

Líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica de origen vehicular en tres zonas del distrito de Cajamarca, Cajamarca, Perú, 2017

Marcia Ximena Ambrosio Mantilla, Bruno Bringas Becerra & Felipe
Baltazar Gutiérrez Arce

Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo (UPAGU), Cajamarca, Perú

Correo electrónico de Marcia Ambrosio: marcia191993@hotmail.com

Correo electrónico de Bruno Bringas: bbringas12@gmail.com

Correo electrónico de Felipe Gutiérrez: felipegutierrezarce@upagu.edu.pe

Resumen

La investigación se realizó en el distrito de Cajamarca, en donde evaluó la calidad de aire a través de bioindicadores atmosféricos y se correlacionó con el tráfico vehicular, para lo cual se seleccionaron tres zonas: Plaza Amalia Puga, Plaza Mario Urteaga y Parque de la Urbanización Cajamarca, con flujos vehiculares alto, medio y bajo; respectivamente. La finalidad de la presente investigación fue validar a los líquenes como alternativa de bioindicadores atmosféricos para determinar la pureza atmosférica de las zonas de estudio y proponer una metodología sostenible y menos costosa para el monitoreo de contaminantes atmosféricos. Los indicadores utilizados fueron la riqueza y área de líquenes, datos que se obtuvieron a partir de una rejilla de 10 cm x 50 cm dividida en 20 cuadrículas. El área que ocuparon las especies fue calculada con el programa Adobe Photoshop CS6 Extended – Versión 13.0 64bits. El conteo de vehículos fue registrado por minuto en un lapso de 5 minutos durante una hora. El análisis de varianza de los indicadores estudiados se realizó a través del software estadístico InfoStat y este determinó diferencias significativas de los indicadores entre los lugares de estudio ($p < 0.0001$). La zona con mayor flujo vehicular (Plazuela Amalia Puga, 36 veh/min) presentó menor área líquénica (34,8 cm²), baja riqueza de líquenes (1.8 sp) y un valor menor de IPA (13,8), a diferencia de la zona con menor flujo vehicular (Parque Urbanización Cajamarca, 0 veh/min) tuvo mayor área líquénica (192.7 cm²), alta riqueza de especies y un valor mayor de IPA (64,1). (menor contaminación atmosférica).

Palabras clave: contaminación, bioindicador, líquenes, parque automotor, pureza atmosférica.

Abstract

The research was carried out in the Cajamarca district, where the air quality was evaluated through atmospheric bioindicators and it was correlated with traffic, for which three zones were selected: Small square Amalia Puga, small square Mario Urteaga and Parque Urbanización Cajamarca, with high, medium and low traffic flows; respectively. The purpose of this study was to validate lichens as an atmospheric bioindicators to determine the atmospheric purity of the study areas and to propose a sustainable and less expensive methodology for the monitoring of atmospheric pollutants. The indicators used were the richness and area of lichens, data that were obtained from a 10 cm x 50 cm grid divided into 20 squares. The area occupied by the species was calculated with the Adobe Photoshop CS6 Extended - Version 13.0 64bits program. The vehicle count was recorded per minute in a 5-minute period for one hour. The analysis of variance of the studied indicators was carried out through the statistical software InfoStat and this determined significant differences of the indicators between the study places ($p < 0.0001$). The zone with the highest traffic (Small square Amalia Puga, 36 veh/min) presented less lichen area (34.8 cm²), low richness of lichens (1.8 sp) and a lower value of IPA (13.8), unlike the area with the lowest vehicular flow (Parque Urbanización Cajamarca, 0 veh/min) presented greater lichen area (192.7 cm²), high species richness and a higher IPA value (64.1).

Keywords: pollution, bioindicator, lichen, automotive park, atmospheric purity.

Introducción

La actividad del transporte de pasajeros y carga por vía terrestre en la ciudad de Cajamarca, ha logrado un gran auge en su desarrollo en los últimos años debido al crecimiento sostenido de la economía nacional. Esta ha sido un factor preponderante para el aumento del parque automotor; sin embargo, eso trae consigo el incremento de emisiones de concentración de gases tóxicos, que es uno de los problemas principales de contaminación del aire de la ciudad y de nuestro país, y afecta en la salud de la población. La falta de un plan interinstitucional para enfrentar esta situación permite que los índices de daños al aire cajamarquino se hallan incrementado últimamente (Grufides 2007).

Los contaminantes atmosféricos son compuestos tóxicos que pueden reflejar características y variaciones existentes en su ambiente, y que se manifiestan a partir de la reacción en los organismos, esto puede usarse como criterio de indicación. De este modo un bioindicador es un organismo o comunidad de organismos que responden a la contaminación de sustancias nocivas, ya sea con alteración a sus funciones vitales o la acumulación a tales sustancias, proporcionando de este modo información sobre el medio en que se encuentran (Vásquez et al. 2006).

Los líquenes tienen un importante papel como bioindicadores de lectura inmediata de la contaminación ambiental y de los cambios climáticos. Al absorber sus nutrientes de la atmósfera y no contar con un sistema excretor, tienden acumular contaminantes los cuales generan un impacto negativo en su reproducción, abundancia y número de especies. Estos organismos presentan mayor sensibilidad a contaminantes como hidrocarburos, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y dióxido de azufre (SO₂); sustancias producidas en su mayoría por el parque automotor (Lijteroff et al. 2009) (Hawksworth et al. 2005)

De acuerdo a la investigación bibliográfica consultada se ha podido encontrar estudios aplicados en Argentina (Estrabou 2004, Giacobone & Cabrera 2009), Bolivia, Chile, Uruguay y Perú (Méndez Monge 2011); los mismos que fueron realizados en zonas urbanas y consideraron el flujo vehicular para la determinación de la alteración que genera en estos organismos; estas investigaciones aplican la metodología del índice de pureza atmosférica (IPA) (Rubiano & Chaparro 2006) para determinar la calidad atmosférica en cuatro zonas de estudio.

Es por esto que el objetivo principal de esta investigación fue validar el uso de líquenes para determinar la contaminación atmosférica en tres zonas del distrito de Cajamarca, cada una con diferentes flujos vehiculares; para así proponer a estos organismos como alternativa de bioindicadores atmosféricos.

Área de estudio

La ciudad de Cajamarca, capital de la región Cajamarca, ubicada en las coordenadas 9207327 y 774949 17M UTM entre los 2400 y 2600 m.s.n.m. (Fig. 1). Las zonas fueron: 1) Plazuela Mario Urteaga (jr. Mario Urteaga), 2) Parque Urbanización Cajamarca y 3) Plazuela Amalia Puga (jr. Amalia Puga).



Figura 1. Área de estudio: a) Plazuela Mario Urteaga, b) Parque Urbanización Cajamarca y c) Plazuela Amalia Puga. Fuente: Google Earth año 2020.

Materiales y métodos

a) Método de investigación

La investigación fue de tipo **aplicativa** ya que se ponen en práctica los conocimientos que se tiene y de nivel **correlacional** dado que se analizarán dos variables y su relación.

b) Diseño de investigación

El tipo de diseño de investigación fue **no experimental** (de tipo transversal) debido a que no se manipuló ninguna variable independiente y solo se observó el área de estudio.

c) Unidad de análisis, universo y muestra

- a. **Unidad de análisis:** Cada árbol de las zonas que fueron muestreadas.
- b. **Universo:** Parque o plazuelas del distrito de Cajamarca que contaron con las especies arbóreas en estudio, dentro de un diseño de muestra no probabilístico.
- c. **Muestra:** Tres zonas urbanas de Cajamarca

La primera zona denominada Plazuela Amalia Puga (flujo vehicular alto), comprendida en la zona arbórea de la Av. El Maestro, entre el Jr. Amazonas y Jr. Amalia Puga. La segunda zona denominada Plazuela Mario Urteaga (flujo vehicular medio), que fue la Plazuela Miguel Grau. La tercera zona denominada Parque Urbanización

Cajamarca (flujo vehicular bajo), que comprendió el Parque del mismo nombre (Tabla 1).

Tabla 1. Coordenadas geográficas UTM de las zonas de estudio

ZONAS	COORDENADAS		ALTITUDES (m.s.n.m.)
	Sur	Este	
Plazuela Amalia Puga	9207775	774713	2721
Plazuela Mario Urteaga	9208110	774862	2709
Parque Urbanización Cajamarca	9207871	774957	2709

d) Metodología de Campo:

El muestreo se realizó en las tres zonas, se determinó la riqueza de los líquenes, se contabilizó el flujo vehicular y se relacionó estas variables.

a. Monitoreo de líquenes

En el monitoreo de estos organismos se tomaron en cuenta siete árboles de la misma especie (Fresno *Fraxinus excelsior* L.) con similares características, ubicados de manera aleatoria en cada zona; durante el muestreo se determinó la riqueza y se tomaron fotografías para calcular el área de cada liquen en cada árbol seleccionado, utilizando la rejilla de 50 cm x 10 cm (Darré 2011). La base de la rejilla se colocó a una altura de 1.5 m del suelo (Fig. 2) y en la cara norte del árbol.

b. Monitoreo vehicular

En el registro de este dato, se contaron el número de vehículos que pasaron por minuto (veh/min), en lapsos de cinco minutos, durante una hora. Las horas punta elegidas fueron: 7:00 a.m., 12:30 p.m. y 6:00 p.m.

El registro vehicular y la riqueza y el área de los líquenes en cada zona de estudio se realizaron durante los mismos días.



Figura 2. Ubicación de la rejilla sobre los árboles.

e) Metodología de gabinete

a. Medición de riqueza y área

En este punto se procesaron cada una de las fotografías obtenidas en campo, utilizando el programa: Adobe Photoshop CS6 Extended – Versión 13.0 64x (Fig. 3).

b. Procesamiento de la información.

Luego de la obtención de los resultados de riqueza y área líquénica y flujo vehicular, se realizó el análisis de varianza de datos con el Programa InfoStat (Balzarini et al. 2008).

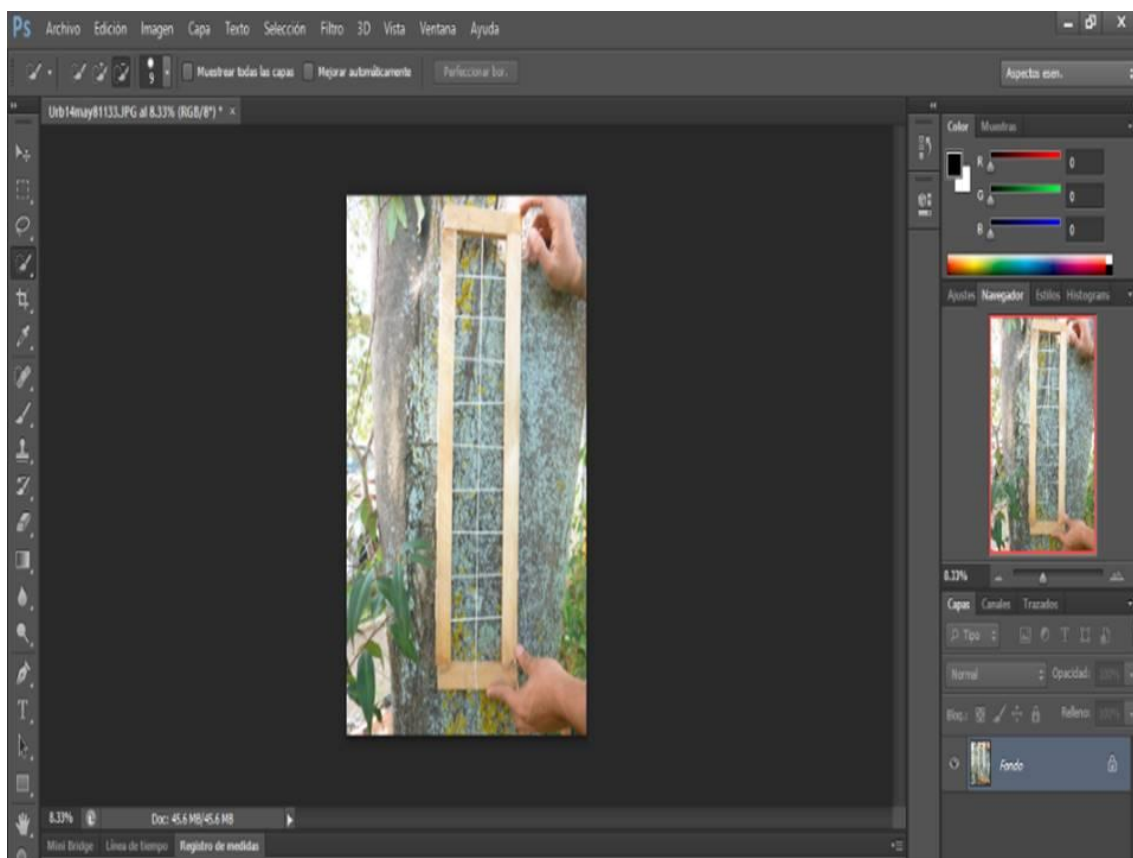


Figura 3. Procesamiento de imágenes en el software.

f) Determinación de especies

Las especies liquénicas registradas en campo fueron analizadas en el laboratorio de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, para lo cual se utilizó un estereoscopio para conocer sus características y literatura especializada (Sipman 1999).

g) Cálculo del IPA

El cálculo del IPA se hizo según literatura en Darré (2011).

Resultados y discusión

a) Número de especies (riqueza)

Las especies de líquenes fueron tres foliáceas: *Physcia* sp. (Physciaceae) (Fig. 4a), *Flavopunctelia flaventior* (Parmeliaceae) (Fig. 4c) y *Candelaria fibrosa* (Candelariaceae) (Fig. 4e), siendo la primera especie la más resistente y persistente. El mayor número de individuos se registró en el Parque Urbanización Cajamarca con 2.3 especies por árbol, seguido por Plazuela Mario Urteaga con 2.0 especies por árbol y por último Plazuela Amalia Puga con 1.8 especies por árbol. Estas diferencias fueron significativas ($p < 0.05$).

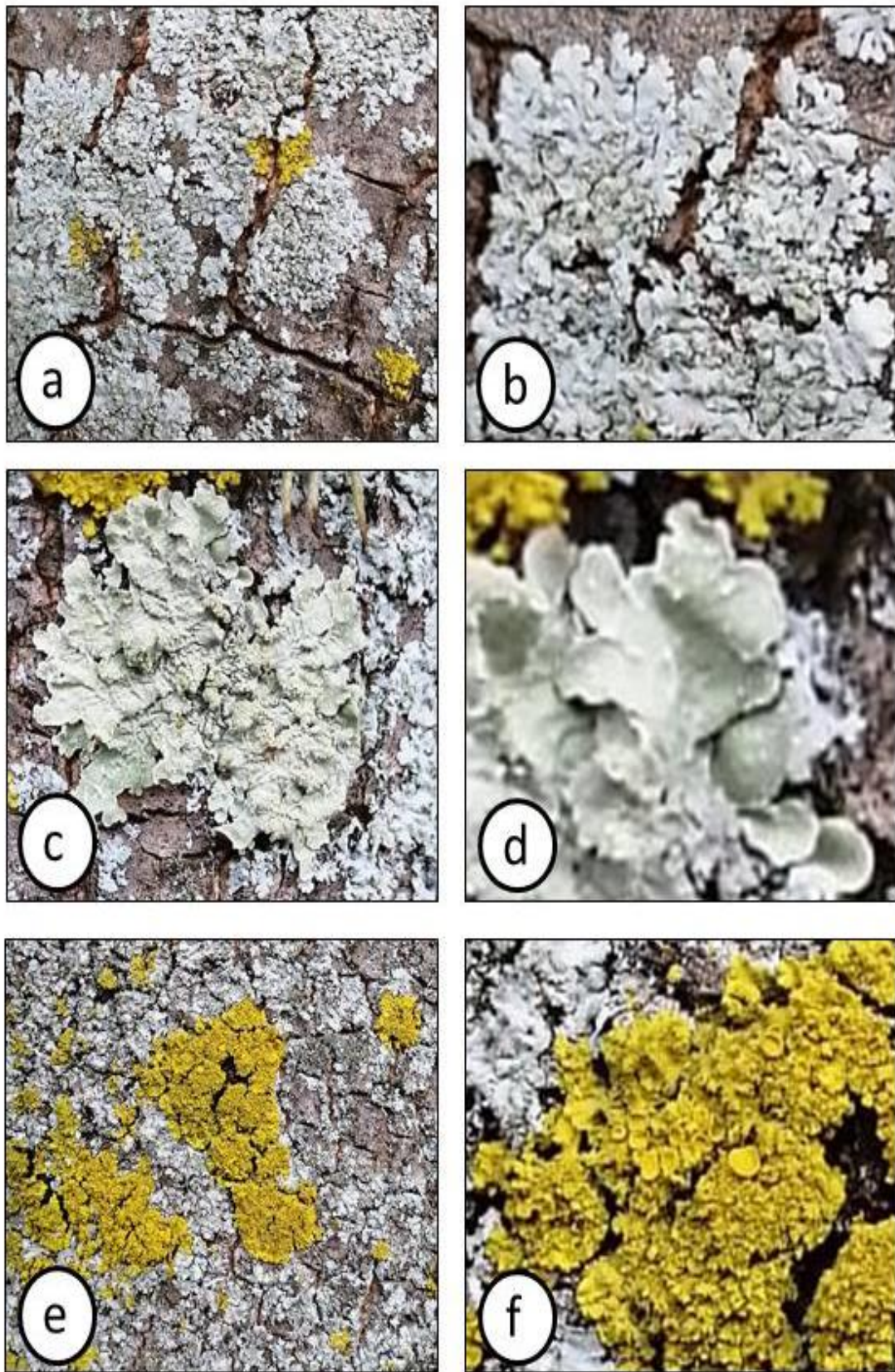


Figura 4. a) y b) Visualización de *Physcia* sp., c) visualización de *Flavopunctelia flaventior* (Stirt.) Hale y d) visualización de sus pseudocifelas, e) visualización de *Candelaria fibrosa* (Fr.) Müll. Arg. y f) visualización de sus apotecios.

b) Área ocupada por los líquenes

El análisis de varianza (tabla 8) permitió encontrar diferencias significativas ($p < 0.05$) para esta variable ($\text{cm}^2/\text{árbol}$) y entre cada uno de los lugares estudiados. A diferencia de la tasa vehicular, se encontró mayor área promedio ocupada por los líquenes en el Parque Urbanización Cajamarca (192.7 cm^2), que fue mayor de manera significativa si lo comparamos con el promedio de área ocupada por los líquenes en Plazuela Mario Urteaga (164.1 cm^2) y en Plazuela Amalia Puga (34.8 cm^2) (Tabla 3, 4 y 5).

Tabla 3. Frecuencia y áreas de los líquenes del Parque Urbanización Cajamarca

FÓROFITO	ESPECIE	FRECUENCIA	ÁREA (cm^2)
1	<i>Physcia</i> sp.	19	72.816801
1	<i>Candelaria fibrosa</i>	4	1.506133
2	<i>Physcia</i> sp.	20	104.2615
2	<i>Candelaria fibrosa</i>	8	8.063461
3	<i>Physcia</i> sp.	19	30.657026
3	<i>Candelaria fibrosa</i>	19	102.345397
3	<i>Flavopunctelia flaventior</i>	2	3.311046
4	<i>Physcia</i> sp.	11	90.89703
4	<i>Candelaria fibrosa</i>	8	32.314023
4	<i>Flavopunctelia flaventior</i>	1	9.450878
5	<i>Physcia</i> sp.	20	77.334412
5	<i>Candelaria fibrosa</i>	15	3.684074
6	<i>Physcia</i> sp.	20	311.779212
6	<i>Candelaria fibrosa</i>	14	9.038015
7	<i>Physcia</i> sp.	20	280.667138
7	<i>Candelaria fibrosa</i>	18	46.17222
7	<i>Flavopunctelia flaventior</i>	2	10.471019

Tabla 4. Frecuencia y áreas de los líquenes de Plazuela Amalia Puga

FÓROFITO	ESPECIE	FRECUENCIA	ÁREA (cm ²)
8	<i>Physcia</i> sp.	14	64.13884
9	<i>Physcia</i> sp.	6	2.052812
9	<i>Candelaria fibrosa</i>	1	0.760574
10	<i>Physcia</i> sp.	12	8.330183
10	<i>Candelaria fibrosa</i>	12	2.007595
11	<i>Physcia</i> sp.	14	8.707341
11	<i>Candelaria fibrosa</i>	9	3.294218
12	<i>Physcia</i> sp.	20	87.236983
12	<i>Candelaria fibrosa</i>	17	20.859887
13	<i>Physcia</i> sp.	9	6.987427
13	<i>Candelaria fibrosa</i>	1	0.058089
14	<i>Physcia</i> sp.	10	9.326594
14	<i>Candelaria fibrosa</i>	8	13.518738

Tabla 5. Frecuencia y áreas de los líquenes de Plazuela Mario Urteaga

FÓROFITO	ESPECIE	FRECUENCIA	ÁREA (cm ²)
15	<i>Physcia</i> sp.	16	53.417304
15	<i>Candelaria fibrosa</i>	1	0.111383
16	<i>Physcia</i> sp.	20	137.950698
16	<i>Candelaria fibrosa</i>	3	2.706576
17	<i>Physcia</i> sp.	20	192.44481
17	<i>Candelaria fibrosa</i>	9	1.898918
18	<i>Physcia</i> sp.	20	239.007051

FÓROFITO	ESPECIE	FRECUENCIA	ÁREA (cm ²)
19	<i>Physcia</i> sp.	16	18.160939
19	<i>Candelaria fibrosa</i>	5	1.02614
20	<i>Physcia</i> sp.	20	213.65261
20	<i>Candelaria fibrosa</i>	4	0.466866
21	<i>Physcia</i> sp.	20	214.598328
21	<i>Candelaria fibrosa</i>	3	0.567262
21	<i>Flavopunctelia flaventior</i>	4	10.855663

c) Tasa vehicular (Flujo Vehicular)

Los resultados obtenidos del monitoreo de vehículos responden a los resultados de monitoreo de ruido (Grufides 2007). La Plazuela Amalia Puga presentó el flujo vehicular más alto (36 veh/min), explicado probablemente porque el estudio de monitoreo demostró que éste es uno de los lugares más ruidosos (70 dB), mientras que en el Parque Urbanización Cajamarca el flujo vehicular fue de 0 veh/min, dado que los decibeles registrados en el estudio de monitorio fueron casi nulos. Estos resultados concuerdan con las conclusiones de dicho estudio de monitoreo de ruido.

d) Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

Los resultados del IPA fueron los siguientes para cada zona de estudio: Plazuela Amalia Puga = 13.8 (Tabla 6), Plazuela Mario Urteaga = 50.1 (Tabla 7) y Parque Urbanización Cajamarca = 64.1 (Tabla 8). Estos fueron calculados a partir de la riqueza y área. Cabe resaltar que para el Parque Urbanización Cajamarca se obtuvo un IPA mayor (mayor riqueza y abundancia) y al mismo tiempo fue la zona con flujo vehicular mínimo (0 veh/min). La Plazuela Amalia Puga obtuvo el IPA más bajo (menor riqueza y abundancia) con el flujo vehicular más alto (36 veh/min).

Tabla 6. Índice de Pureza Atmosférica – zona Plazuela Amalia Puga

ESPECIE	Fi	Aj	Nj	Aj-1/Nj	Qi.	qi*fi	IPA ESTACIÓN
<i>Physcia</i> sp.	11.25	2	3	0.33	0.67	7.50	13.8
<i>Candelaria fibrosa</i>	9.4	2	3	0.33		6.27	

Tabla 7. Índice de Pureza Atmosférica – zona Plazuela Mario Urteaga

ESPECIE	Fi	Aj	Nj	Aj-1/Nj	Qi.	qi*fi	IPA ESTACIÓN
<i>Physcia</i> sp.	13.60	3	3	0.667	2	27.2	50.1
<i>Candelaria fibrosa</i>	8.25	3	3	0.667		16.50	
<i>Flavopunctelia flaventior</i>	7.2	3	3	0.667		14.40	

Tabla 8. Índice de Pureza Atmosférica – zona Parque Urbanización Cajamarca

ESPECIE	Fi	Aj	Nj	Aj-1/Nj	Qi.	qi*fi	IPA ESTACIÓN
<i>Physcia</i> sp.	13.55	3	3	0.667	2	27.1	64.1
<i>Candelaria fibrosa</i>	12.15	3	3	0.667		24.3	
<i>Flavopunctelia flaventior</i>	7.15	3	3	0.667		14.3	

Tabla 9. Promedio de las tasas vehicular, área de líquenes, número de especies e IPA en cada uno de los lugares estudiados.

Zona	Condición de estudio	Tasa vehicular (vehículo/ minuto)	Área de liquen (cm ² /árbol)	Núm. especies (especies/ árbol)	IPA*
Amalia Puga	Flujo vehicular alto	36.0 <i>a</i>	34.8 <i>b</i>	1.8 <i>c</i>	13.8 <i>c</i>

Mario Urteaga	Flujo vehicular medio	22.0 <i>b</i>	164.1 <i>a</i>	2.0 <i>b</i>	50.1 <i>b</i>
Urbanización Cajamarca	Flujo vehicular bajo	0.0 <i>c</i>	192.7 <i>a</i>	2.3 <i>a</i>	64.1 <i>a</i>
E.E.		0.13	11.61	0.06	3.34
p – valor		< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
C.V.		4.97	66.56	22.62	22.14

* Índice de Pureza Atmosférica

E.E.: Error estándar.

C.V.: Coeficiente de variabilidad.

Letras diferentes señalan diferencias entre columnas ($p < 0,05$).

Los resultados se asemejan a los de Quispe et al. (2013), Canseco et al. (2006) y Darré (2011); dado que obtuvieron valor de IPA menores a 15 en zonas de mayor flujo vehicular y al mismo tiempo menor presencia de área y riqueza líquénica. Así mismo presentaron un valor de IPA mayor a 30 en zonas de mayor número de especies y abundancia de líquenes, y con menor presencia vehicular.

Conclusiones

Los valores de IPA están en relación indirecta con el flujo de tránsito vehicular. El Parque Urbanización Cajamarca presentó menor flujo vehicular y tuvo un mayor valor de IPA, y la Plazuela Amalia Puga presentó mayor flujo vehicular y tuvo un menor valor de IPA.

Agradecimientos

Agradecemos a los Docentes y Personal de la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, de igual manera al Ing. Walter Grau del laboratorio de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, quien nos apoyó en el desarrollo de la investigación y presentación de esta.

Literatura citada

Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Casanoves F, Di Rienzo JA, Robledo CW.

2008. Manual del Usuario. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.

Canseco A, Anze R, Franken M. 2006. Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. Revista Acta Nova 3(2):285-307.

- Darré E. 2011. Líquenes como Bioindicadores de contaminación Atmosférica en Montevideo – Uruguay. Tesis de maestria (Montevideo,Uruguay): Universidad de la Republica, Facultad de Ciencias.
- Estrabou C, Stiefkens L, Hadid M, Rodríguez J, Pérez A. 2004. Effects of air pollutants on morphology and reproduction in four lichen species in Córdoba, Argentina. *Ecología en Bolivia*, 39(2):33-45.
- Giacobone G, Cabrera S. 2009. Informe de resultados: Líquenes como bioindicadores de calidad del aire, Buenos Aires, Argentina. Agencia de Protección Ambiental-Ministerio de Ambiente y Espacio Público.
- Grufides. 2007. Cajamarca, respirando veneno. El Clarín. Acceso: 01/01/2017. <http://grufidesinfo.blogspot.com/2007/08/cajamarca.html>.
- Hawksworth D, Iturriaga T, Crespo A. 2005. Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los Trópicos. Madril, España. *Revista Iberoamericana de Micología* 22:71-82.
- Lijteroff R, Lima L, Prieri B. 2009. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en. San Luis. *Revista Nacional de Contaminación Ambiental* 25(2):111-120.
- Méndez V, Monge J. 2011. El uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel mundial. *Biocenosis* 25(1-2):51-67.
- Quispe K, Ñique M, Chuquillin E. 2013. Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, Perú. *Investigación y Amazonía* 3(2):99-104.
- Rubiano L, Chaparro M. 2006. Delimitación de áreas de isocontaminación atmosférica en el campus de la universidad nacional de colombia mediante el análisis de bioindicadores (líquenes epifitos). *Acta Biológica Colombiana* 11(2):87-102.
- Sipman H. 1999. Identification key and literature guide to the genera of Lichinized Fungi (Lichens) in the Neotropics. Acceso: 01/01/2021. <http://www.bgbm.fu-berlin.de/sipman/keys/neokeyA.htm>.
- Vásquez G, Mejía G, Gonzáles I. 2006. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *Contactos* 60:41-48.