

Schinus molle como refugio para la diversidad de criptógamas epífitas indicadores de contaminación del aire en Quito, Ecuador

Schinus molle for refugia for diversity of epiphytic cryptogams as indicators of air pollution in Quito, Ecuador

Ángel Benítez^{1,*}; Emiliano Saa²; Erika Yangua-Solano^{1,2}; Leslye Ruiz^{1,2}; Omar Cabrera¹; Fausto López²

1 Biodiversidad de Ecosistemas Tropicales-BIETROP, Herbario HUTPL, Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano Alto s/n, Loja 1101608, Ecuador.

2 Carrera de Gestión Ambiental y Biología, Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano Alto s/n, Loja 1101608, Ecuador.

*Autor correspondiente: arbenitez@utpl.edu.ec (Á. Benítez).

ID ORCID de los autores

Á. Benítez:  <https://orcid.org/0000-0003-4579-1291>

E. Yangua-Solano:  <https://orcid.org/0000-0001-7193-2292>

L. Ruiz:  <https://orcid.org/0009-0004-8771-394X>

RESUMEN

La contaminación del aire en zonas urbanas debido a las emisiones automotrices e industriales es un problema global, incluyendo la ciudad de Quito- Ecuador. En este contexto, estudios previos han señalado el uso efectivo de bioindicadores de la calidad del aire utilizando criptógamas epífitas (briofitas y líquenes), que son organismos sensibles a los contaminantes porque absorben agua y nutrientes del ambiente. En este estudio, determinamos por primera vez los cambios en la riqueza y composición de criptógamas epífitas en el árbol hospedador *Schinus molle* comparando zonas de alto, medio y bajo tráfico de vehículos. Para ello, registramos la frecuencia y la cobertura de líquenes y briofitas con una cuadrícula de 10 x 50 cm, dividida en veinte cuadrados de 5 x 5 cm sobre árboles de *Schinus molle*. Se registraron 30 especies (23 líquenes y 7 briofitas). La riqueza, la cobertura y la diversidad no indicaron cambios en relación con el tráfico de vehículos, sin embargo, la composición de las comunidades indicó ligeros cambios en relación con el tráfico de vehículos. La composición de las especies indicó cambios en relación con el tráfico de vehículos, donde las especies de los géneros *Leptogium* y *Teloschistes* eran dominantes en las zonas con poco tráfico, por el contrario, las especies de los géneros *Candelaria*, *Physcia* y *Frullania* se observaron en zonas con más tráfico que son tolerantes a la contaminación. *Schinus molle* es una especie muy importante como refugio para la diversidad de criptógamas epífitas en zonas urbanas.

Palabras clave: *Schinus molle*; tráfico; briofitas; líquenes; contaminación del aire

ABSTRACT

Air pollution in urban areas due to automotive and industrial emissions is a global problem, including the city of Quito- Ecuador. In this context, previous studies have pointed out the effective use of bioindicators of air quality using epiphytic cryptogams (bryophytes and lichens), which are pollutant-sensitive organisms because they absorb water and nutrients from the environment. In this study, we determined for the first time the changes in the richness and composition epiphytic cryptogams in the host tree *Schinus molle* comparing areas of high, medium, and low vehicular traffic. For this purpose, we registered the frequency and coverage of lichens and bryophytes with a grid of 10 x 50 cm, divided into twenty squares of 5 x 5 cm on *Schinus molle* trees. We recorded 30 species (23 lichens and 7 bryophytes). Richness, cover and diversity did not indicate changes in relation to vehicular traffic, however, the composition of the communities indicated slight changes in relation to vehicular traffic. Species composition indicated changes in relation to vehicular traffic, where species of the genera *Leptogium* and *Teloschistes* were dominant in low traffic areas, conversely species of genera *Candelaria*, *Physcia* and *Frullania* was observed in areas with higher traffic that are tolerant to pollution. *Schinus molle* is a very important species as a refugia for diversity of epiphytic cryptogams in urban areas.

Keywords: *Schinus molle*; traffic; bryophytes; lichens; air pollution.

Recibido: 23-10-2023.

Aceptado: 27-11-2023.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es un problema global con efectos negativos para los ecosistemas y los organismos vivos (Mancheno et al., 2021; Díaz et al., 2021), relacionado con emisiones de automotores y de la industria (Rubiano, 1987; Bell et al., 2011; Madaniyazi & Xerxes, 2021). Por ello, en la ciudad de Quito el crecimiento y desarrollo de la ciudad, junto al parque automotor, han generado un nivel de congestión vehicular relacionado con la contaminación del aire (Herrera et al., 2016). En este contexto, briófitos y líquenes son uno de los grupos taxonómicos más populares utilizados como bioindicadores de la calidad del aire en países tropicales como Brasil (Käffer et al., 2012), Colombia (Romero, 2013), Perú (Quispe et al., 2015), Bolivia (Canseco et al., 2006), Argentina (Calvelo et al., 2009), incluyendo Ecuador (Ochoa-Jiménez et al., 2015; Díaz et al., 2021). Estos organismos son sensibles a los contaminantes debido a que absorben agua y nutrientes del medioambiente a través de su superficie y pueden acumular grandes cantidades de contaminantes presentes en el aire (Dymytrova, 2009; Onianwa, 2001; Pearson et al., 2000; Schröder et al., 2010; Zechmeister et al., 2007; Conti & Cecchetti, 2001). Estudios previos han señalado que la diversidad de líquenes y briófitos cambia con el aumento de la contaminación por tráfico vehicular y otras actividades industriales (Ochoa-Jiménez et al., 2015; Díaz et al., 2021). Se ha reportado la diversidad de criptógamas epífitas como indicadores de la calidad del aire en diferentes arboles hospedadores

(Canseco et al., 2006; Simijaca et al., 2014; Díaz et al., 2021). Por otra parte, varios estudios han usado una o dos especies de árboles hospedadores (Lijteroff et al., 2009; Ochoa-Jiménez et al., 2015; Quispe et al., 2015; Arce, 2020). Sin embargo, hasta la fecha no se ha realizado un monitoreo de la calidad del aire usando la especie *Schinus molle* como único árbol hospedador donde crecen las criptógamas epífitas, a pesar de que la especie es muy abundante en varias ciudades urbanas. Además, a nivel de país existen pocos estudios enfocados en usar criptógamas epífitas como indicadoras de la calidad del aire, por ejemplo, en la ciudad de Loja se han realizado estudios orientados a utilizar la diversidad (Ochoa-Jiménez et al., 2015), monitoreo pasivo (Benítez et al., 2019) y monitoreo activo (Benítez et al., 2021). Así mismo, en la ciudad de Ambato Díaz et al. (2021) utiliza la diversidad de líquenes y briófitos como indicadores de la calidad del aire. Específicamente en Quito Medici et al. (2008) realiza un monitoreo de la calidad del aire por metales pesados usando musgos y Alexandrino et al. (2020) utiliza la especie *Araucaria heterophylla* para el monitoreo de metales pesados relacionados con el tráfico vehicular. Por lo tanto, el objetivo fue determinar por primera vez los cambios en la riqueza y composición de comunidades de líquenes y briófitas epífitas comparando zonas de alto, medio y bajo tráfico vehicular, usando *Schinus molle* como árbol hospedador, lo que permitirá determinar focos de contaminación en las zonas estudiadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en la ciudad de Quito, la cual se encuentra al norte del Ecuador, en la provincia de Pichincha (Figura 1).

Las zonas habitadas del DMQ se encuentran en un rango altitudinal entre los 2850 hasta los 3100 m.s.n.m.

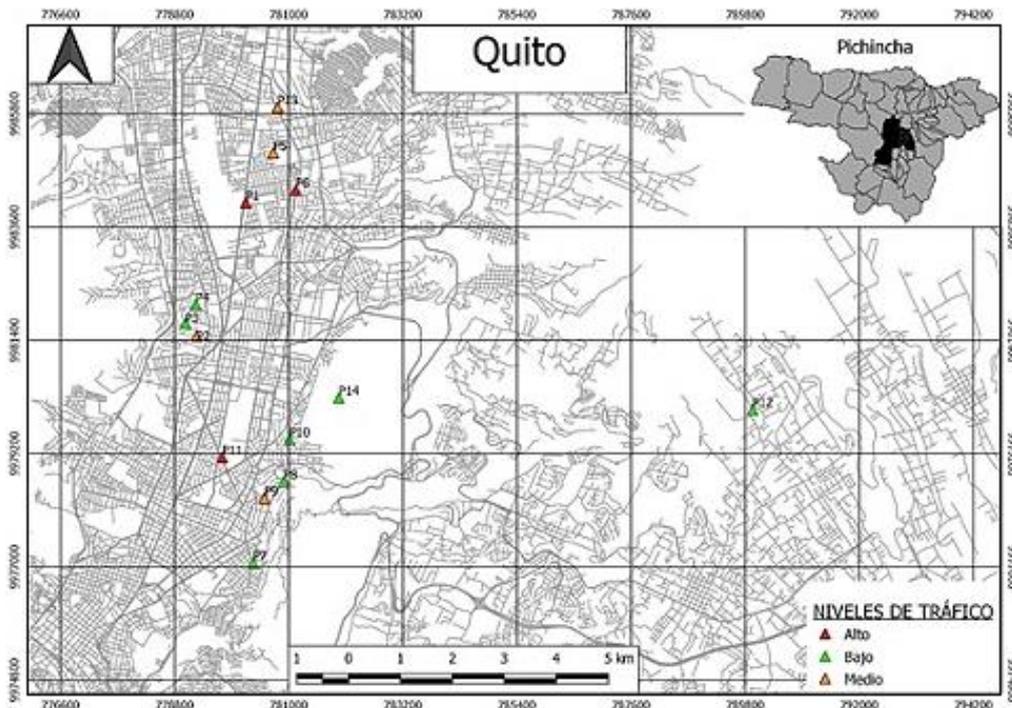


Figura 1. Área de estudio y puntos de muestreo en la ciudad de Quito en relación con el tráfico vehicular.

Se estudiaron vías principales con mayor tráfico vehicular (3 zonas), usualmente de 4 carriles o más y cerca de zonas comerciales o industriales. Las zonas de mediano tráfico vehicular (4 zonas) son avenidas de hasta 4 carriles, en zonas comerciales o residenciales. Los puntos de bajo tráfico vehicular (7 zonas) son calles de 2 carriles, en zonas residenciales y de poca congestión vehicular (Figura 2A-C).

Diseño y recolección de datos

Se clasificó la intensidad de tráfico vehicular utilizando la aplicación de intensidad típica de tráfico de Google Maps Traffic, configurada para un viernes a las 18:00 horas (Alexandrino et al., 2020). En la escala de intensidad típica de tráfico de la aplicación de Google Maps Traffic, los diferentes niveles de tráfico están codificados por colores, el verde representa las calles de menor tráfico y de rápido movimiento vehicular, el color naranja indica velocidad media e intensidad media de tráfico, por último, el color rojo representa las calles de lenta velocidad de movimiento de vehículos y alta intensidad de tráfico (Alexandrino et al., 2020). Se usó la especie *Schinus molle* como árbol hospedador, con la finalidad de homogeneizar el sustrato de donde se obtienen las muestras y evitar que los árboles representen una variable más. Generalmente, los líquenes y briófitos dependen mucho del sustrato donde crecen (Lijteroff et al., 2009; Díaz et al., 2021). En cada árbol se registró la frecuencia y cobertura de líquenes y briófitos con una cuadrícula de 10 x 50 cm, dividida en veinte cuadrados de 5 x 5 cm, que se colocó de forma vertical sobre el tronco del árbol a una altura de 100 cm (Ochoa-Jiménez et al., 2015; Díaz et al., 2021).

Análisis de datos

Para el análisis de diversidad se usó la riqueza específica, los índices de Shannon-Weaver y Simpson. Los cambios en la riqueza y diversidad relacionados con el tráfico vehicular (alto, medio y bajo), se analizaron con Kruskal-Wallis, debido a que la prueba de Shapiro-Wilk presentó un nivel de significancia menor a 0,05 (p-valor < 0,05), por ello los datos no tienen una distribución normal.

Los cambios en la composición de las comunidades de líquenes y briófitos se visualizaron mediante un gráfico de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) con la distancia Bray-Curtis como medida de similitud. Para corroborar los efectos del tráfico vehicular sobre la composición de especies se utilizó un análisis multivariado, basado en permutaciones (PERMANOVA). Los análisis se realizaron en el programa estadístico R 3.2.2. y el paquete estadístico “Vegan” (Oksanen, 2019).

(A)



(B)



(C)



Figura 2. Zonas con diferente nivel de tráfico vehicular. (A) Av. 10 de agosto (tráfico alto), (B) Av. República del Salvador (tráfico medio), (C) Calle Hidalgo de Pínto (tráfico bajo).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron 30 especies, 23 líquenes y 7 briófitos, de las cuales 25 especies se encontraron en zonas catalogadas de bajo tráfico, 21 especies en zonas de nivel de tráfico medio y 18 especies en zonas de nivel de tráfico alto (Tabla 1).

El diagrama de cajas señaló que la riqueza, cobertura y diversidad son similares entre el tráfico bajo, medio y alto (Figura 3). Esto fue corroborado por la prueba de Kruskal-Wallis que confirmó que el tráfico vehicular no tiene un efecto sobre la riqueza y diversidad de especies.

Tabla 1

Especies de líquenes y briofitos en los diferentes niveles de tráfico en la ciudad de Quito

Especies	Tráfico alto	Tráfico medio	Tráfico bajo
Líquenes			
<i>Caloplaca</i> aff. <i>stipitata</i> Wetm.	1	3	2
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) B.Stein	9	22	14
<i>Heterodermia leucomela</i> (L.) Poelt	0	0	1
<i>Lecanora casuarinophila</i> Lumbsch	2	2	2
<i>Lepraria</i> sp.	5	16	14
<i>Leptogium austroamericanum</i> (Malme) C.W.Dodge	0	0	6
<i>Leptogium laceroideis</i> Bouly de Lesd.	0	0	2
<i>Leptogium azureum</i> (Sw.) Mont.	0	1	1
<i>Megalospora</i> sp.	0	2	0
<i>Normandina pulchella</i> (Borr.) Nyl.	2	3	1
<i>Ochrolechia africana</i> Vain.	1	0	0
<i>Parmotrema perlatum</i> (Huds.) M.Choisy	3	10	9
<i>Punctelia</i> aff. <i>cedrosensis</i> Egan y Elix	5	1	10
<i>Punctelia borreri</i> (Sm.) Krog	1	0	0
<i>Physcia aipolia</i> (Humb.) Fürnrrohr	1	3	0
<i>Physcia adscendens</i> (Fr.) H. Olivier	0	2	1
<i>Physcia solediosa</i> (Vain.) Lynge	6	19	24
<i>Physcia undulata</i> Moberg	0	1	0
<i>Ramalina celastri</i> (Spreng.) Krog & Swinscow	0	0	4
<i>Rinodina</i> sp.	2	4	4
<i>Teloschistes chrysophthalmus</i> (L.) Th.Fr.	0	0	4
<i>Teloschistes exilis</i> (Michx.) Vain.	0	0	5
<i>Usnea cirrosa</i> Motyka	0	0	3
Briofitos			
Musgos			
<i>Bryum argenteum</i> Hedw.	1	7	4
<i>Fabronia ciliaris</i> (Brid.) Brid.	4	12	17
<i>Orthotrichum diaphanum</i> Brid.	1	4	4
<i>Syntrichia andicola</i> (Mont.) Ochyra	0	1	3
<i>Syntrichia fragilis</i> (Taylor) Ochyra	8	25	23
Hepáticas			
<i>Frullania ericoides</i> (Mart.) Mont.	2	4	8
<i>Microlejeunea bullata</i> (Taylor) Steph.	2	2	3

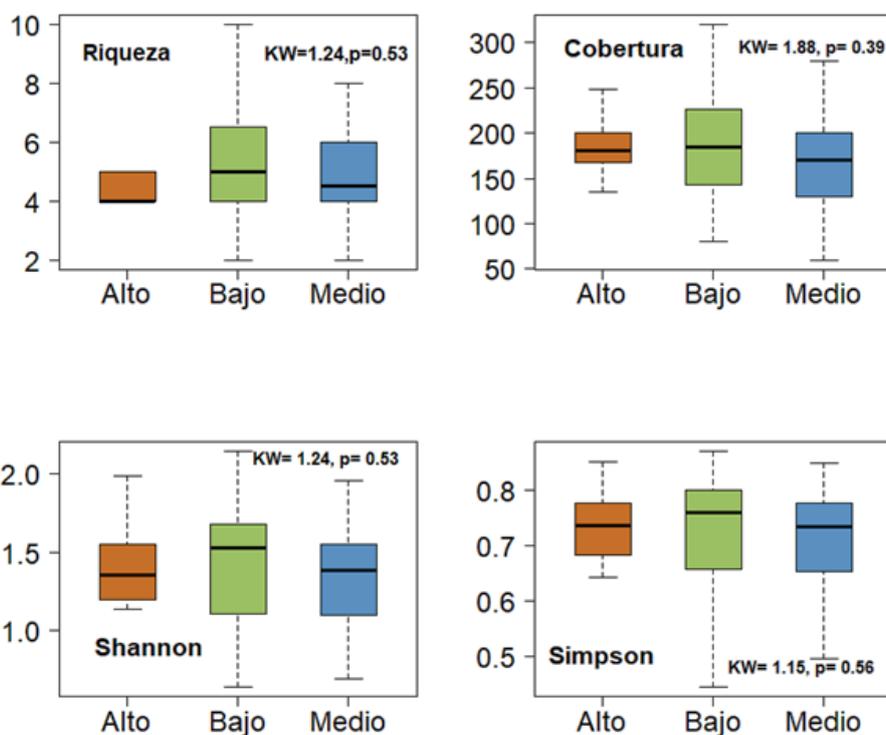


Figura 3. Diagrama de cajas de la riqueza, cobertura e índices de Shannon y Simpson en relación con el tráfico de vehículos.

El escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) señaló distancias similares y distribución uniforme de las especies, lo cual indica que la composición es similar en zonas con diferente tráfico vehicular (Figura 4).

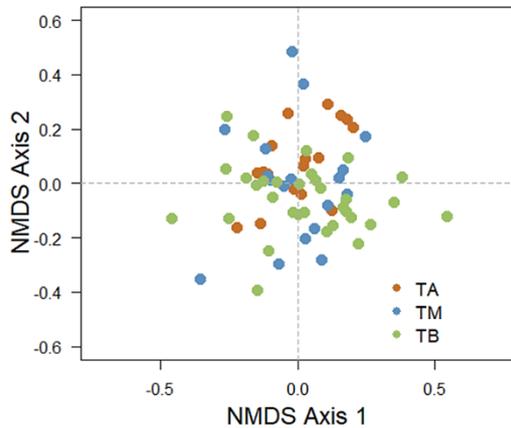


Figura 4. Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) de la composición de criptógamas epífitas en relación al tráfico vehicular.

El análisis Permanova mostró que el tráfico explicó un 5% de varianza explicada en las comunidades de criptógamas epífitas, y el DAP solo el 2 % (Tabla 2).

Tabla 2

Resultados del PERMANOVA de la composición de criptógamas en relación con el tráfico de vehículos. df = grados de libertad; F = estadístico; CV (%) = coeficiente de variación; P-valor = nivel de significación.

	Df	R ²	F	P-valor
Tráfico	2	0,05256	19,747	0,021
DAP	1	0,02925	21,980	0,032
Residual	69	0,91819		
Total	72	100,000		

Los resultados indicaron que la riqueza y diversidad de las comunidades de criptógamas no se relaciona con el tráfico vehicular en la ciudad de Quito. Sin embargo, hay una tendencia en la composición de las comunidades en función del nivel de tráfico, este patrón se ha evidenciado en trabajos a nivel local y global donde las comunidades de briófitos y líquenes responden a gradientes de contaminación (Simijaca et al., 2014; Díaz et al., 2021)

Por otra parte, las 30 especies registradas en la especie hospedadora *Schinus molle* son similares en número a las reportadas en Ecuador por Díaz et al. (2021) con 39 especies, y las 27 especies de líquenes reportadas en Bolivia (Canseco et al., 2006). Así mismo, Simijaca et al. (2014) en Colombia, registra un número ligeramente mayor con 47 especies de epífitas no vasculares (30 líquenes y 17 briófitos). Sin embargo, todos estos

estudios han utilizado diferentes hospedadores para realizar los muestreos de la diversidad de líquenes y briófitos epífitos lo que indicó que *Schinus molle* es una especie muy importante como refugio de diversidad de criptógamas epífitas en zonas urbanas. Esto es corroborado ya que las 30 especies encontradas en este estudio es un número alto comparando con otras investigaciones donde se usó una o dos especies hospedadoras, como es el caso de Lijteroff et al. (2009) con 9 especies reportadas (Argentina); Quispe et al. (2015) con 4 especies (Perú), Arce (2020) con 3 especies reportadas (Bolivia) y Ochoa-Jiménez et al. (2015) que reporta 21 especies de líquenes en un solo árbol hospedador (*Salix humboldtiana*). Las comunidades de criptógamas epífitas señalaron una tendencia de cambio en la composición en función del tráfico vehicular, como ya ha sido documentado por varias investigaciones en zonas tropicales (Canseco et al., 2006; Simijaca et al., 2014; Díaz et al., 2021). Las comunidades de zonas con bajo y medio nivel tráfico se encontró presencia de especies del género *Leptogium* y *Teloschistes*, que son especies catalogadas por previos estudios como poco tolerantes a la contaminación (Ochoa-Jiménez et al., 2015; Díaz et al., 2021). Contrariamente, especies del género *Candelaria*, *Physcia* y *Frullania* han sido catalogadas como especies tolerantes a la contaminación por tráfico vehicular (Ochoa-Jiménez et al., 2015; Díaz et al., 2021) las cuales fueron dominantes en zonas de medio y alto tráfico vehicular. Apoyando nuestros resultados, Ochoa-Jiménez et al. (2015) en la ciudad de Loja evidenciaron cambios significativos en la composición de las comunidades, así mismo Díaz et al. (2021) en la ciudad de Ambato señalaron que la riqueza, índice de pureza atmosférica (IPA) y composición de las comunidades cambian entre diferentes usos de suelo y tráfico vehicular. Además, Alexandrino et al. (2020) en su estudio de acumulación de metales pesados (e.g. Mn, Fe, Al, Ba, Zn, Cu, Cr, Pb) en *Araucaria heterophylla* con relación al tráfico vehicular, en puntos similares a los nuestros, en la ciudad de Quito, señalan que la concentración de metales pesados es mayor en las zonas de alto tráfico vehicular.

En el presente estudio se utilizó una sola especie de árbol (*Schinus molle*) hospedador de líquenes y briófitos para el estudio de la calidad del aire, y de acuerdo con los datos obtenidos sugerimos, que al igual que en otros estudios, se utilice diferentes hospedadores con el objetivo de poder incluir la heterogeneidad del sustrato. Además, como ya se ha evidenciado, se puede aplicar estudios relacionados con monitoreo pasivo y activo utilizando criptógamas epífitas que nos permitan un mejor entendimiento de la calidad del aire en la ciudad de Quito. Así mismo, se puede incorporar variables relacionadas con humedad, y rasgos del árbol hospedador como diámetro a la altura del pecho (DBH) y pH (Guerra et al., 2020).

CONCLUSIONES

Se concluye que la composición de especies señaló una ligera tendencia de cambio en función del tráfico, donde las especies de los géneros *Leptogium* y *Teloschistes* fueron dominantes en las zonas de bajo tráfico debido a su sensibilidad a la contaminación, contrariamente se observó mayor

presencia de especies pertenecientes a los géneros *Candelaria*, *Physcia* y *Frullania* en zonas con mayor tráfico que son tolerantes a la contaminación. La especie *Schinus molle* es considerada como un refugio de biodiversidad de criptógamas epífitas ya que albergan un alto número de especies.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica Particular de Loja por dar soporte para la realización de la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arce, F. G. (2020). Líquenes: bioindicadores de contaminación atmosférica de origen vehicular en tres zonas del distrito de Cajamarca. *UCV-Scientia*, 12(1), 25-33.
- Alexandrino, K., Viteri, F., Rybarczyk, Y., Guevara Andino, J. E., & Zalakeviciute, R. (2020). Biomonitoring of metal levels in urban areas with different vehicular traffic intensity by using *Araucaria heterophylla* needles. *Ecological Indicators*, 117, 106701. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106701>
- Bell, M. L., Cifuentes, L. A., Davis, D. L., Cushing, E., Telles, A. G., & Gouveia, N. (2011). Environmental health indicators and a case study of air pollution in Latin American cities. *Environmental research*, 111(1), 57-66.
- 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), 28.
- Benítez, Á., Armijos, L., & Calva, J. (2021). Monitoring Air Quality with Transplanted Bryophytes in a Neotropical Andean City. *Life*, 11(8), 821.
- Calvelo, S., Baccalá, N., & Liberatore, S. (2009). Lichens as bioindicators of air quality in distant areas in Patagonia (Argentina). *Environmental Bioindicators*, 4(2), 123-135.
- 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.
- Díaz Escandón, D. (2012). Líquenes cortícolas como indicadores ambientales en los alrededores de la mina de azufre El Vinagre (Cauca).
- Díaz, J., Montaña, L., Salinas, P., & Benítez, Á. (2021). Epiphytic cryptogams as bioindicators of air quality in a tropical Andean city. *Sustainability (Switzerland)*, 13(20), 11218. <https://doi.org/10.3390/su132011218>
- Dymytrova, L. (2009). Epiphytic lichens and bryophytes as indicators of air pollution in Kyiv city (Ukraine). *Folia Cryptogamica Estonica*, 46, 33-44.
- Guerra, G., Arrocha, C., Rodríguez, G., Déleg, J., & Benítez, Á. (2020). Briófitos en los troncos de árboles como indicadores de la alteración en bosques montanos de Panamá. *Revista de Biología Tropical*, 68(2), 492-502.
- Herrera, N. H., Santamaría, H. S., Macías, M. M., & Gómez, E. (2016, March). Analysis of the factors generating vehicular traffic in the city of Quito and its relation to the application of sensorial and social data with big data as a basis for decision making. In *2016 Third International Conference one Democracy & Government (ICEDEG)* (pp. 133-137). IEEE.
- Käffer, M. I., Lemos, A. T., Apel, M. A., Rocha, J. V., de Azevedo Martins, S. M., & Vargas, V. M. F. (2012). Use of bioindicators to evaluate air quality and genotoxic compounds in an urban environment in Southern Brazil. *Environmental Pollution*, 163, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.006>
- Lijteroff, R., Lima, L., & Priori, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 25(2), 111-120.
- Madaniyazi, L., & Xerxes, S. (2021). Outdoor air pollution and the onset and exacerbation of asthma. *Chronic Diseases and Translational Medicine*, 7(02), 100-106.
- Mancheno, T., Zalakeviciute, R., González-Rodríguez, M., & Alexandrino, K. (2021). Assessment of metals in PM10 filters and *Araucaria heterophylla* needles in two areas of Quito, Ecuador. *Heliyon*, 7(1), e05966.
- Medici, A., Galecio, G., Murillo, A., Bedón, J., Haro, F., & Noriega, P. (2008). Estudio de la concentración de cadmio y plomo en el aire de la ciudad de Quito, empleando briófitas como bioindicadores. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 8(2), 17-24.
- Ochoa-Jiménez, D. A., Cueva-Agila, A., Prieto, M., Aragón, G., & Benítez, 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. <http://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v37n2.53867>
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szöecs, E., & Wagner, H. (2019). Package 'vegan'. *Community ecology package, version, 2.5.4*. <https://cran.r-hub.io/web/packages/vegan/vegan.pdf>
- Onianwa, P. C. (2001). Monitoring atmospheric metal pollution: a review of the use of mosses as indicators. *Environmental Monitoring and Assessment*, 71, 13-50.
- Pearson, J., Wells, D. M., Seller, K. J., Bennett, A., Soares, A., Woodall, J., & Ingrouille, M. J. (2000). Traffic exposure increases natural ¹⁵N and heavy metal concentrations in mosses. *New Phytologist*, 147(2), 317-326.
- Quispe, K., Ñique, M., & Chuquilin, E. (2018). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, Perú. *RevLA*, 3(2), 99-104.
- Romero, P. A. (2013). Líquenes cortícolas como indicadores atmosféricos en la localidad de Kennedy Bogotá, Colombia. *Boletín Semillas Ambientales*, 7(1), 16-18.
- Rubiano, L. C. (1987). Delimitación en áreas de isocontaminación en Cali y Medellín utilizando líquenes como bioindicadores. *Pérez-Arbelaezia*, 1(4-5), 7-41.
- Schröder, W., Holy, M., Pesch, R., Harmens, H., Fagerli, H., Alber, R., ... & Zechmeister, H. G. (2010). First Europe-wide correlation analysis identifying factors best explaining the total nitrogen concentration in mosses. *Atmospheric environment*, 44(29), 3485-3491.
- 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.
- Zechmeister, H. G., Dirnböck, T., Hülber, K., & Mirtl, M. (2007). Assessing airborne pollution effects on bryophytes-lessons learned through long-term integrated monitoring in Austria. *Environmental pollution*, 147(3), 696-705.