

Líquenes: bioindicadores de contaminación atmosférica de origen vehicular en tres zonas del distrito de Cajamarca

Felipe Gutierrez Arce¹

Recibido: 18-02-2020

Aceptado: 20-03-2020



DOI: <https://doi.org/10.18050/revucv-scientia.v12i1.923>

Cómo citar: Gutierrez Arce, F. (2020) Líquenes: bioindicadores de contaminación atmosférica de origen vehicular en tres zonas del distrito de Cajamarca. UCV-Scientia (12) 1, pág 25 -33. [www. doi.org/10.18050/revucv-scientia.v12i1.923](http://www.doi.org/10.18050/revucv-scientia.v12i1.923)

¹ Universidad Nacional de Cajamarca (Perú). felipe.gutierrez@upagu.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8547-6897>

Líquenes: bioindicadores de contaminación atmosférica de origen vehicular en tres zonas del distrito de Cajamarca

Felipe Gutierrez Arce¹

Resumen

Se buscó evaluar al líquen como indicador de contaminación atmosférica de origen vehicular en tres zonas del distrito de Cajamarca: Av. El Maestro, Plazuela Miguel Grau y parque de la Urbanización Cajamarca; durante el período abril – agosto del 2017. El área ocupada por cada especie líquénica fue procesada a partir del programa Adobe Photoshop CS6 Extended – Versión 13.0 64 bits, y el área se procesó en cm². Se determinó el flujo vehicular, así como la abundancia y la riqueza de las especies líquénicas, para cada una de las tres zonas, utilizando una rejilla de 0,50 m x 0,10 m (dividida en cuadrículas de 20 cm²). Estos dos últimos indicadores fueron utilizados para determinar el Índice de Pureza Atmosférica (IPA). El conteo de vehículos se realizó por minuto, en intervalos de 5 minutos, durante una hora. El análisis determinó diferencias significativas de los indicadores entre las zonas ($p < 0,0001$). Se determinó que la zona con mayor flujo vehicular (Jr. Amalia Puga, 36 veh/min) también presentó menor abundancia (34,8 cm²) y riqueza de líquenes (1,8 sp) y por ende, un menor IPA (13,8), a diferencia de la zona que presentó menor flujo vehicular (Parque Urbanización Cajamarca, 0 veh/min), con mayor abundancia (192,7 cm²) y riqueza de especies, y consecuentemente un IPA mayor (64,1).

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

¹Universidad Nacional de Cajamarca (Perú). felipe.gutierrez@upagu.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8547-6897>

Lichens: bioindicators of vehicular air pollution in three areas of Cajamarca district

Felipe Gutierrez Arce¹

Abstract

The aim was to evaluate lichen as an indicator of air pollution caused by vehicles in three areas of the district of Cajamarca: Av. El Maestro, Plazuela Miguel Grau and the park of Urbanización Cajamarca, during the period April - August 2017. The area occupied by each lichen species was processed using Adobe Photoshop CS6 Extended - Version 13.0 64 bits, and it was processed in cm². The traffic flow, as well as the abundance and richness of the lichen species, was determined for each of the three zones using a 0.50 m x 0.10 m grid (divided into grids of 20 cm²). These last two indicators were used to determine the Atmospheric Purity Index (API). The vehicle count was done per minute, in 5-minute intervals, for one hour. The analysis determined significant differences in the indicators between the areas ($p < 0.0001$). It was determined that the zone with the highest vehicle flow (Jr. Amalia Puga, 36 veh/min) also presented lower abundance (34.8 cm²) and richness of lichens (1.8 sp) and therefore, a lower API (13.8), unlike the zone that presented lower vehicle flow (Parque Urbanización Cajamarca, 0 veh/min), with higher abundance (192.7 cm²) and richness of species, and consequently a higher API (64.1).

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

¹ Universidad Nacional de Cajamarca (Perú). felipe.gutierrez@upagu.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8547-6897>

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el parque automotor ha logrado un incremento en su desarrollo debido al crecimiento sostenido de la economía nacional; sin embargo esto trae consigo el aumento de emisiones de concentración de gases tóxicos que es uno de los principales problemas de contaminación de aire en nuestro país. Por ejemplo, en nuestra capital (Lima), la contaminación atmosférica se ha visto incrementada a un ritmo acelerado y ha llegado a niveles que exceden los estándares internacionales que protegen la salud pública (Valdivia, 2016).

Cajamarca también presenta este problema, debido al aumento del poder adquisitivo de la población; por ello se instalaron 24 micro estaciones de monitoreo a cargo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y gracias a ello, desde el año 2014 (octubre), la ciudad viene realizando monitorios periódicos. En el año 2015 la Municipalidad Provincial de Cajamarca instaló la estación de monitoreo "La Colmena" con la función de detectar los gases y contaminantes esparcidos en toda la zona (GRUFIDES, 2007).

Ahora, si bien es cierto que los datos de SENAMHI vienen siendo de mucha utilidad, la instalación de una estación suele exigir una inversión significativa, por lo que sería necesario proponer otras alternativas que nos permitan detectar y cuantificar ciertos contaminantes ambientales a un menor costo, sin que ello signifique subestimar estos resultados.

Al respecto de los contaminantes ambientales, Canseco et al. (2006) afirma que son compuestos tóxicos que pueden reflejar características y variaciones existentes en su medio ambiente y se manifiestan a partir de la reacción de los organismos, la cual puede usarse como criterio de indicación. De este modo un bioindicador

es un organismo o comunidad de organismos que responden a la contaminación por 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.

Dicho lo anterior, el uso de los líquenes son de esencial interés por su uso en la evaluación de la contaminación atmosférica, por su sensibilidad a la presencia de compuestos tóxicos en la atmósfera, manifestándose por formaciones morfológicas y fisiológicas evidentes debido a la presencia o ausencia de la especie, su densidad, su frecuencia de aparición, porcentaje de cobertura y o presencia de síntomas de daños interno o externos con el grado de impureza del aire.

Este tema ya ha sido objetivo de investigación desde hace algunos años, como por ejemplo el realizado por Estrada y Nájera (2016) titulado "El uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel mundial", el de Quispe et al. (2018) titulado "Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, Perú", y el de Gonzales et al. (2016) titulado "Aplicabilidad de líquenes bioindicadores como herramienta de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cochabamba". Todos estos trabajos han coincidido en indicar el potencial ecológico del líquen como bioindicador, dado que reduce los costos de análisis de calidad de aire y al nos permite manejar alternativas limpias de muestreo.

Entonces, el proponer el uso de los líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica de origen vehicular, a partir de la abundancia y riqueza de especies de líquenes en los árboles, nos permite validar y utilizar nuevas alternativas de monitoreo de calidad de aire con costos más bajos. A pesar que en la actualidad Cajamarca cuenta con 24 sub estaciones de monitoreo atmosférico, éstas presentan ciertas

¹ "Patent applications are worldwide patent applications filed through the Patent Cooperation Treaty procedure or with a national patent office for exclusive rights for an invention -- a product or process that provides a new way of doing something or offers a new technical solution to a problem. A patent provides protection for the invention to the owner of the patent for a limited period, generally 20 years" (Banco Mundial, 2018).

² Este comparativo obedece a la disponibilidad de los datos recolectados en la investigación en la base de datos del Banco Mundial.

³ Op cit.

desventajas como herramienta de investigación, como por ejemplo, el no brindar datos de zonas alejadas, por lo que muchas veces se recurre a la interpolación, aumentando el posible error en la lectura. Además, se debe contar con un presupuesto adicional para la operación y mantenimiento de estas estaciones, sumado al hecho de que, según Flores et al. (2018), la instalación del sistema de monitoreo básico requiere un presupuesto de S/ 21500.00, y este monto no considera operario y mantenimiento, y los gastos realizados para la implementación de este proyecto fue de S/ 2000.00. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo es evaluar la utilización de líquenes para determinar la contaminación atmosférica en tres zonas de Cajamarca, con un nivel de flujo vehicular alto, medio y bajo; y proponer su uso como alternativa de bioindicador atmosférico.

MÉTODOS

Unidad de análisis: Cada árbol de las zonas que serán muestreadas.

Universo: Todos los parques del distrito de Cajamarca que cuenten con las especies arbóreas en estudio.

Muestra: Tres zonas del distrito de Cajamarca: Av. El Maestro cuadra 2 (Concurrencia Vehicular Alta), Plazuela Miguel Grau (Concurrencia vehicular Media) y El parque de la Urbanización Cajamarca (Concurrencia Vehicular Baja)

Localización

La investigación se realizó en el distrito de Cajamarca, en el año 2017, desde el mes de abril hasta el mes de agosto.

Metodología de campo

Monitoreo de líquenes

Para el monitoreo de los líquenes se tomaron en cuenta 7 árboles de la misma especie (Fresno- *Fraxinus excelsior* L), con similares características, ubicados de manera aleatoria en cada zona de estudio. Se

determinó la abundancia y riqueza de cada árbol seleccionado en las 3 zonas de estudio, utilizando la rejilla de 0,50 m x 0,10 m (dividida en cuadrículas de 20 cm²). La base de la rejilla se colocó a una altura de 1,5 m del suelo. Estas mediciones se realizaron los días lunes y viernes durante el mes de mayo. Se hicieron siempre en la cara del tronco que presentó mayor cantidad de líquenes (figura 1).



Figura 1. Ubicación de la rejilla

Monitoreo vehicular

Para el registro vehicular, se registró el flujo vehicular por minuto, en lapsos de cinco minutos, durante una hora. Se eligieron las horas punta (7:00 am, 12:30 pm, 6:00 pm). El relevamiento de información se realizó en cada zona de estudio durante los días lunes y viernes (los mismos días del registro de líquenes).

Metodología de gabinete

Medición de riqueza y abundancia

En este punto se procesó cada una de las fotografías obtenidas en campo, utilizando el programa: Adobe Photoshop CS6 Extended – Versión 13.0 64 bits. Se determinó el área ocupada por especie, y el número de especies liquénicas.

Identificación de especies

Las especies liquénicas identificadas en campo fueron analizadas en el laboratorio de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, utilizando un estereoscopio (Amscope Se306-pz) para identificar cada muestra. Se analizó el tipo de especie, morfología del talo, anatomía del talo, color, estructura, y el hábitad del líquen.

Determinación de índice de pureza atmosférica (IPA)

Se calculó el IPA de acuerdo a la riqueza de especies de líquenes de cada árbol seleccionado en cada estación, cuyos resultados hemos obtenido con el software "Photoshop CS6 Extended – Versión 13.0 64 bits". Estos datos fueron utilizados en la siguiente fórmula:

El IPA es la suma de las frecuencias de todas las especies presentes en cada árbol por el factor de tolerancia; que representa a una estación de muestreo:

$$IPA_j = \sum (Q_i * f_i)$$

IPA_j = Índice de Pureza Atmosférica de la estación j .

f_i = Frecuencia de cada especie (N_i/N_t), más el número de los árboles examinados cubiertos por la especie en cuestión. El valor f cambia de acuerdo a la estación.

N_i = Número de Cuadros de la gradilla ocupados por un taxón.

N_t = Número total de Cuadros en la gradilla (20).

Q_i = Factor de tolerancia de la especie i , este valor

resulta ser una constante para cada especie, en el área de investigación, siendo inversamente proporcional a la contaminación.

Se lo determina con la siguiente relación:

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

Donde:

Q_i = Factor de resistencia de la especie i .

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

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

Procesamiento de información

Luego de la obtención de los resultados de abundancia, riqueza liquénica y flujo vehicular, se realizó el procesamiento de datos a partir del Programa InfoStat (versión estudiantil 2016), estos resultados permitieron la comparación y análisis necesarios para las conclusiones finales.

RESULTADOS

Abundancia y riqueza

Área ocupada por los líquenes (abundancia) (cm²/árbol)

El análisis de varianza (tabla 1) permitió encontrar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre cada uno de los lugares estudiados. Se encontró que para el área ocupada por líquen, fue mayor en la Urbanización Cajamarca (192,7 cm²), a diferencia del Jr. Mario Urteaga (164,1 cm²) y del Jr. Amalia Puga (34,8 cm²).

Tabla 1. Promedio de las tasas vehicular, área de líquenes, número de especies e IPA en cada uno de los lugares estudiados.

Lugar	Condición de estudio	Flujo vehicular	Área ocupada por líquen (cm ² /árbol)	Núm. especies (espec./árbol)	IPA*
Amalia Puga	Flujo vehicular alto	36,0 a	34,8 b	1,8 c	13,8 c
Mario Urteaga	Flujo vehicular medio	22,0 b	164,1 a	2,0 b	50,1 b
Urbanización Cajamarca	Flujo vehicular bajo	0,0 c	192,7 a	2,3 a	64,1 a
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 ($p < 0,05$).

Número de especies (riqueza)

En la tabla 1 podemos ver que se llegaron a observar hasta 3 especies de líquenes: *Physcia estellaris*, *Candelaria concolor* y *Parmelia caperata*, siendo la primera, la más resistente y persistente. La mayor presencia de especies se pudo registrar en la Urbanización Cajamarca, con 2,3 especies por árbol; seguido por el Jr. Mario Urteaga, con 2,0 especies por árbol; y por último el Jr. Amalia Puga, con 1,8 especies por árbol. Estas diferencias fueron significativas ($p < 0,05$).

Flujo vehicular

Como se puede observar en la tabla 1, el análisis de varianza dejó ver diferencias significativas ($p < 0,05$) en la tasa vehicular (vehículos/minuto) entre cada uno de los lugares estudiados. Como se esperaba, el flujo fue significativamente mayor en el Jr. Amalia Puga (36 vehículos/minuto), en comparación a la tasa vehicular del Jr. Mario Urteaga (22 vehículos/minuto) y de la Urbanización Cajamarca (0 vehículos/minuto).

Índice de pureza atmosférica (IPA)

Para el IPA, en la tabla 1 podemos observar que también se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$), siendo mayor el IPA en la Urbanización (64,1), seguido por el IPA del Jr. Mario Urteaga (50,1) y finalmente, el IPA del Jr. Amalia Puga (13,8).

Relación entre flujo vehicular e ipa (análisis de regresión)

La figura 2 nos permite ver que la regresión exponencial explica la relación entre estas dos variables ($R^2 = 0.68$). Esto habla de una relación fuerte entre las variables. Esto es evidente dado que como ya vimos, al aumentar el flujo vehicular, disminuye el IPA y viceversa.

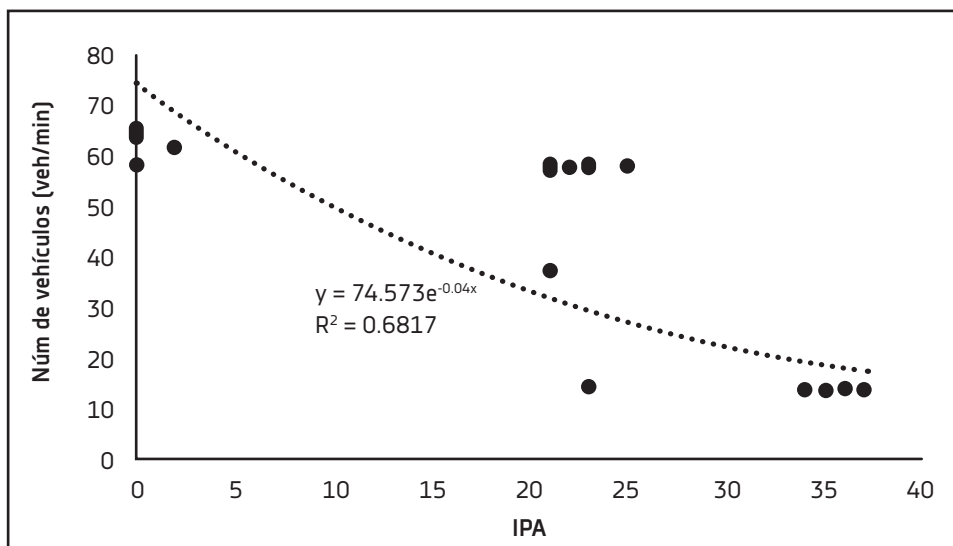


Figura 2: Gráfico de dispersión entre las variables: flujo vehicular e IPA

DISCUSIÓN

Tasa vehicular (flujo vehicular)

Los resultados obtenidos del monitoreo de vehículos, como esperábamos, coinciden con los resultados del estudio de monitoreo de ruido previamente realizado (Municipalidad, Provincial de Cajamarca, 2015). El Jr. Amalia Puga presentó el flujo vehicular más alto (36 vehículos/minuto), explicado probablemente porque éste es uno de los lugares más ruidosos (70 dB). Mientras que en la Urbanización, el flujo vehicular fue de 0 veh/min, dado que los decibeles registrados en el estudio de monitorio son casi nulos.

Índice de pureza atmosférica (IPA)

El parque de la Urbanización Cajamarca (64,0) obtuvo un IPA mayor (mayor riqueza y abundancia), y al mismo tiempo fue la zona con mínimo flujo vehicular (0 veh/min). Y el Jr. Amalia Puga obtuvo el más bajo IPA (menor riqueza y menor abundancia) con el más alto flujo vehicular (36 veh/min).

Estos resultados se asemejan a los de Quispe et al. (2018), Gonzales et al. (2016) y Darré (2011); dado que obtuvieron un IPA menor a 15 en zonas de mayor flujo vehicular, y al mismo tiempo, menor presencia de

abundancia y riqueza líquénica. Así mismo, presentan un IPA mayor a 30, en zonas de mayor número de especies y abundancia de líquenes, con menor presencia vehicular.

CONCLUSIONES

- El Jr. Amalia Puga presentó un flujo vehicular de 35 veh/min, superando al Jr. Mario Urteaga (22 veh/min) y a la Urbanización Cajamarca (0 veh/min).
- Se identificó 3 especies líquénicas: *Physcia stellaris*, *Candelaria concolor* y *Parmelia caperata*.
- Se midió la abundancia (cm²/árbol) y la riqueza (especies/árbol) en las tres zonas de estudio, y ambos indicadores fueron mayores en la Urbanización Cajamarca (192,7 cm²/árbol; 2,3 especies/árbol), seguido por el Jr. Mario Urteaga (164,1 cm²/árbol; 2,0 especies/árbol) y finalmente el Jr. Amalia Puga (34,8 cm²/árbol; 1,8 especies/árbol).
- El IPA correspondiente a las zonas de estudio, fue mayor en la Urbanización Cajamarca (64,1), luego el Jr. Mario Urteaga (50,1) y finalmente el Jr. Amalia Puga (13,8).
- Se encontró una relación negativa entre el flujo vehicular y el IPA, dado que la zona que presentó mayor

flujo vehicular (Jr. Amalia Puga: 36,0), fue la que presentó menor IPA (Jr. Amalia Puga: 13,8); y viceversa.

- Este proyecto evidenció que los bioindicadores como son los líquenes son alternativas menos costosas para el monitoreo de gases contaminantes productos de parque automotor.

Quispe, K., Ñique, M., Chuquilin, E. (2018). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, Perú. *RevIA*, 3(2).

Valdivia, S. A. P. (2016). Análisis temporal y espacial de la calidad del aire determinado por material particulado PM10 y PM2, 5 en Lima Metropolitana. In *Anales Científicos* (Vol. 77, No. 2, pp. 273-283). Universidad Nacional Agraria La Molina.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Canseco, A., Anze, R., Franken, M. (2006). Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. La Paz - Bolivia: Unidad de Calidad Ambiental, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés.

Darré, E. (2011). Líquenes como Bioindicadores de contaminación atmosférica en Montevideo, Uruguay (Doctoral dissertation, Universidad de la República, Tesis).

Estrada, V. H. M., y Nájera, J. M. (2016). El uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel mundial. *Biocenosis*, 25(1-2).

Flores, G., López, E., Tituaña, L., y Lupera, P. (2018). Receptor Multibanda de Bajo Costo para la Recepción de Imágenes de Satélites Meteorológicos y SSTV. *Revista Politécnica*, 40(2), 25-30.

Gonzales, N., Luján, M., Navarro, G., y Flores, 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.

GRUFIDES. (2007). Cajamarca, respirando veneno. Grupo de Formación e Intervención para el Desarrollo Sostenible. El Clarín. 2007.