

LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE TINGO MARÍA, PERÚ

Katherine Quispe¹, Manuel Nique² Edilberto Chuquilin³.

Recepción: 12 de octubre de 2014

Aceptado: 26 de febrero de 2015

Resumen

En las áreas urbanas la principal fuente de contaminantes es el parque automotor, pero para la ciudad de Tingo María (Huánuco, Perú) hay una escasez de información, por lo que el propósito de la investigación fue su evaluación mediante la presencia o ausencia de líquenes. En el jirón Huánuco y las avenidas Amazonas, Ucayali, Alameda Perú y Raimondi de Tingo María, se desarrolló el método de cartografía de líquenes, basado en la utilización de líquenes como organismos bioindicadores de la calidad del aire por su sensibilidad frente a cambios en el ambiente, expresados en su frecuencia y abundancia. Esto permitió determinar un IPA para cada zona de monitoreo. Se establecieron niveles de contaminación atmosférica, sólo en Z1 el nivel de contaminación fue bajo o sin contaminación y para las otras zonas de monitoreo los niveles de contaminación fueron moderados. Por lo tanto, existen niveles de contaminación atmosférica en la zona urbana de Tingo María y tienen estrecha relación con las tasas de flujos vehiculares.

Palabras clave: IPA, flujo vehicular, líquenes, contaminación atmosférica.

Abstract

In urban areas the main source of pollutants is the vehicle fleet, although for the city of Tingo Maria (Huánuco, Perú) there is a lack of information regarding air quality, so the purpose of this research was its evaluation by the presence or absence of lichens. In the Huánuco street, Amazonas avenue, Ucayali avenue, Alameda Peru avenue, Raimondi avenue in Tingo Maria, where it was developed the method of mapping lichen, based on the update of lichens of organisms as bioindicators of air quality by their sensitivity to changes in the environment, expressed in frequency and abundance. This allowed us to determine an IPA to each monitoring area. Air pollution levels were established, just in Z1 contamination level was low or unpolluted and for other monitoring areas their pollution levels were moderate. Therefore, there are levels of air pollution in the urban area of Tingo Maria and are closely related to traffic flow rates.

Key words: IPA, traffic flow, lichens, air pollution.

¹ Ing. Ambiental. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. E-mail: katheriqv@gmail.com

² Blgo. Docente de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María - Perú. E-mail: maniqueal@gmail.com

³ Blgo. Docente de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), Tingo María - Perú. E-mail: ecbangel@gmail.com

Introducción

La contaminación del aire en las ciudades es uno de los problemas ambientales más importantes, y es resultado de las actividades del hombre. Las causas que originan esta contaminación son diversas, predominantemente las motocicletas, automóviles, entre otros que recorren las calles y carreteras.

No obstante, apreciar y cuantificar el efecto del aumento o descenso de la contaminación suele ser muy difícil debido a los altos costos del monitoreo físico- químico, a la carencia de información preliminar y a la ausencia de "indicadores" fácilmente detectables. Al respecto, el estudio de organismos indicadores de contaminación o "bioindicadores" resulta de mucha utilidad, pues los cambios progresivos o repentinos de la calidad del aire afectan la presencia o abundancia, así como los procesos fisiológicos de dichos organismos, permitiendo evaluar el efecto de la modificación ambiental.

Entre los bioindicadores de contaminación mejor documentados, se encuentran los líquenes epífitos, que son aquellos que se encuentran adheridos a la corteza de los árboles (1).

Cabe resaltar que en la ciudad de Tingo María no existen antecedentes de estudios hechos en el área urbana, referidos a la calidad del aire mediante bioindicadores. Por tanto se asume que la ciudad de Tingo María presenta diferentes niveles de la calidad del aire, que a su vez influyen en la presencia de los líquenes como bioindicadores.

Materiales y métodos

Selección de zonas de monitoreo y árboles

Se eligieron 5 árboles de la especie *Terminalia catappa* (nombre común conocida como almendro o falsa castaña) por zona, ubicados en la Av. Raimondi, Av. Alameda Perú, Av. Ucayali, Av. Amazonas y Jr. Huánuco; con la condición que sean árboles adultos sanos, se excluyeron árboles sin corteza, pintados en toda su corteza y asimismo de corteza lisa. Luego se codificaron estos árboles; colocando A, por la palabra árbol y un número entre 1-25. Se consideraron las avenidas con mayor concurrencia de vehículos y un jirón con menor concurrencia. Fundamentado en la metodología realizada en la ciudad de San Luis, Argentina, donde se tomaron áreas en el centro de la ciudad para muestrear (2).

Monitoreo de líquenes

Consistió en el uso de la metodología de cartografía de líquenes (3).

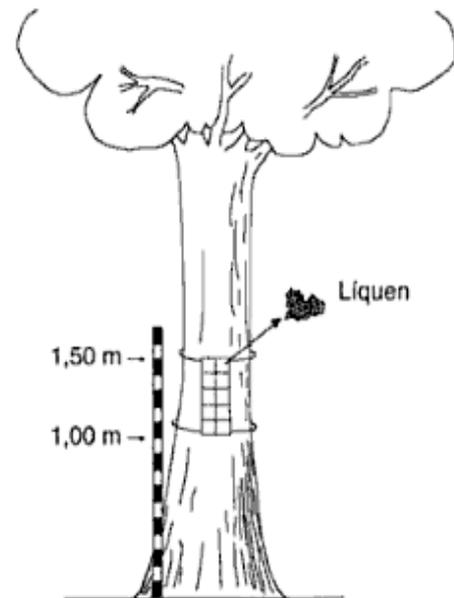


Figura 1. Instalación de la rejilla en el tronco del árbol para monitorear líquenes epífitos (4).

Posteriormente, para la toma de datos de la frecuencia se siguieron los pasos del Manual de Red CE de nivel II (5). Se repitió el proceso durante los tres meses, con un total de trece repeticiones.

El estudio, se complementó con el análisis de la calidad del aire realizado por un Laboratorio de Ensayo (6) considerándose tres puntos para el análisis del aire.

Cálculo del Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

Se calculó a partir del número de especies presentes y la frecuencia de cada una de ellas en las diferentes localidades de estudio (7).

$$IPA = \sum ft/n$$

Dónde:

ft: es la frecuencia total de las especies presentes en todos los árboles de una estación determinada y se calcula como la suma de las frecuencias parciales obtenidas para cada especie en cada árbol.

n: es el número de árboles por estación.

Para su evaluación se tomó de referencia los rangos de niveles de IPA (8) diseñados, correspondiente en los niveles de límites 6, 10 y 22 (9).

Cálculo de la tasa de flujo vehicular

Se eligieron las zonas seleccionadas para el monitoreo e líquenes; se ubicó un punto fijo en cada zona, en los casos de las zonas Z1, Z2, Z3, se consideraron los mismos puntos fijos que para el análisis de calidad del aire.

En cada punto fijo se realizó el conteo vehicular en los siguientes horarios: 7:30–8:00 am., 12:30–13:00 pm., 18:30–17:00 pm. con un intervalo de 5 minutos.

Se realizaron los conteos los días: 03, 26 de Diciembre del 2012; 03, 30 de Enero del 2013; 06, 27 de Febrero del 2013; cada día se llevó la matriz de flujo vehicular y un cronómetro.

La tasa de flujo se calculó mediante la siguiente expresión (9):

$$q = N/T$$

Dónde:

q: Tasa de flujo o volumen horario

N: Número de vehículos

T: Intervalo de tiempo

Discusión

Identificación de los líquenes

Las especies *Physcia* cf. *lopezii* e *Hyperphyscia* cf. *pyvithrocardia* fueron aquellas que alcanzaron la mayor frecuencia promedio de 9, ambas especies demostraron ser tolerantes y altamente frecuentes (Cuadro 1).



Figura 2. Vista de la *Physcia lopezii* sobre el tronco de *Terminalia catappa*.

Cuadro 1. Frecuencia promedio de líquenes por zonas (Diciembre, 2012 – Febrero, 2013).

ESPECIE	FRECUENCIA PROMEDIO EN CADA ZONA					FRECUENCIA PROMEDIO TOTAL
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	
<i>Physcia</i> cf. <i>lopezii</i>	9	5	8	8	8	8
cf. <i>Pertusaria</i> sp.	4	5	4	2	4	4
<i>Hyperphyscia</i> cf. <i>pyvithrocardia</i>	9	5	5	7	6	6
<i>Chrysothrix candelaris</i>	4	0.3	0.4	2	1	2

Fuente: Elaboración propia.
cf: sin confirmar

Mientras, que la especie *Chrysothrix candelaris* demostró ser la especie más sensible, pues se encontró en menor cantidad en zonas más expuestas al tráfico vehicular (Z2, Z3, Z4 y Z5) expresando valores de flujo vehicular promedio, tales como 0.3, 0.4, 2, 1; sin embargo, presentó una mayor abundancia en la zona menos expuesta a las emisiones del tráfico vehicular (Z1) y mostró una flujo vehicular promedio de 4.



Figura 3. Vista de la *Pertusaria* sp. sobre el tronco de *Terminalia catappa*.



Figura 4. Vista de la *Hyperphyscia pyvithrocardia* sobre el tronco de *Terminalia catappa*.



Figura 5. Vista de la *Chrysothrix candelaris* sobre el tronco de *Terminalia catappa*.

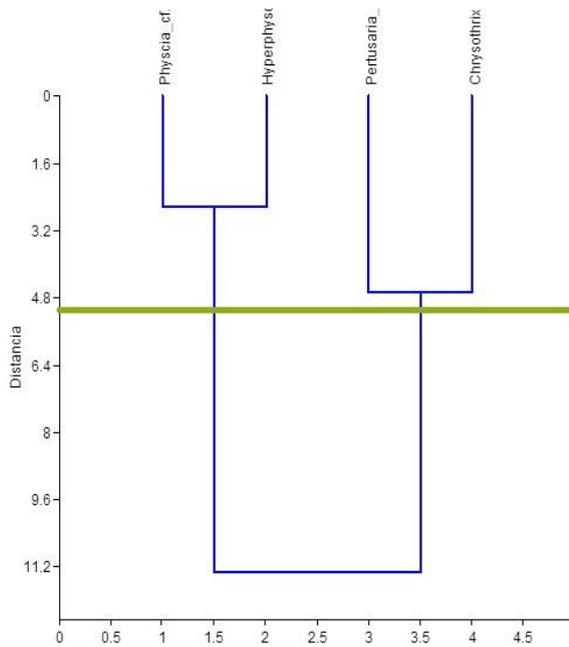


Figura 6. Dendrograma resultante del Cluster de la frecuencia promedio de las especies líquénicas.

De tal modo, la presencia de *Chrysothrix candelaris* y en mayor cantidad indica una zona de baja contaminación. Por lo tanto, las especies más tolerantes son: *Phycia cf. lopezii* e *Hyperphyscia cf. pyvithrocardia*; y la especie más sensible es la *Chrysothrix candelaris*. En consecuencia, los líquenes debido a su asociación mutualista son especies sensibles o resistentes ante los grados de contaminación atmosférica. Cuando la contaminación aumenta se produce un cambio de las especies sensibles que son sustituidas por especies tolerantes (3).

Influencia de los factores climatológicos

Considerando que el estudio se realizó durante la época lluviosa de la ciudad, que registró una precipitación máxima de 96.0 mm y otros días en los que no hubo precipitación (Registro de Observaciones Pluviométricas de Diciembre 2012-Febrero 2013). Además, (10) el efecto que ejercen las lluvias es muy importante pues reduce considerablemente los niveles de contaminación; mientras (11) la humedad ejerce un efecto negativo en la evolución de los contaminantes ya que favorece la acumulación de humos y polvo. Sin embargo, otro punto a considerar es que las especies encontradas tienen como hábitat regiones tropicales, subtropicales y templadas (12); por lo que se deduce que estas especies se encuentran adaptadas a esos cambios en el ambiente.

Determinación del IPA y el flujo vehicular

De acuerdo a los IPA obtenidos, para Z2, Z3, Z4 y Z5 el nivel de contaminación atmosférica alcanzado fue “moderada” (Cuadro 2). Mientras, que en Z1 el

nivel de contaminación atmosférica fue “baja o sin contaminación”.

Cuadro 2. Rangos del IPA para las zonas de monitoreo, considerando los rangos de contaminación atmosférica (8).

ZONA	RANGO DEL IPA	NIVEL DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
Z2	13.60 – 15.80	Moderada
Z3	15.60 – 18.80	Moderada
Z4	16.80 – 21.20	Moderada
Z5	18.40 – 21.00	Moderada
Z1	23.40 – 26.40	Baja o sin contaminación.

Fuente: Elaboración propia

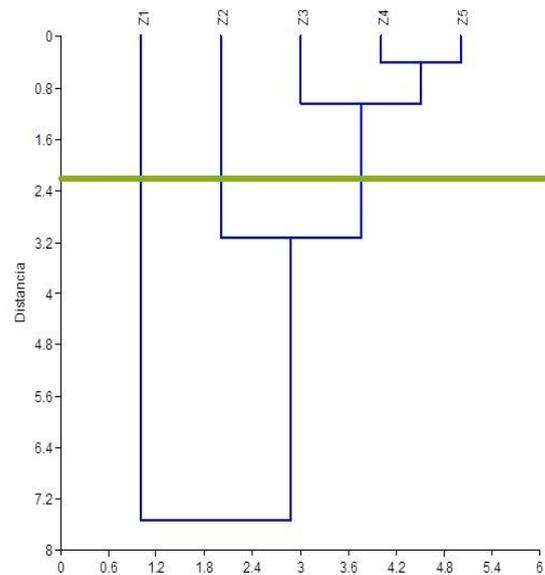


Figura 7. Dendrograma resultante del Cluster del IPA de las zonas de monitoreo.

Las características de estas zonas, confirman el nivel de contaminación atmosférica determinado para cada una de ellas; de tal modo que existen zonas con una contaminación moderada debido a que son zonas con un flujo vehicular continuo. Mientras, Z1 a diferencia de las otras zonas presenta el menor flujo vehicular de 56 vehículos/hora y además la mayoría de sus predios poseen áreas verdes, justificando así el bajo nivel de contaminación que posee.

Cuadro 3. Flujo vehicular por zonas.

ZONA	FV PROMEDI O (veh/5 min)	FV PROMEDI O (veh. /hora)	% de FV PROMEDI O (veh../hora)
Z1	5	56	1%
Z2	130	1560	24%
Z3	122	1459	23%
Z4	115	1380	21%
Z5	167	2002	31%

Fuente: Elaboración propia. FV: Flujo Vehicular

Asimismo, los resultados de análisis de calidad del aire, en el cual se determinaron las partículas totales en suspensión (PTS), Dióxido de Azufre (SO₂), Hidrocarburos totales (expresado como hexano), realizados por Envirolab Perú S.A.C., solamente las PTS con 96, 112, 130 µg/m³ superan el estándar de calidad ambiental establecido por EPA (14) de 75 µg/m³. Mientras, que los resultados del SO₂ y de los hidrocarburos totales se encuentran debajo del estándar de calidad ambiental. Por lo tanto, estos resultados respaldan la clasificación del nivel de contaminación del aire, ya que el SO₂ no ha sobrepasado los niveles del estándar de calidad ambiental.

Correlación entre el IPA y el flujo vehicular

Se encontró que el IPA y el tráfico vehicular están relacionados en 81.24% (Cuadro 4), esta relación se evidencia sobre todo en Z1, pues esta zona es la que presenta el menor flujo vehicular promedio de 56 vehículos/hora, representando el 1% del flujo vehicular y asimismo esta zona presenta el mayor IPA de 25.1. Sin embargo, en Z2 a pesar de presentar el menor IPA de 14.9, no presentó el mayor flujo vehicular; en Z5 se registró el mayor flujo vehicular de 2002 vehículos/hora y se obtuvo un IPA de 19.0.

Cuadro 4. Estadística de la regresión.

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.81236761
Coeficiente de determinación R ²	0.659941135
R ² ajustado	0.546588179
Error típico	2.533564908
Observaciones	5

Fuente: Elaboración propia

Estas anomalías que se presentaron pueden haber sido estimuladas por otros factores, tales como la dispersión de las partículas, distanciamiento o espacio de la avenida e incluso el nivel de altura que alcanza las viviendas, centros comerciales u otros. Así también, se obtuvo una ecuación del modelo matemático IPA = 24.379 - 0.0042FV, con un grado de confiabilidad de 65.99%, que indica que cuanto mayor sea la frecuencia vehicular, menor será el IPA. Por tal motivo, Z5 al tener la mayor frecuencia vehicular entre todas las zonas estudiadas, se esperó obtener el menor valor de IPA para esta zona; sin embargo se obtuvo el segundo valor de IPA (en orden de mayor a menor). Por lo tanto (2, 4), prevalece que el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) es mayor en áreas no contaminadas y responde a factores, tales como el tráfico vehicular.

Conclusión

1. Se identificaron las siguientes especies: *Physcia lopezii*, *Pertusaria* sp., *Hyperphyscia pyvithrocardia* y *Chrysothrix candelaris*. Siendo las especies más tolerantes *Physcia lopezii* e *Hyperphyscia pyvithrocardia* con una frecuencia promedio máxima para ambos de 9 y la especie más sensible *Chrysothrix candelaris* que alcanzó una frecuencia promedio máxima de 4.
2. Se determinó el mayor IPA promedio de 25.1 para el Jr. Huánuco (Z1) y el menor IPA de 14.9 para la Av. Raimondi (Z5); también se determinaron los IPA para la Av. Amazonas (Z2), Av. Ucayali (Z3), Av. Alameda Perú (Z4) y se obtuvieron los siguientes valores respectivamente: 17.5, 18.4 y 19.
3. Se establecieron los niveles de contaminación atmosférica para las zonas de monitoreo de acuerdo a los rangos del IPA, sólo Z1 presentó un nivel de contaminación bajo o sin contaminación y para Z2, Z3, Z4 y Z5 los niveles de contaminación fueron moderados.
4. Se estimó el mayor flujo vehicular promedio de 2002 vehículos/hora en la Av. Raimondi y el menor flujo vehicular promedio de 56 vehículos/hora en el Jirón Huánuco; también se obtuvieron los flujos vehiculares para la Av. Amazonas, Av. Ucayali, Av. Alameda Perú de 1560, 1459, 1380 vehículos/hora respectivamente.
5. Se obtuvo el coeficiente de correlación entre el IPA y el flujo vehicular de 81.24%.

Referencias bibliográficas

1. Riquelme F. Evaluación del uso de líquenes como indicadores biológicos de contaminación atmosférica en la quebrada de la Plata, región metropolitana. Tesis Ing. Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile; 2008.
2. Lijteroff R, Lima L, Prieri B. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis. Rev. Int. Contam. Ambient. San Luis, Argentina, 2009; 25 (2): 111-120.
3. Méndez V, Monge J. Biocenosis. El uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel mundial. Biocenosis. 2011; 5(1-2): 51-67.
4. Canseco A, Anze R, Franken M. Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz. Acta Nova. (La Paz-Bolivia), 2006; 3 (2): 286-307.
5. SSFEB (Servicio de Sanidad Forestal y Equilibrios Biológicos). Manual Red CE de nivel II, Inventarios de Líquenes Epífitos. 2000.
6. ENVIROLAB SAC. - Informe de ensayo. Lima. N° 1307104.

7. Fernández A, Terrón A. Biomonitorización de la calidad del aire en los alrededores de La Robla (León). *Ecosistemas*. 2003; 12(2).
8. Le Blanc F, De Sloover J. Relación entre la industrialización y la distribución y crecimiento de epifitas líquenes y musgos en Montreal. *Canadian Journal of Botany*. Canadá, 1970; 48(8): 1485-1496
9. Rincón J. Líquenes como bioindicadores en el monitoreo de la calidad del aire. Ph. D. Tesis Química Ambiental. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander; 2012.
10. Navarro, S. 2008. Análisis del Flujo Vehicular.]. Hallado en: <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/analisis-de-flujo-vehicular-cal-y-mayor.pdf>. Acceso el 23 de octubre 2013
11. Pastor A, Escobar D, Mayoral E, Ruiz F. *Cultura General; Ciencia y Tecnología. Nivel II*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo S.A.; 2011.
12. Sans R, De Pablo J. *Ingeniería Ambiental. Contaminación y Tratamientos*. Barcelona, España: Marcombo S.A; 1989.
13. EOL (Enciclopedia Of Life). Lichenes. Hallado en: <http://eol.org/>. Acceso el 23 de octubre de 2013].
14. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), la Municipalidad Metropolitana de Lima, la Municipalidad Provincial del Callao y el Grupo de Emprendimientos Ambientales (GEA). *El Estado del Ambiente Urbano en la Ciudad*. En GEO Lima y Callao: Perspectivas del Medio Ambiente Urbano. 2005.