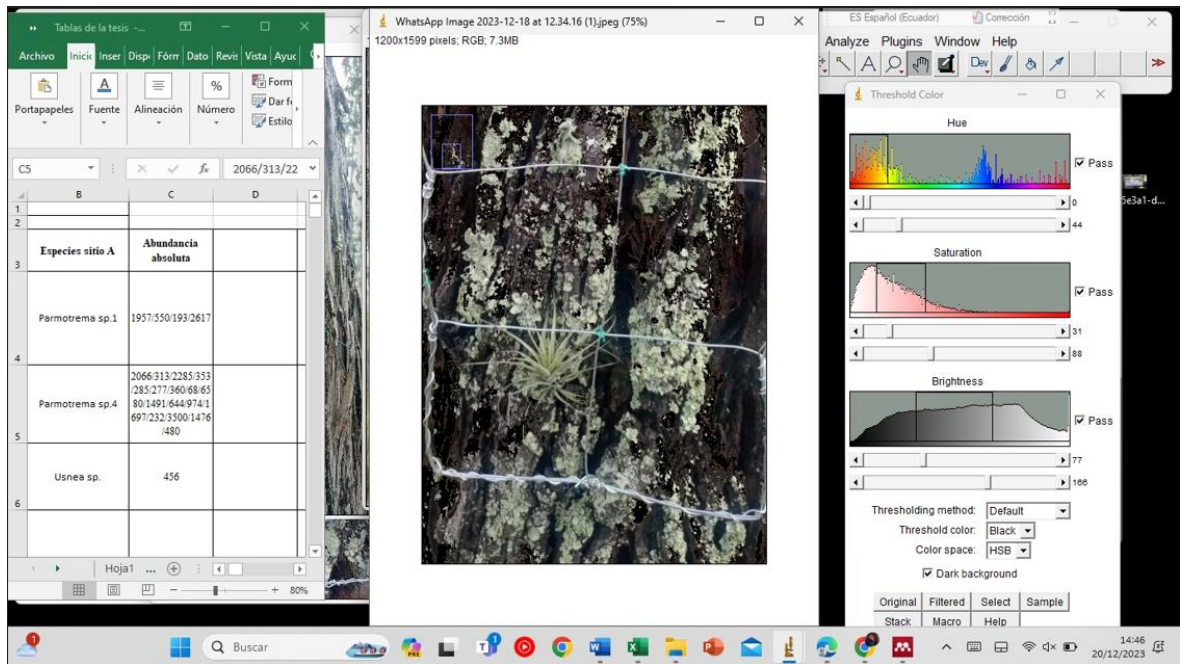
Perímetro			
Especies Muestreadas	La Luz	Tarqui-Guzho	Ictocruz
Árbol 1	59.5	82.75	57.5
Árbol 2	68.5	72.5	58
Árbol 3	91	50.5	92.5
Árbol 4	82.5	82.5	69
Árbol 5	52.5	51.5	55

**Tabla 3** Perímetro de las especies evaluadas en cada uno de los parques.

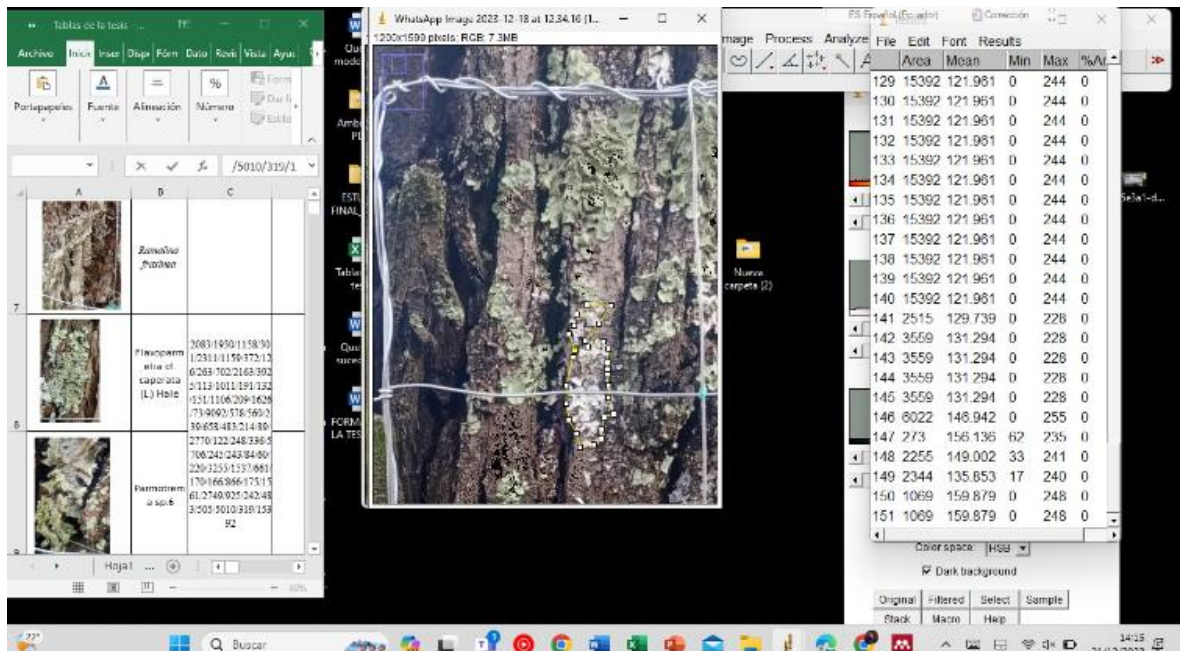
**Anexo 4:** Fotografías del manejo de los programas “Excel” y “Image J” que sirvieron para determinar el grado de contaminación existente en la zona de estudio.



**Figura 4** Obtención de datos de abundancia por medio del programa Image J en el parque La Luz.











**Figura 5** Obtención de datos de abundancia por medio del programa Image J en el parque Tarqui- Guzho.










**Figura 6** Obtención de datos de abundancia por medio del programa Image J en el parque Ictocruz.

**Anexo 5: Fotografías del manejo de los programas “Excel” que sirvieron para determinar la riqueza y abundancia de las especies líquénicas tomadas in situ.**

PARQUE DE LA LUZ													Total
Foto	Especies sitio A	Árbol 1		Árbol 2		Árbol 3		Árbol 4		Árbol 5		Estación de muestreo	
		Abundancia absoluta	1 a 10 cuanto se encuentra la especie	Abundancia absoluta	1 a 10 cuanto se encuentra la especie	Abundancia absoluta	1 a 10 cuanto se encuentra la especie	Abundancia absoluta	1 a 10 cuanto se encuentra la especie	Abundancia absoluta	1 a 10 cuanto se encuentra la especie		
	Parmotrem asp.1	4104	4	15064	3	24632	3	10838	3	1672	1	P1 NOVIEMBRE	54651
	Parmotrem asp.4	18729	5	20767	5	37858	5	22145	4	341	2	P1 NOVIEMBRE	99518
	Usnea sp.	1029	1	0		439	1	185	1	0		P1 NOVIEMBRE	1656
	Parmotrem asp.5	66004	7	191616	6	177380	8	128508	6	580	1	P1 NOVIEMBRE	563535
	Parmotrem asp.6	0		640	1	9562	3	2690	4	0		P1 NOVIEMBRE	12900
	Physcia sp.1	0		9567	2	0		1950	1	0		P1 NOVIEMBRE	11520
	Teloschistes	0		0		0		84		0		P1 NOVIEMBRE	84
	Candelaria concolor (Dicks.) Arnold	0		5637	3	0		0		0		P1 NOVIEMBRE	5640
Total		89866		243291		249871		166400		2593			
Promedio /10			4,25 0,425	3,33333333 0,33333333		4 0,4		3,16666667 0,31666667		1,33333333 0,13333333			16,08333333 0,32166667

**Figura 4 Datos de los líquenes en el parque La Luz.**

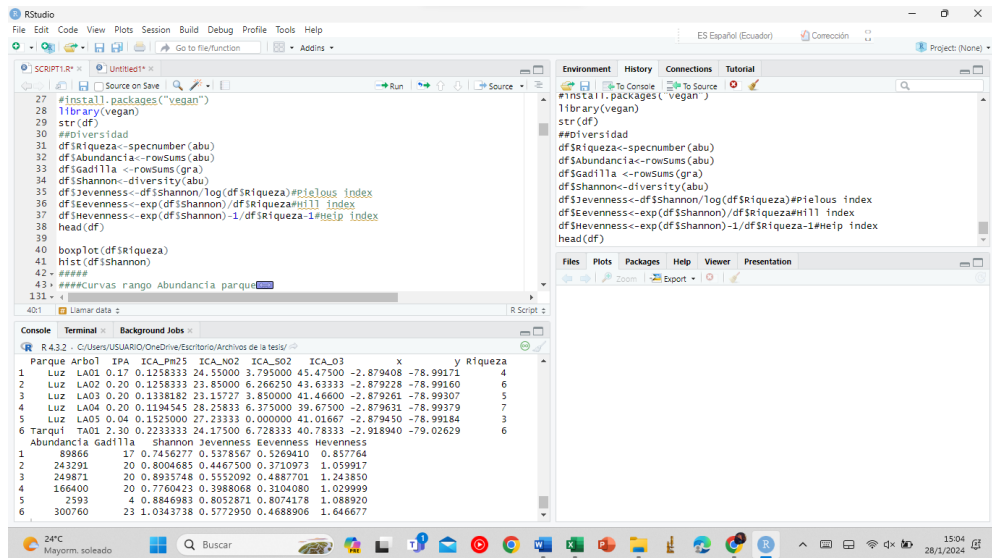
PARQUE TARQUI GUZHO														
Foto	Especies sitio B	Árbol 1		Árbol 2		Árbol 3		Árbol 4		Árbol 5		Sitio de Muestreo	Estación de muestreo	Total
		Abundancia absoluta	1 a 10 cuanto se encuentra la especie	Abundancia absoluta	1 a 10 cuanto se encuentra la especie	Abundancia absoluta	1 a 10 cuanto se encuentra la especie	Abundancia absoluta	1 a 10 cuanto se encuentra la especie	Abundancia absoluta	1 a 10 cuanto se encuentra la especie			
	Parmotrem a sp.1	15949	2	17245	3	0		364	1	6822	2	Tarqui-Guzho	NOVIEMBRE	40386
	Parmotrem a sp.4	1488	3	20398	4	5069	3	539	3	12789	4	Tarqui-Guzho	NOVIEMBRE	40296
	Usnea sp.	0		0		281	1	0		0		Tarqui-Guzho	NOVIEMBRE	282
	Parmotrem a sp.5	11704	3	2352	2	0		0		31380	6	Tarqui-Guzho	NOVIEMBRE	45441
	Parmotrem a sp.6	618	2	0		0		697	1	0		Tarqui-Guzho	NOVIEMBRE	1318
	Parmotrem a sp.	121064	4	22862	3	0		0		0		Tarqui-Guzho	NOVIEMBRE	143933
	Candelaria concolor (Dicks.) Arnold	149937	9	67709	4	2176	2	56	1	0		Tarqui-Guzho	NOVIEMBRE	219894
Total		300760		130566		7526		1656		50991				
Promedio /10			3,83333333		3,2		0,32		2		1,5		4	14,53333333
			0,38333333		0,32		0,2		0,2		0,15		0,4	0,29066667

**Figura 5** Datos de los líquenes en el parque Tarqui- Guzho.

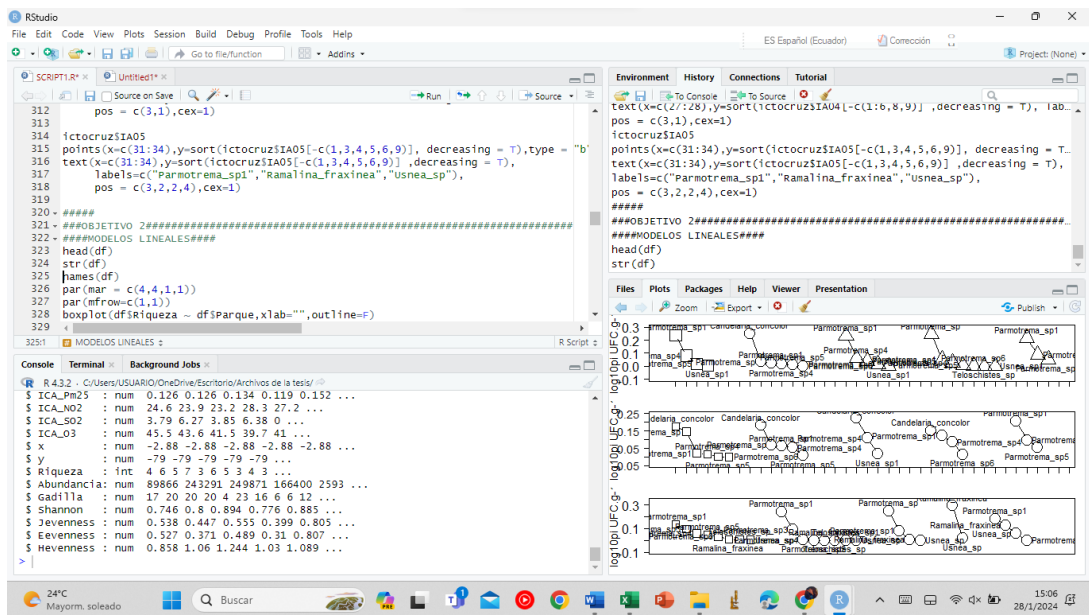
PARQUE ICTOCRUZ														
Foto	Especie sitio C	Árbol 1		Árbol 2		Árbol 3		Árbol 4		Árbol 5		Sitio de Muestreo	Estación de muestreo	Total
		Abundancia absoluta	1 a 10 cuanto se encuentra la especie	Abundancia absoluta	1 a 10 cuanto se encuentra la especie	Abundancia absoluta	1 a 10 cuanto se encuentra la especie	Abundancia absoluta	1 a 10 cuanto se encuentra la especie	Abundancia absoluta	1 a 10 cuanto se encuentra la especie			
	Parmotrema sp.1	21343	7	2664226	10	514	1			31083	6	IctoCruz	NOVIEMBRE	2717184
	Parmotrema sp.3	31557	4	3548	2							IctoCruz	NOVIEMBRE	35111
	Parmotrema sp.4	98926	5	23654	5							IctoCruz	NOVIEMBRE	122590
	Usnea sp.	2542	1	138224	8	56454	7	104145	10	78435	7	IctoCruz	NOVIEMBRE	379826
	Ramalina fraxinea	5306	1	28878	7	4537	3	4080	2	119108	7	IctoCruz	NOVIEMBRE	161922
	Parmotrema sp.5	39701	5	8706602	7							IctoCruz	NOVIEMBRE	8746315
	Parmotrema sp.6	67766	4									IctoCruz	NOVIEMBRE	67770
	Parmotrema sp.					211122	2					IctoCruz	NOVIEMBRE	211124
	Teloschistes sp.2	4500	2	23022	4					1594	3	IctoCruz	NOVIEMBRE	29122
	Teloschistes sp.1			10080	1							IctoCruz	NOVIEMBRE	10081
Promedio /10			3,625 0,3625		5,5 0,55		3,25 0,325		6 0,6		5,75 0,575		24,125 0,4825	

Figura 6 Datos de los líquenes en el parque Ictocruz.

**Anexo 6: Fotografías del manejo del programa “Rstudio” que sirvieron para determinar resultados de riqueza, abundancia, Shannon, y las correlaciones.**



**Figura 7** Determinación del índice de Shannon por medio de Rstudio.



**Figura 8** Manejo del programa Rstudio para la obtención de las gráficas.

**Anexo 7:** Script usado en el programa "R" que sirvieron para determinar resultados de riqueza, abundancia, Shannon, y las relaciones lineales.

```
df <- read.csv("data.csv",header = T,
stringsAsFactors=T,sep=";",dec=",")#DATA total

df

str(df)

head(df)

hist(df$Riqueza)

abu <- read.csv("abundancia.csv",header = T,row.names = 1,sep=";")

#t(abu[1:5,-c(4,8,10)])

str(abu)

head(abu)

##Diversidad

df$Riqueza<-specnumber(abu)

df$Abundancia<-rowSums(abu)

df$Gadilla <-rowSums(gra)

df$Shannon<-diversity(abu)

df$Evenness<-df$Shannon/log(df$Riqueza)#Pielous index

df$Eevenness<-exp(df$Shannon)/df$Riqueza#Hill index

df$Hevenness<-exp(df$Shannon)-1/df$Riqueza-1#Heip index

head(df)
```

**Anexo 7:** Script usado en el programa "R" que sirvieron para determinar resultados de Shannon, por parque.

```
# DIVERSIDAD POR PARQUES

Luz <- data.frame((abu[1:5,]))

Luz <- Luz[, colSums(Luz != 0) > 0]

Luz
```

```

#PARQUE LA LUZ

str(luz)

sort(luz$Luz,decreasing = T)

plot(sort(luz$Luz, decreasing = T),type = "b", pch = 0,las=1,

ylab = "Shannon-Wiener(H)",xlab = "",

xlim = c(0,33),ylim=c(-0.01,.25),xaxt="n",cex.lab=1.3,cex=2,cex.axis=1.5)

colnames(luz)

text(x=c(1:8),y=sort(luz$Luz ,decreasing = T),

labels=c("Parmotrema_sp","Parmotrema_sp6","Parmotrema_sp1",

"Candelaria_concolor",

"Parmotrema_sp4","Parmotrema_sp5",

"Teloschistes_sp","Usnea_sp1"),

pos = c(3,3,3,3,2,2,1,4),cex=0.8)

order(luz$Luz, decreasing = T)

#PARQUE TARQUI

tarqui

points(x=c(12:18),y=sort(tarqui$Tarqui, decreasing = T),type = "b", pch = 1,cex=3)

text(x=c(12:18),y=sort(tarqui$Tarqui ,decreasing = T),

labels=c("Candelaria_concolor","Parmotrema_sp","Parmotrema_sp5",

"Parmotrema_sp1","Parmotrema_sp4","Parmotrema_sp6","Usnea_sp1"),

pos = c(3,3,3,2,4,3,1,4),cex=0.8)

order(tarqui$Tarqui, decreasing = T)

#PARQUE ICTOCRUZ

ictocruz

points(x=c(22:31),y=sort(ictocruz$Ictocruz , decreasing = T),type = "b", pch = 2,cex=2)

```

```

text(x=c(22:31),y=sort(ictocruz$Ictocruz ,decreasing = T),
labels=c("Parmotrema_sp5","Parmotrema_sp1","Usnea_sp1",
"Parmotrema_sp", "Ramalina_fraxinea",
"Parmot_sp4","Parmot_sp6","Parmot_sp3",
"Teloschistes_sp","Teloschistes_sp1"),
pos = c(3,3,3,2,3,1,2,1,4),cex=0.8)
colnames(ictocruz)
order(ictocruz$Ictocruz, decreasing = T)

```

**Anexo 8:** Script usado en el programa "R" que sirvieron para determinar resultados de Shannon, por árbol.

```

#DIVERSIDAD POR ARBOLES DE CADA PARQUE

luz$LA01

plot(sort(luz[-c(1,2,6,7),]$LA01, decreasing = T),type = "b", pch = 0,las=1,
ylab = "Shannon-Wiener",xlab = "",
xlim = c(0,37),ylim=c(-0.1,.3),xaxt="n",cex.lab=1.3,cex=3,cex.axis=1.5)
colnames(luz)

text(sort(luz[c(3:5,8),]$LA01,decreasing = T),
labels=c("Parmotrema_sp1","Parmotrema_sp4","Parmotrema_sp5","Usnea_sp1"),
pos = c(3,2,2,1),cex=1)

luz$LA02

points(x=c(8:13),y=sort(luz$LA02[-c(7,8)], decreasing = T),type = "b", pch = 1,cex=3)

text(x=c(8:13),y=sort(luz$LA02[-c(7,8)],decreasing = T),
labels=c("Candelaria_concolor","Parmotrema_sp","Parmotrema_sp1","Parmotrema_sp4","Parmotrema
_sp5","Parmotrema_sp6"),
pos = c(3,2,3,1,3,4),cex=1)

```

```

luz$LA03

points(x=c(17:21),y=sort(luz$LA03[-c(1,2,7)] , decreasing = T),type = "b", pch = 2,cex=3)

text(x=c(17:21),y=sort(luz$LA03[-c(1,2,7)] ,decreasing = T),
labels=c("Parmotrema_sp1","Parmotrema_sp4","Parmotrema_sp5","Parmotrema_sp6","Usnea_sp1"),

pos = c(3,3,4,2,1),cex=1)

colnames(luz)

luz$LA04

points(x=c(25:31),y=sort(luz$LA04[-c(1)] , decreasing = T),type = "b", pch = 2,cex=3)

text(x=c(25:31),y=sort(luz$LA04[-c(1)] ,decreasing = T),
labels=c("Parmotrema_sp","Parmotrema_sp1","Parmotrema_sp4","Parmotrema_sp5","Parmotrema_sp
6","Teloschistes_sp","Usnea_sp1"),

pos = c(3,2,2,2,3,1,4),cex=1)

colnames(luz)

luz$LA05

points(x=c(34:36),y=sort(luz$LA05[-c(1,2,6,7,8)] , decreasing = T),type = "b", pch =
2,cex=3)

text(x=c(34:36),y=sort(luz$LA05[-c(1,2,6,7,8)] ,decreasing = T),
labels=c("Parmotrema_sp1","Parmotrema_sp4","Parmotrema_sp5"),

pos = c(3,4,1),cex=1)

colnames(luz)

box(bty="l")# pone axis x e y

axis(1, at = c(1:56),labels=NA)

tarqui$TA01

plot(sort(tarqui[c(1:6)],)$TA01, decreasing = T),type = "b",

pch = 0,las=1,ylab = "Shannon-Wiener",xlab = "",

xlim = c(0,37),ylim=c(-0.05,.25),xaxt="n",cex.lab=1.3,cex=2,cex.axis=1.3)

#añadir etiquetas a cada punto

```

```

colnames(tarqui)

text(sort(tarqui[c(1:6),]$TA01,decreasing = T),
labels=c("Candelaria_concolor","Parmotrema_sp","Parmotrema_sp1","Parmotrema_sp4","Parmotrema
_sp5","Parmotrema_sp6"),

pos = c(3,2,2,3,1,4),cex=1)

tarqui$TA02

points(x=c(9:13),y=sort(tarqui$TA02[-c(6,7)], decreasing = T),type = "b", pch = 1,cex=3)

text(x=c(9:13),y=sort(tarqui$TA02[-c(6,7)],decreasing = T),
labels=c("Candelaria_concolor","Parmotrema_sp","Parmotrema_sp1","Parmotrema_sp4","Parmotrema
_sp5"),

pos = c(3,2,3,4,1),cex=1)

tarqui$TA03

points(x=c(18:20),y=sort(tarqui$TA03[-c(2,3,5,6)], decreasing = T),type = "b", pch =
1,cex=3)

text(x=c(18:20),y=sort(tarqui$TA03[-c(2,3,5,6)],decreasing = T),
labels=c("Candelaria_concolor","Parmotrema_sp4","Usnea_sp1"),

pos = c(3,2,1),cex=1)

tarqui$TA04

points(x=c(25:28),y=sort(tarqui$TA04[-c(2,5,7)], decreasing = T),type = "b", pch =
1,cex=3)

text(x=c(25:28),y=sort(tarqui$TA04[-c(2,5,7)],decreasing = T),
labels=c("Candelaria_concolor","Parmotrema_sp1","Parmotrema_sp4","Parmotrema_sp6"),

pos = c(3,2,4,1),cex=1)

tarqui$TA05

points(x=c(33:35),y=sort(tarqui$TA05[-c(1,2,6,7)], decreasing = T),type = "b", pch =
1,cex=3)

text(x=c(33:35),y=sort(tarqui$TA05[-c(1,2,6,7)],decreasing = T),
labels=c("Parmotrema_sp1","Parmotrema_sp4","Parmotrema_sp5"),

pos = c(3,4,1),cex=1)

```

```

box(bty="l")# pone axis x e y

axis(1, at = c(1:56),labels=NA)

ictocruz$IA01

plot(sort(ictocruz[c(2:8,10),]$IA01, decreasing = T),type = "b", pch = 0,las=1,ylab =
      "Shannon-Wiener",xlab = "",

xlim = c(0,37),ylim=c(-.1,.34),xaxt="n",cex.lab=1.3,cex=2,cex.axis=1)

#añadir etiquetas a cada punto

colnames(p3)

text(sort(ictocruz[c(2:8,1),]$IA01,decreasing = T),

labels=c("Parmotrema_sp1","Parmotrema_sp3","Parmotrema_sp4",

"Parmotrema_sp5","Parmotrema_sp6","Ramalina_fraxinea",

"Teloschistes_sp","Usnea_sp"),

pos = c(3,2,2,3,2,1,3,4),cex=1)

colnames(p3)

ictocruz$IA02

points(x=c(11:18),y=sort(ictocruz$IA02[-c(1,6)], decreasing = T),type = "b", pch = 1,cex=3)

text(x=c(11:18),y=sort(ictocruz$IA02[-c(1,6)] ,decreasing = T),

labels=c("Parmotrema_sp1","Parmotrema_sp3","Parmotrema_sp4","Parmotrema_sp5",

"Ramalina_fraxinea","Teloschistes_sp","Teloschistes_sp1","Usnea_sp"),

pos = c(3,2,2,1,3,1,3,4),cex=1)

ictocruz$IA03

points(x=c(21:24),y=sort(ictocruz$IA03[-c(3,4,5,6,8,9)], decreasing = T),type = "b", pch =
      1,cex=3)

text(x=c(21:24),y=sort(ictocruz$IA03[-c(3,4,5,6,8,9)] ,decreasing = T),

labels=c("Parmotrema_sp","Parmotrema_sp1","Ramalina_fraxinea","Usnea_sp"),

```

```

pos = c(3,2,2,4),cex=1)

ictocruz$IA04

points(x=c(27:28),y=sort(ictocruz$IA04[-c(1:6,8,9)], decreasing = T),type = "b", pch =
1,cex=3)

text(x=c(27:28),y=sort(ictocruz$IA04[-c(1:6,8,9)] ,decreasing = T),

labels=c("Ramalina_fraxinea","Usnea_sp"), pos = c(3,1),cex=1)

ictocruz$IA05

points(x=c(31:34),y=sort(ictocruz$IA05[-c(1,3,4,5,6,9)], decreasing = T),type = "b", pch =
1,cex=3)

text(x=c(31:34),y=sort(ictocruz$IA05[-c(1,3,4,5,6,9)] ,decreasing = T),

labels=c("Parmotrema_sp1","Ramalina_fraxinea","Teloschistes_sp","Usnea_sp"),

pos = c(3,4,4,4),cex=1)

```

**Anexo 9:** Fotografías de los datos obtenidos por la empresa de movilidad tránsito y transporte EMOV EP para evaluar el índice de calidad del aire de la ciudad de Cuenca de los años 2018 hasta el 202

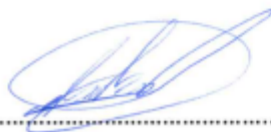
Año		Partículas sedimentables mg/cm2													Promedio	
21	MUN	0,08	0,11	0,1	0,28	0,15	0,07	0,08	0,17	0,1	0,08	0,14	0,14	0,1275		
20	MUN	0,04	0,06	0,06	0,07	0,1	0,244	0,21	0,06	0,14	0,11	0,13	0,11127273			
22	MUN	0,04	0,08	0,06	0,28	0,14	0,1	0,09	0,04	0,13	0,13	0,23	0,22	0,12833333	0,13739495	
19	MUN	0,12	0,11	0,12	0,279	0,114	0,29	0,13	0,18	0,219		0,11	0,1	0,16109091		
18	MUN	0,1	0,095	0,1	0,279	0,109	0,305	0,135	0,115	0,199	0,14333333	0,185	0,14	0,15877778		
21	CCA	0,23	0,48	0,18	0,46	0,28	0,16	0,09	0,24	0,25	0,09	0,09	0,13	0,22333333		
22	CCA	0,08	0,29	0,09	0,46	0,09	0,22	0,25	0,06	0,21	0,17	0,3	0,24	0,205		
20	CCA	0,08	0,12	0,83	0,96	0,14	0,34	0,338	0,11	0,13	0,32	0,11	0,31618182	0,26873333		
19	CCA	0,29	0,48	0,31	0,463	0,592	0,75	0,45	0,17	0,234		0,15	0,08	0,36081818		
18	CCA	0,2	0,08	0,18	0,21	0,16	0,31	0,21	0,32	0,25	0,32	0,22	0,4	0,23833333		
21	EIE	0,13	0,06	0,13	0,19	0,16	0,07	0,09	0,13	0,18	0,1	0,1	0,17	0,12583333		
22	EIE	0,16	0,06	0,17	0,19	0,04	0,06	0,04	0,26	0,04	0,09	0,29	0,11	0,12583333		
19	EIE	0,14	0,06	0,24	0,189	0,134	0,17	0,1	0,06	0,149	ND	0,1	0,13	0,13381818	0,13148788	
20	EIE	0,16	0,09	0,06	0,19	0,08	0,12	0,134	0,13	0,06	0,17	0,12		0,11945455		
18	EIE	0,14	0,21	0,13	0,18	0,12	0,1	0,14	0,13	0,18	0,22	0,07	0,21	0,1525		
<b>Dioxido de Nitrogeno NO2</b>																
21	MUN	26,7	28,7	22,4	25,6	24,7	22,6	25,7	24,4	26,5	25,9	28,2	23,2	25,3833333		
22	MUN	16,7	27,9	34,8	15,6	31,2	18	23	28,1	23,6	32,9	16,1	24,7	24,3833333		
20	MUN	24,9	28,96	26,82	7,31	20,82	19,56	25,51	16,4	15,68	26,4	31,35	24,7	22,1554545	25,5260909	
19	MUN	28,9	27,2	22,1	29,4	29,7	29,9	30,7	24,8	28	28	31,2	27,2	28,0916667		
18	MUN	31,6	31,3	25,2	21,9	19,4	25	22,7	24,7	35,8	25	42,5	26,3	27,6166667		
21	CCA	27	26,8	21,5	26,1	25	26,3	19,3	23,3	28,5	24,8	18,7	27,3	24,55		
22	CCA	21,9	25,5	29	15,8	29,7	19,5	18,8	26	17,7	29,8	24	28,5	23,85		
20	CCA	26,45	23,3	29,19	8,04	18,96	20,86	29,08	22,02	20,04	30,03	26,76	24,7	23,1572727	25,4097879	
19	CCA	32,6	23,1	20,2	24,1	33,8	28,7	29,1	30,5	33,8	28,2	25,1	29,9	28,2583333		
18	CCA	37	29,3	28,8	24,1	18,9	26	19,7	29	37,1	26,1	26,1	24,7	27,2333333		
21	EIE	27,6	23,1	22,7	16,4	21,7	20,7	27	23,7	27,5	25,8	28,2	25,7	24,175		
22	EIA	17,2	22,6	24,3	16,9	28,2	20,1	13,2	26,8	11,4	25,2	22,7	30,7	21,6083333		
20	EIE	24,02	26,26	25,72	7,93	16,39	20,89	24,65	26,67	18,94	24,8	20,89	24,7	21,56	24,1586667	
19	EIE	23,1	27,1	23,3	28	31,4	31,8	21,5	34,6	33,7	21,2	26,5	24,6	27,2333333		
18	EIE	29	25,9	24,3	26,2	15,5	26,2	21,7	28,8	36,7	24,9	28,2	27,2	26,2166667		
<b>Dioxido de asufre SO2</b>																
21	MUN	1,17	14,63	5,8		3,12					1,25	0,2	1,76	3,99		
20	MUN	3,79	4,76	1,36					1,84	26,98	3,23	2,84	6,75	6,44375		
19	MUN	14,66	6,24	8,33	4,64	1,41	0,57	0,24	1,75	0,57	6,49	0,23	0,21	3,77833333	4,3696875	
18	MUN	12,6	4,1	5,6	1,6	0,4	4,6	1,4	3,9	1,8	0,5	1,1	1,6	3,26666667		
21	CCA		3,9	7,5		1,17	8,87	1,23	1,36			5,27	1,06	3,795		
20	CCA	4,44	5,85	3,83					0,55	9,46	14,79	3,62	7,59	6,26625		
19	EIE	17,8	9,37	4,48	0,47	1,28	0,95	1,22	1,56	1,48	6,21	0,32	1,06	3,85	5,0715625	
18	CCA	11	4,5	41,7	0,6	0,5	6,2	0,3	2,3	2,4	1,9	2,2	2,9	6,375		
21	EIE		7,23	ND		12,68		3,87		9,37		5,46	1,76	6,72833333		
20	EIE	4,45	5,98	8,08					1,29	1,23	0,81	1,86	1,97	3,20875	4,25302083	
19	EIE	17,8	9,37	4,48	0,47	1,28	0,95	1,22	1,56	1,48	6,21	0,32	1,06	3,85		
18	EIE	14,2	4,1	7	0,2	0,5	1,5	2,9	0,6	1,5	5,3	0,4	0,5	3,225		
<b>Ozono</b>																
21	MUN	53	81,5	32,9	45,8	26,1	25,1	31,4	34,3	53,2	47,6	52,7	29,9	42,7916667		
22	MUN	48	38,7	41,8	27,8	40,2	38,2	32,1	40,6	55,5	42,7	92,7	55,3	46,1333333	43,3678	
20	MUN	45,45	43,73	31,87			33,84	37,72	44,62	37,55	55,51	36,13	55,97	42,239		
19	MUN	45,5	38,2	49,8	46,8	35,7	28,5	30,9	43,4	46,8	34,1	40	42,4	40,175		
18	MUN	50,2	51,8	47,7	34,4	25,9	36,7	42,4	51,1	56,7	55,6	46,5	47	45,5		
21	CCA	49,8	77,2	44	50,5	19,3	32,8	31,6	42,1	47,4	67,9	53	30,1	45,475		
22	CCA	34,3	35,9	46	25,7	34,8	35,4	31,5	39,8	51,8	41,7	92,4	54,3	43,6333333		
20	CCA	46,21	46,31	30,66			27,46	33,96	42,69	38,59	50,26	47,94	50,58	41,466	42,2532	
19	CCA	47,6	35,2	49,4	42,5	30,8	30,7	31,5	37,2	44,3	35,5	39,5	51,9	39,675		
18	CCA	42,3	50,7	47,9	32,2	23,5	31,3	36,2	46,9	45,4	44,3	43,3	48,2	41,0166667		
21	EIE	42,5	68,2	37	43,6	23,3	23,6	34,6	38,2	50,3	53,3	44,3	30,5	40,7833333		
22	EIE	40,6	41,5	41,3	27,1	39,3	33,9	31,3	38,5	49,9	39,6	79,7	58	43,3916667		
20	EIE	39,93	34,37	32,09			27,99	39,11	35,54	35,64	53,26	44,94	50,24	39,311	40,2888667	
19	EIE	43,6	38,5	44,8	43,6	32,4	24,9	31,4	37,2	41,2	32,8	39,2	37,9	37,2916667		
18	EIE	40,2	46,5	47	30,3	23,7	34,9	34,2	48,4	47,3	47,2	44,6	43,7	40,6666667		

Figura 9 Datos de calidad del aire de la ciudad de Cuenca tomados de la empresa EMOV EP

## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Domenica Daniela Orrala Vasquez portador de la cédula de ciudadanía N.º 0106549009. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "Calidad del aire en tres parques recreacionales del cantón Cuenca, Ecuador mediante el uso de bioindicadores liquénicos" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 11 de marzo de 2024



F: .....  
Domenica Daniela Orrala Vasquez  
0106549009