



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

CARRERA DE GESTIÓN AMBIENTAL

**Criptógamas epífitas (líquenes y briófitos) como
bioindicadores de la calidad de aire en la ciudad de
Cuenca**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

LICENCIADO EN GESTIÓN AMBIENTAL

Autor: Campoverde Alvear, Claudio Rene

Director: Benítez Chávez, Ángel Raimundo

CUENCA

2024



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NC-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2024

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Loja, 03 de abril de 2024

Doctor

Ángel Raimundo Benítez Chávez

Director de la carrera de Gestión Ambiental

Ciudad.-

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: Criptógamas epífitas (líquenes y briófitos) como bioindicadores de la calidad de aire en la ciudad de Cuenca, realizado por Claudio Rene Campoverde Alvear ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ángel Raimundo Benítez Chávez Ph.D

C.I.: 1104055809

Correo electrónico: arbenitez@utpl.edu.ec

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Claudio Rene Campoverde Alvear, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

ser autor del Trabajo de Titulación denominado: Criptógamas epífitas (líquenes y briófitos) como bioindicadores de la calidad de aire en la ciudad de Cuenca, de la carrera licenciatura en Gestión Ambiental, específicamente de los contenidos comprendidos en los siguientes capítulos: materiales y métodos, resultados y discusión en el Trabajo de Titulación, siendo Ángel Raimundo Benítez Chávez, director del presente trabajo; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. Eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual de este trabajo.

Que la presente obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTPL, que establece: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad", en tal virtud, cedo a favor de la Universidad Técnica Particular de Loja la titularidad de los derechos patrimoniales que me corresponden en calidad de autor/a, de forma incondicional, completa, exclusiva y por todo el tiempo de su vigencia.

La Universidad Técnica Particular de Loja queda facultada para ingresar el presente trabajo al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

.....
Autor: Claudio Rene Campoverde Alvear

C.I.: 0302136056

Correo electrónico:

Dedicatoria

A Dios, con profundo amor por permitirme alcanzar la etapa final de este proceso académico. Su influencia ha sembrado en mí la fe, la tolerancia y la constancia necesaria para perseverar sin desistir. Asimismo, con sincero sentimiento y amor, dedico este logro a mi padre, quien un día mostró un entusiasmo inquebrantable por verme convertirme en un profesional.

De manera especial, dedico este trabajo a mi hija, quien tiene un profundo apego hacia la naturaleza y muchos sueños por descubrir.

Agradecimiento

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a toda mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido fundamental en el logro de este objetivo. En particular, quiero dedicar un agradecimiento especial a mi madre, con su cariño y preocupación han dado frutos significativos en la consecución de esta meta académica.

Mi reconocimiento sincero al PhD. Ángel Benítez, director de tesis y director de la carrera de Gestión Ambiental. Su cooperación constante y orientación han sido fundamentales en el desarrollo de este trabajo de titulación. De igual modo, quiero expresar mi agradecimiento a Lesly Ruiz, laboratorista del herbario UTPL, quien contribuyó oportunamente con su conocimiento. Su colaboración ha enriquecido significativamente el contenido de este trabajo.

Índice de contenido

Carátula.....	I
Aprobación del director del Trabajo de Titulación.....	II
Declaración de autoría y cesión de derechos	III
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Índice de contenido.....	VII
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Objetivos.....	5
Capítulo uno	6
Materiales y métodos	6
1.1 Área de estudio.....	6
1.2 Diseño y recolección de datos	7
1.3 Análisis de datos	8
Capítulo dos	10
Resultados.....	10
2.1 Riqueza de especies	10
2.2 Composición de especies.....	11
Capítulo tres	13
Discusión.....	13
Conclusiones.....	15
Recomendaciones.....	16
Referencias.....	17
Apéndice.....	22
Apéndice A. Evidencias de campo y laboratorio	22
Apéndice B. Evidencias de ciertas especies identificadas.....	23

Índice de tablas

Tabla 1 tabla de especies más representativas en el estudio	10
---	----

Índice de figuras

Figura 1 Mapa de las zonas de muestreo de las áreas de estudio	6
Figura 2 Zona de control	7
Figura 3 Zona urbana	7
Figura 4 Identificación de especies	8
Figura 5 Diagrama de cajas de riqueza e índice de Margalef... ..	11
Figura 6 NMDS de la composición de especies entre las zonas control y urbana	12

Resumen

La calidad del aire es un problema a nivel global, y en Ecuador se han detectado esta problemática en Quito, Ambato, Loja y ahora en Cuenca. Con el objeto de proporcionar información sobre la calidad del aire, se llevó a cabo una investigación en la ciudad de Cuenca, en tres zonas urbanas de alto tráfico y tres zonas de control. Se registró riqueza y composición de briófitos y líquenes en 60 árboles, donde se estableció un cuadrante de 10x 50 cm. Se emplearon una prueba T para la riqueza e índice de Margalef entre las dos zonas y un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) y análisis multivariado basado en permutaciones para la composición de especies. Se registraron un total de 85 especies, siendo 77 en las zonas de control y 27 en las zonas urbanas, distribuidas en 54 líquenes, 19 musgos y 12 hepáticas. Los resultados revelaron cambios significativos entre las zonas de control y las urbanas, indicando que los árboles en las zonas de control presentan una mayor riqueza que las zonas urbanas, y la composición de líquenes y briófitos diferente entre las dos zonas. El estudio proporciona evidencia de que las criptógamas epífitas son indicadores sensibles de la calidad del aire en entornos urbanos, destacando las diferencias significativas en la composición de especies entre zonas de alto tráfico.

Palabras clave: briófitos, líquenes, contaminación del aire, Cuenca, forofitos

Abstract

Air quality is a global problem, and in Ecuador this problem has been detected in Quito, Ambato, Loja and now in Cuenca. In order to provide information on air quality, an investigation was carried out in the city of Cuenca, in three high-traffic urban areas and three control zones. Richness and composition of bryophytes and lichens were recorded in 60 trees, where a quadrant of 10 x 50 cm was established. A T-test was used for the richness and Margalef index between the two zones and a non-metric multidimensional scaling analysis (NMDS) and permutation-based multivariate analysis for species composition. A total of 85 species were recorded, 77 in control areas and 27 in urban areas, distributed in 54 lichens, 19 mosses and 12 liverworts. The results revealed significant changes between control and urban areas, indicating that trees in control areas have a higher richness than urban areas, and the composition of lichens and bryophytes differs between the two zones. The study provides evidence that epiphytic cryptogams are sensitive indicators of air quality in urban environments, highlighting significant differences in species composition between high-traffic areas.

Key words: bryophytes, lichens, air pollution, Cuenca, phophytes.

Introducción

El problema de contaminación del aire ha sido objeto de observación y análisis durante mucho tiempo (Montenegro, 2011). Actualmente, se observa que la contaminación del aire es un factor asociado en combinación con otros determinantes provocados naturalmente y por la intervención del hombre entre ellos la contaminación intradomiciliaria, combustión de fuente móviles y los factores ambientales como el clima, incendios forestales (Medina Palacios, 2019). El crecimiento acelerado industrial y poblacional, el parque automotor, la agricultura, los avances tecnológicos y la falta de medidas de control agravan aún más este fenómeno (Romero et al., 2006). El incremento de gases tóxicos tales como monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, óxido de azufre y ozono, los cuales son los más comunes con alta carga de contaminación (Cobo & Arcos 2016). Además, el material particulado (PM) es un contaminante constituido por partículas microscópicas, representando un riesgo para la salud por su intrusión en el sistema respiratorio (Ramírez Naranjo, 2023).

Los briófitos son plantas inferiores que no poseen tejidos conductores, se alimentan de sustancias disueltas en la humedad del ambiente donde viven, al igual que los líquenes son una simbiosis entre un alga y un hongo y reciben sus nutrientes a través el aire (Brightman, Frank y Nicholson, 1977). Poseen características particulares por lo que se vuelven vulnerables a variaciones ambientales siendo organismos bioindicadores que pueden ser usados para la identificación y determinación cualitativa de los contaminantes ambientales, mientras que la definición de biomonitores menciona a aquellos líquenes que son utilizados principalmente para la determinación cuantitativa de contaminantes y pueden ser seleccionados como sensibles y tolerantes (Hawksworth *et al.* 2005).

La pureza del aire se ve afectada principalmente por las emisiones producidas por el tráfico vehicular, que perturban, en este caso de estudio, la proliferación de líquenes y briófitos, afectando su diversidad, frecuencia y cobertura (Canseco et al., 2006). A medida que aumenta la contaminación, se producen cambios en las comunidades de líquenes; los más sensibles son reemplazados por especies tolerantes (Quispe et al., 2014). Los valores más bajos de índice de pureza atmosférica y cobertura se encuentran en las áreas contaminadas,

encontrando especies tóxicas tolerantes, dominantes por grado de cobertura (Cohn & Quezada, 2016). En un estudio con criptogramas epífitos en Perú se documentó que si cambiamos de forofito el pH del mismo variará, esta relación no influye en la diversidad ni en el IPA. Pero mientras más húmedo sea el ambiente de un forofito menos temperatura tendrá, las diferencias sectoriales de todos los valores de las variables fueron insignificantes (Mendoza Merino, 2018). En Costa Rica en un muestreo en época seca y de lluvia, demuestra que la cubierta de estas especies también responde a las condiciones climáticas con más presencia en invierno (Méndez, Estrada & Campos, 2015). En la ciudad de Tunja Colombia la escasez de vegetación en zonas urbanas también influye en la baja frecuencia de criptogramas debido a la contaminación industrial y vehicular (Simijaca Vargas & Morales, 2014).

Según Espinoza y Molina (2014) estudios en Cuenca entre el año 2008 y 2013 se analizó que el pm10 superaba la guía de OMS provocando enfermedades cardiopulmonares. Los niveles de alto tráfico en horas pico, zonas de industrias y de acuerdo a la dirección del viento genera material particulado sedimentable por encima de la norma técnica afectando a los lugares y personas más cercanas (Coronel et al., 2018). Con la red de monitoreo de calidad de aire de Cuenca se manejan todos estos indicadores ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO), partículas finas (PM2.5), dióxido de azufre (SO_3), entre otros dando un resultado promedio de bueno entre 0 y 50 dentro de la tabla del ICA (EMOV EP, 2023). En este estudio en Cuenca se pretende conocer la diversidad de briófitos y líquenes epífitos en seis zonas de la ciudad, tres zonas urbanas y tres zonas de control, en las cuales se verificarán los diferentes rangos de contaminación y se determinará de forma específica la riqueza y composición de criptogramas epífitas, analizando los cambios en la riqueza como bioindicadores de calidad atmosférica.

Objetivo General:

Conocer la diversidad de briófitos y líquenes epífitos en distintas zonas de la ciudad con diferente grado de contaminación del aire.

Objetivos Específicos:

Determinar la riqueza y composición de criptógamas epífitas (líquenes y briófitos) en la ciudad.

Analizar cambios en la riqueza y composición de criptógamas epífitas (líquenes y briófitos) como indicadores de la calidad del aire en diferentes zonas de la ciudad.

Capítulo uno

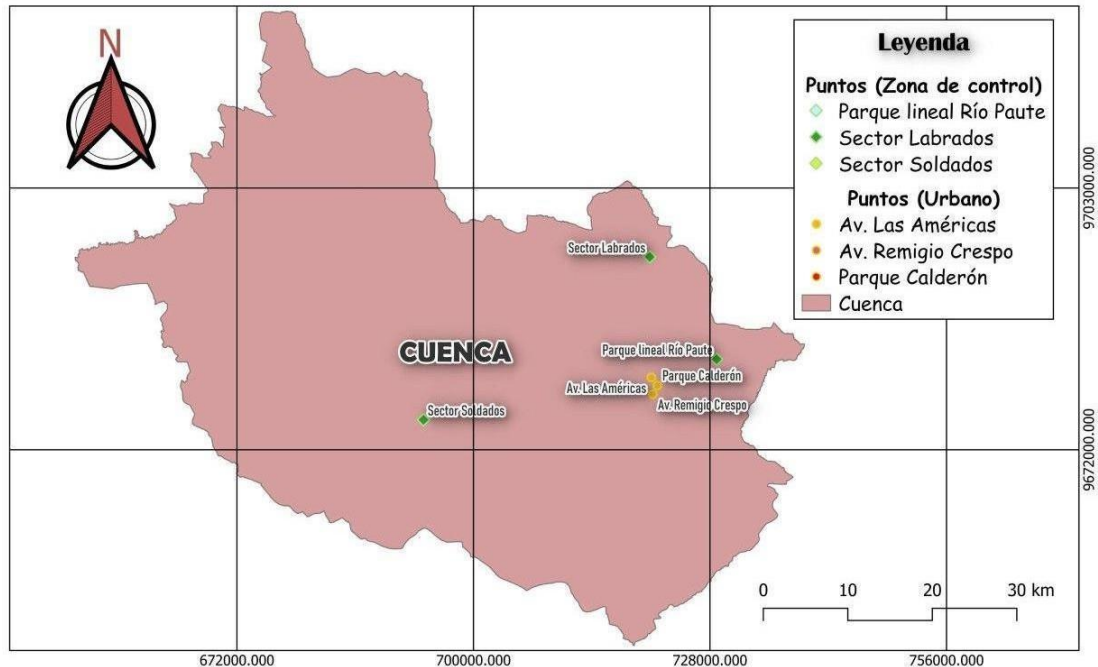
Materiales y métodos

1.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la ciudad de Cuenca, que se ubica en la región Sierra en la parte meridional de la cordillera de los Andes ecuatorianos. Se encuentra a 2.538 m.s.n.m y tiene una población aproximada de 600.000 habitantes. Su superficie es de 15.730 hectáreas y presenta un clima con temperaturas que oscilan entre los 14°C y los 18°C durante todo el año. El valle en el que se sitúa está determinado por sistemas montañosos de excepcionales características y presenta un sistema hidrográfico conformado por cuatro ríos principales: Tomebamba, Yanuncay, Machángara y Tarqui que atraviesan la ciudad de oeste a este (Fundación Turismo Cuenca, 2020).

Figura 1

Mapa de las zonas de muestreo de las áreas de estudio



Nota. Se seleccionó dos zonas, la zona urbana y la zona control (Figura 1)

Figura 2*Zona de control*

Nota. Zonas que corresponden a áreas protegidas ubicada entre los 3000 y 3600msnm con árboles nativos y primarios

Figura 3*Zona urbana*

Nota. Zonas céntricas de la ciudad que presentan alto tráfico vehicular durante todo el día y embotellamiento en horas pico

1.2 Diseño y recolección de datos

Para esta investigación se muestrearon los siguientes lugares: avenida de las Américas (zona 1) el centro histórico parque Calderón (zona 2), avenida Remigio Crespo (zona 3). Estos sitios presentan alto tráfico vehicular durante todo el día. Para las zonas de control se consideró la parroquia Checa, sector Labrados (zona 1) el sector de Soldados (zona 2), y la zona marginal del río Paute al interior de las Lagunas de oxigenación de aguas residuales de Cuenca (zona 3) respetadas como zonas protegidas sin tráfico vehicular. En cada zona se seleccionó 10 árboles con un diámetro igual y/o mayor a los 10 cm, con escasos daños en su corteza y con características similares con la finalidad de homogeneizar el sustrato y contar con la mayor cantidad de briófitos y líquenes, debido a que dependen de las características del sustrato (Riquelme, 2008; Lijteroff et al., 2009; Ochoa-Jiménez et al., 2015). En cada árbol, se registró la frecuencia y cobertura de briófitos y líquenes epífitos,

cubriendo una superficie de 10 x 50 cm, utilizando una rejilla dividida en 20 cuadrículas de 5x5 cm colocándola verticalmente sobre el tronco a una altura de 1 metro del suelo para la cual se utilizó una cinta métrica para tomar el diámetro del tronco (DAP) (Calatayud & Sanz, 2000). Estos procedimientos se llevaron a cabo de manera consistente en todas las zonas de estudio, garantizando la recopilación de datos de manera precisa y comparativa. Las especies se identificaron por medio de claves dicotómicas estandarizadas en la guía de líquenes y briófitos del herbario de la universidad, con la ayuda del estereomicroscopio para determinar su correcta especie y género (Figura 3) al que pertenecen, siguiendo diferentes guías y claves taxonómicas (Gradstein et al., 2001; Brodo et al., 2001; Pérez-Ortega, 2003; Nash et al., 2004; Aptroot et al., 2008; Bungartz, 2008).

Figura 4

Identificación de especies



Nota. Identificación de especies con el estereomicroscopio

1.3 Análisis de Datos

Para evaluar los efectos de las variables zona (Control y Urbana) sobre la riqueza y el índice de Margalef, se realizó una prueba no paramétrica U de Mann-Whitney. Esta elección se debió a que los datos no presentaron una distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk (p -valor < 0.05). Los cambios en la composición de especies en función de la zona se visualizaron mediante un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS). Los

efectos de la zona sobre la composición de especies se evaluaron con un análisis multivariado basado en permutaciones (PERMANOVA), utilizando la distancia Bray-Curtis y 999 permutaciones de Monte Carlo. Todos los análisis se llevaron a cabo en el programa PAST.

Capítulo dos

Resultados

2.1 Riqueza de especies

En total, se registraron 85 especies, 77 especies fueron encontradas en las zonas de control, mientras que 27 fueron registradas en las zonas urbanas. Se identificaron 54 líquenes, 19 musgos y 12 hepáticas.

Tabla 1

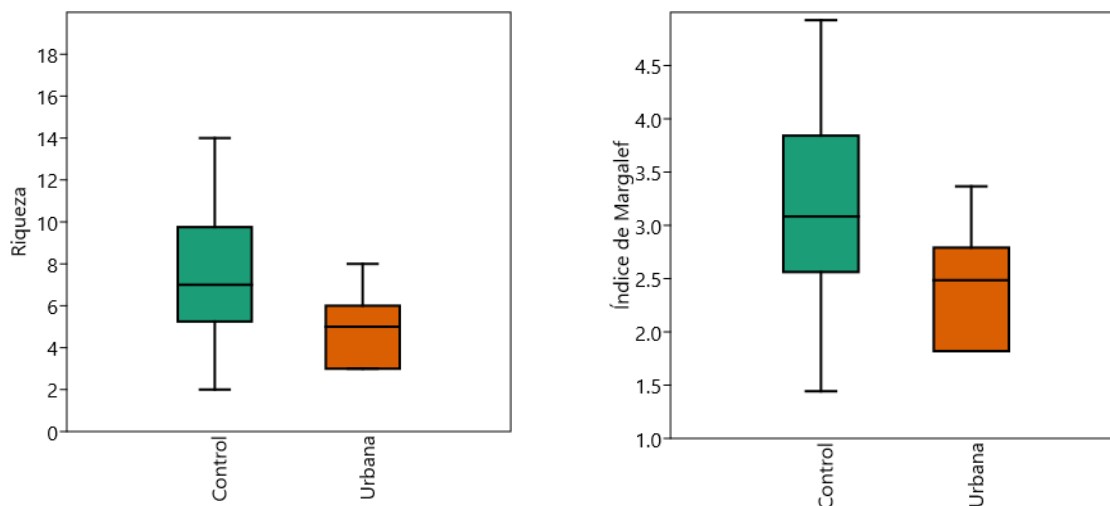
Especies de líquenes y briofitos con mayor frecuencia en las zonas urbanas y control

Especies	Urbana	Control
Líquenes		
<i>Chrysothrix</i>	*	*
<i>Flavopunctelia soledios</i>	-	*
<i>Heterodermia</i>	*	*
<i>Hypotrachyna soledios</i>	-	*
<i>Leptogium</i>	-	*
<i>Lobaria</i>	*	-
<i>Parmotrema verde</i>	*	*
<i>Physcia soledios</i>	*	*
<i>Ramalina celastri</i>	*	*
<i>Sticta</i>	-	*
Briofitos		
Musgos		
<i>Cryphae sp</i>	-	*
<i>Fabronia ciliaris</i>	*	*
<i>Neckeropsis undulata</i>	-	*
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	*	-
<i>Syntrichia fragilis</i>	*	*
Hepáticas		
<i>Frullania ericoides</i>	-	*
<i>Metzgeria</i>	-	*
<i>Microlejeunea bullata</i>	-	*
<i>Thysananthus</i>	-	*

Nota. Esta tabla describe a través de un signo "*" representando la presencia y un signo "-" representando la ausencia de especies de líquenes y briofitos

El diagrama de cajas señaló una mayor riqueza e índice de Margalef en las zonas de control en comparación con la zona urbana (ver Figura 5). La Figura 5 muestra el diagrama de cajas de la riqueza e índice de Margalef entre las zonas de control y urbana.

Figura 5
Diagrama de cajas



La prueba U de Mann-Whitney señaló que la riqueza ($Z=3.89$, $p\text{-valor}<0.0001$) y el índice de Margalef ($Z=3.88$, $p\text{-valor}<0.0001$) cambian significativamente entre la zona control versus la urbana.

2.2 Composición de especies

El NMDS señaló que la composición de especies se agrupa en función de la zona, donde los árboles de las zonas control tienen una composición diferente de líquenes y briófitos que las zonas urbanas (Figura 6).

Figura 6
NMDS

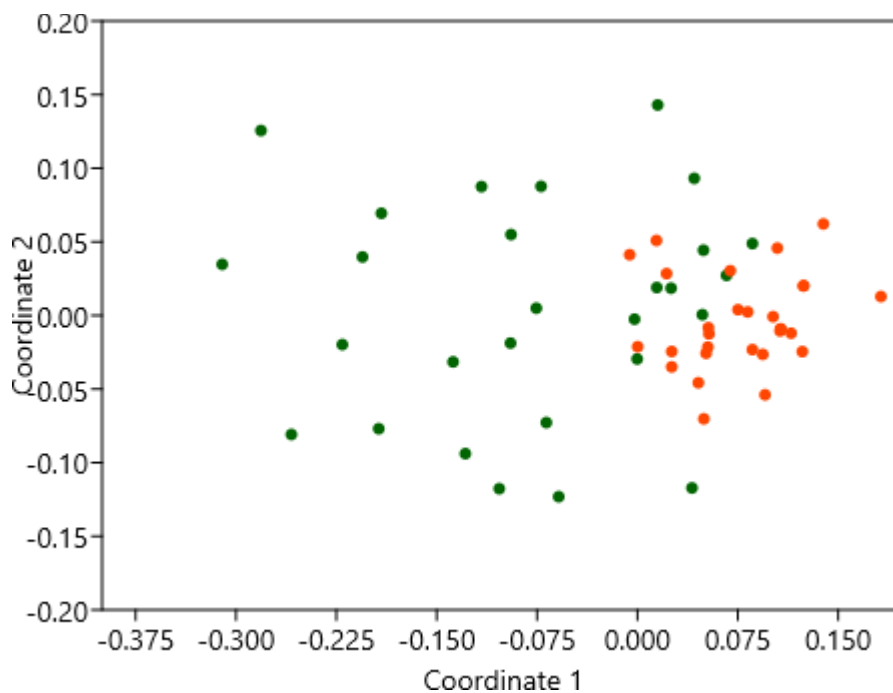


Figura 6. NMDS de la composición de especies entre las zonas control y urbana.

Corroborando estos resultados, el PERMANOVA señaló que hay diferencias significativas ($F=9.54$, $p\text{-valor}=0.0001$) de la composición de especies entre las zonas control y urbana.

Capítulo tres

Discusión

La presente investigación revela que hay variaciones significativas en la riqueza y composición de especies por cuanto a la contaminación del aire. En total, se registraron 85 especies de líquenes y briófitos. En cuanto Saa (2022), demuestra que en un solo hospedador seleccionado con 73 árboles de *Schinus molle*, se localizaron 30 especie de líquenes y briofitos en 3 zonas diferentes. En Ambato se identificaron 39 criptógamas epífitas (Díaz et al., 2021).

La riqueza disminuye en las zonas urbanas, a favor de estos resultados, Simijaca-Salcedo, Vargas-Rojas & Morales-Puentes (2014) demuestra que el crecimiento habitacional y la reducción de áreas verdes también afectan significativamente la riqueza de especies. Además, en Colombia indica que hay gran diversidad de musgos, hepáticas y líquenes, pero los factores ambientales como la contaminación del aire minimizan el establecimiento y crecimiento de estas especies (García, 2016). En relación con otra investigación en la ciudad de Loja se corrobora que la mayor diversidad y riqueza se encuentra en las zonas alejadas de la urbe, registrándose un total de 21 especies de líquenes epífitos en los 70 árboles muestreados (Ochoa et al., 2015). Los resultados indicaron cambios en la diversidad (alfa y beta) y el índice de pureza atmosférica de las comunidades de criptógamas epífitas al pasar de las áreas rurales (control) a las urbanas (Díaz et al., 2021). La riqueza de especies disminuyó en las zonas urbanas en comparación con las zonas control, comparando con un estudio de bioindicadores (Lijterof & PrieRi, 2009). Finalmente, Vargas, Pérez y Navarro (2016) en su investigación sobre el monitoreo de la calidad del aire en Cochabamba (Bolivia) corroboraron que los líquenes son afectados directamente por la contaminación atmosférica, especialmente por NO₂ Y PM₁₀ con resultados similares a este estudio en Cuenca.

En cuanto a la composición de las comunidades de líquenes epífitos se demostró que cambia con la contaminación del aire (Pérez & Watteijne 2009). Se destaca la presencia coincidente de especies toxitolerantes como *Phycia* (Ochoa et al., 2015). En Perú las especies como *Candelaria concolor* se ha identificado como tolerantes a áreas urbanas beta

de criptógamas epífitas al pasar de las áreas rurales (control) a las urbanas (Díaz et al., 2021). Según Santoni & Lijteroff (2006) menciona que los factores climáticos intervienen en la adaptación en la corteza de los árboles para la composición y riqueza de los líquenes según la temporada seca son menos sensibles que a las épocas de invierno.

Conclusiones

Se registró un total de 85 especies, 77 especies fueron encontradas en las zonas de control, mientras que 27 fueron registradas en las zonas urbanas. Se identificaron 54 líquenes, 19 musgos y 12 hepáticas.

La riqueza y composición de especies se agrupa en función de la zona, donde los árboles de las zonas control tienen una composición diferente de líquenes y briófitos que las zonas urbanas por ende influye tanto en riqueza y diversidad.

La presente investigación ha revelado las zonas urbanas de la ciudad de Cuenca como focos de contaminación, y garantiza la eficacia de los líquenes y briófitos como destacados bioindicadores y bioacumuladores.

Los líquenes y briófitos, al servir como bioindicadores y bioacumuladores, junto con la influencia positiva de la vegetación en la ciudad, hacen de Cuenca un ejemplo destacado en la promoción de la calidad del aire y la biodiversidad. Este estudio subraya la necesidad de reconocer y preservar los elementos naturales presentes en la ciudad para garantizar un entorno sostenible y saludable para las generaciones futuras.

Recomendaciones

Se sugiere la ampliación de más estudios en la ciudad de Cuenca, haciendo uso de estos bioindicadores, insertando otras variables relevantes para llevar a cabo análisis comparativos más completos.

Priorizar la reforestación con enfoque ambiental de aquellas especies capaces de albergar criptogramas y epífitos para optimizar la acumulación de gases contaminantes y metales pesados y mejorar la calidad del aire.

Considerar factores como la adaptabilidad de las especies a las condiciones locales y su contribución a la mejora de la calidad del aire.

Sugerir la implementación de programas de monitoreo a largo plazo con líquenes y briófitos para evaluar la efectividad como bioindicadores atmosféricos.

Referencias

- Angosto Jimenez, G. M., & Cordova Rojas, S. (2021). Estudio de la eficiencia de los líquenes como bioindicadores para identificar contaminantes atmosféricos.
- Armijos Soto, L. J. (2019). Monitoreo activo de la calidad del aire en la ciudad de Loja usando Briófitos. [Tesis de grado, Universidad Técnica Particular de Loja]. Repositorio Institucional RiUTPL [http://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.1196detección de la contaminación atmosférica en Bolivia](http://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.1196detección%20de%20la%20contaminación%20atmosférica%20en%20Bolivia). Revista Virtual REDESMA. Pág: 53-74. https://cebem.org/revistaredesma/vol1/pdf/redesma0101_art03.pdf
- Benítez, Á., Cruz, D., Vega, M., González, L., Jaramillo, N., López, F., & Aguirre, Z. (2021). Briófitos y hongos (liquenizados y no liquenizados) del Parque Universitario Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 11(2), 1-18.
- Benítez, Á., Medina, J., Vásquez, C., Loaiza, T., Luzuriaga, Y., & Calva, J. (2019). Lichens and bromeliads as bioindicators of heavy metal deposition in Ecuador. *Diversity*, 11(2), 1–10. <https://doi.org/10.3390/d11020028>
- Boldo, E. (2016). *La contaminación del aire*. Instituto de Salud Carlos III (ISCIII).
- Brightman, Frank H., and B.E. Nicholson. Guía de campo de las plantas sin flores : algas, hongos, líquenes, musgos, hepáticas y helechos. Barcelona: Omega, 1977. Print.
- Calvo, E., Sanz, M. (2000). Líquenes como bioindicadores de la calidad ambiental en el Parque Natural de la Font Roja (Alicante, España). *Ecología*, N°14. Pág: 103-115. https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia_14_09_tcm30-100564.pdf.
- Cango Paccha, G. P. (2015). Briófitos y líquenes epífitos como organismos bioindicadores de la calidad del aire de la ciudad de Loja. [Tesis de grado, Universidad Técnica Particular de Loja]. Repositorio Institucional RiUTPL <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/11540>
- Canseco, A., Anze, R., Franken, M. (2006). Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia Unidad. *Revista de ciencias y*

tecnología "Activa nova". Vol: 3. No 2. Pág: 286-307.
http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v3n2/v3n2_a09.pdf

- Caiza Montaguano, S. D. (2020). *Análisis de la Información Científica de Líquenes (cup lichen) y musgo (bryophyta sp) utilizados como Bioindicadores de Calidad de Aire* (Bachelor's thesis, Ecuador, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi UTC.).
- Ceballos, M., Segura, P., Pablo, M., Gutiérrez, E., Gracia, J., Ramos, P., Reaño, M., García, B., García, M., Prima, H., Aranda, J., Veiras, X., Bárcena, J., Belmonte, P., Luengo, P., Navascués, E., Orihuel, M., Hernández, K., & Cabo, J. (2020). La calidad del aire en el Estado español durante 2019. *Medi Ambient: Tecnología i Cultura*, 41, 164
- Cobo, R. J., & Arcos, F. A. (2016). Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca-Ecuador. *La Granja*, 23(1), 28-38.
- Cohn Berger, G., & Quezada, M. (2016). Líquenes como bioindicadores de contaminación aérea en el corredor metropolitano de la ciudad de Guatemala. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia*, 26(1), 20–39.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5607516>
- Cordero Carrión, V. O. (2018). *Diversidad de líquenes y briófitos epífitos en diferentes tipos de bosques tropicales amazónicos del Área de Conservación los Tepuyes de la Cordillera del Cóndor-cantón Nangaritza* (Bachelor's thesis).
- Díaz, J., Montañó, L., Salinas, P., & Benítez, Á. (2021). Epiphytic cryptogams as bioindicators of air quality in a tropical Andean city. *Sustainability*, 13(20), 11218.
- Díaz Marañón, J. S. (2020). *Briófitos y líquenes epífitos como indicadores de la calidad de aire en zonas rurales y urbanas de la ciudad de Ambato* (Bachelor's thesis).
- Galarza P (2019) Determinación de la calidad de aire mediante el uso de líquenes en la ciudad de Cuenca, Universidad de Cuenca
- García Martínez, S. (2016). *Briófitos y líquenes: una contribución a la biota del bosque seco tropical, subregión montes de maría (Sucre Colombia)* (Doctoral dissertation, Universidad de Sucre).

- González Gordon, A. E. (2018). *Evaluación de la capacidad bioacumuladora de contaminantes en líquenes, utilizados en el monitoreo de la calidad del aire de la parroquia San Carlos, cantón La Joya de los Sachas, provincia de Orellana* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Gonzales Vargas, N., Luján Pérez, M., Navarro Sánchez, G., & Flores Mercado, R. (2016). Aplicabilidad de líquenes bioindicadores como herramienta de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cochabamba. *Acta nova*, 7(4), 455-482.
- Gradstein, S. R., Churchill, S. P., & Salazar-Allen, N. (2001). Guide to the Bryophytes of Tropical America. *Memoirs of the New Botanical Garden*, 86(December), 573.
- Lijteroff, R., Lima, L., Prieri, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25. Pág: 111-120.
- Loaiza, T., Luzuriaga, Y. (2016). Detección de la contaminación atmosférica por metales pesados mediante el uso de epífitos (bromelias, briófitos y líquenes), en diferentes zonas de la ciudad de Loja. . [Tesis de grado, Universidad Técnica Particular de Loja]. Repositorio Institucional RiUTPL <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/16167>
- Medina Palacios, E. K. (2019). La contaminación del aire, un problema de todos. *Revista de la Facultad de Medicina*, 67(2), 189-191.
- Méndez-Estrada, V. H., & Campos, C. A. (2015). Cobertura de líquenes arborícolas y su relación con la orientación cardinal en parques municipales de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 7(2), 313-317.
- Mendoza Merino, J. E. (2018). Evaluación de la calidad del aire empleando líquenes como indicadores en la Ciudad de Chachapoyas, Amazonas, 2017.
- Montenegro, R. A. (2011). Fukushima está más cerca de lo que creemos. *A+ A*, 17, 03.
- Moscoso-Vanegas, D. L., Vázquez-Freire, V. E., & Astudillo-Alemán, A. L. (2015). Modelamiento de la calidad del aire en la ciudad de Cuenca-Ecuador. *Iteckne*, 12(2), 188-197

- Ochoa Duarte, A., Cangrejo Aljure, L. D., & Delgado, T. (2018). Alternativa Open Source en la implementación de un sistema IoT para la medición de la calidad del aire. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 12(1), 189-204.
- 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 Loja (Ecuador). *Caldasia*, 37(2), 333-343.
- Pena, F. Clemente, J. (2023). Análisis de la contaminación del aire por metales pesados (Plomo y Cadmio) utilizando el Líquen *Physcia* sp. en el distrito de Tingo María–Leoncio Prado–Huánuco-2022.
- Pérez-Ortega, E. B. R. S. (2003). Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación Del Territorio e Infraestructuras Del Principado de Asturias KRK Ediciones 2003, 7(2), 1–16.
- Pérez Quintero, A. L., & Watteijne Cerón, B. (2009). Estructura de una comunidad de líquenes y morfología del género *Sticta* (Stictaceae) en un gradiente altitudinal. *Acta Biológica Colombiana*, 14(3), 159-172.
- Puche, F., Gimeno C., Segarra J. G. Lista de los briófitos de la Comunidad Valenciana (este de España) Universitat de València. Departament de Biologia Vegetal Dr. Moliner, 50. 46100 Burjassot (València). Spain
- Quispe, K., Ñique, M., Chuquilin, E. (2015). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, Perú. *Investigación y Amazonía* 2013; vol: 3. Pág: 99-104. <http://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/90>
- Ramírez Naranjo, R. (2023). *Contaminación atmosférica por material particulado en un territorio urbano y de montaña. Caso de estudio Valle de Aburrá, Colombia* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia)

- Romero-Placeres, M., Diego-Olite, F., & Álvarez-Tuesta, M. (2006). La contaminación del aire : su repercusión como problema de salud. *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.*, 44(2), 1 -14
- Saa Torres E. (2022) *FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES* (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA).
- Segura Briones, S. V. (2013). Caracterización de la contaminación atmosférica en seis parques recreacionales del distrito metropolitano de Quito mediante el uso de bioindicadores. [Tesis de pregrado]. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- SIMIJACA-SALCEDO, D. F., VARGAS-ROJAS, D. L., & MORALES-PUENTES, M. E. (2014). Uso de organismos vegetales no vasculares como indicadores de contaminación atmosférica urbana (Tunja, Boyacá, Colombia). *Acta biológica colombiana*, 19(2), 221-232.
- Torres, M. (2019). Líquenes Como Bioindicadores De La Calidad. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1542/Huaman%20Zelada%20Silvia.pdf?sequence=1>

Apéndice

Apéndice A. Evidencias de campo y laboratorio

Figura A1

Toma de muestras



Figura A2

muestreo



Figura A3

Imagen de identificación de especies



Apéndice B. Imágenes de ciertas especies identificadas

Figura B1

Imagen de Candelaria concolor



Figura B2

Imagen de Phycia



Figura B3

Imagen de Metzgeria

