

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL PLOMO (Pb) EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO USANDO BRIÓFITOS COMO MEDIO DE VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL URBANA

SPATIAL DISTRIBUTION OF LEAD (Pb) IN THE MUNICIPALITY OF VILLAVICENCIO USING BRYOPHYTES AS MEANS OF VERIFICATION OF URBAN ENVIRONMENTAL QUALITY

Yair Leandro Zapata Muñoz¹

Juan Manuel Trujillo González²

Marco Aurelio Torres Mora³

¹ Biólogo, ²Msc. Ciencias Ambientales, ³Ph.D. Tecnología energética y ambiental para el desarrollo.

¹²³ Grupo de Investigación en Gestión Ambiental Sostenible, Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana -ICAOC, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de los Llanos, Campus Barcelona Villavicencio, Colombia.

¹ yair.zapata@unillanos.edu.co

² jtrujillo@unillanos.edu.co

³ marcotorres@unillanos.edu.co

Resumen

Los briófitos, especialmente musgos y hepáticas, son plantas no vasculares que han sido estudiados como bioindicadores de contaminación urbana ya que, por deposición atmosférica, retienen en sus tejidos gran cantidad de contaminantes producto de la actividad antrópica. Se realizó un muestreo de musgos y hepáticas presentes en la ciudad de Villavicencio (Meta-Colombia), con el fin de analizar la variabilidad espacial de las concentraciones de plomo retenidas en el tejido vegetal. Se estableció un muestreo en 59 puntos a lo largo de la ciudad, agrupándolos en cuatro zonas según su actividad principal: comerciales,

residenciales, seminaturales y vías principales. En la identificación taxonómica se encontró que los géneros *Fabronia sp.* (*Fabroniaceae*) y *Frullania sp.* (*Frullaniaceae*), fueron los más abundantes. Las zonas de vías principales y comerciales presentaron las mayores concentraciones promedio de plomo de 12.62 mgKg⁻¹ y 20.69 mgKg⁻¹, respectivamente, estas zonas se caracterizaron por un alto flujo vehicular y oferta de servicios de mecánica automotriz que no cuentan con sistemas de gestión de residuos propios de la actividad. La comparación de las varianzas de las zonas estudiadas se realizó con el test estadístico ANDEVA que

arrojó un valor p de $0.0028 < 0.05$, lo cual indicó diferencias significativas entre las zonas comerciales y residenciales-semi-naturales. Se aplicó el factor de contaminación (FC) del cual se obtuvo una categoría máxima de C6 o *extremamente contaminado* en los barrios San Benito y Cero uno. Finalmente, las concentraciones halladas en el tejido briófitos indican una alta presencia del plomo en comparación con estudios similares realizados en varios países.

Palabras clave: Contaminación urbana, criptógamas, gestión ambiental, Villavicencio.

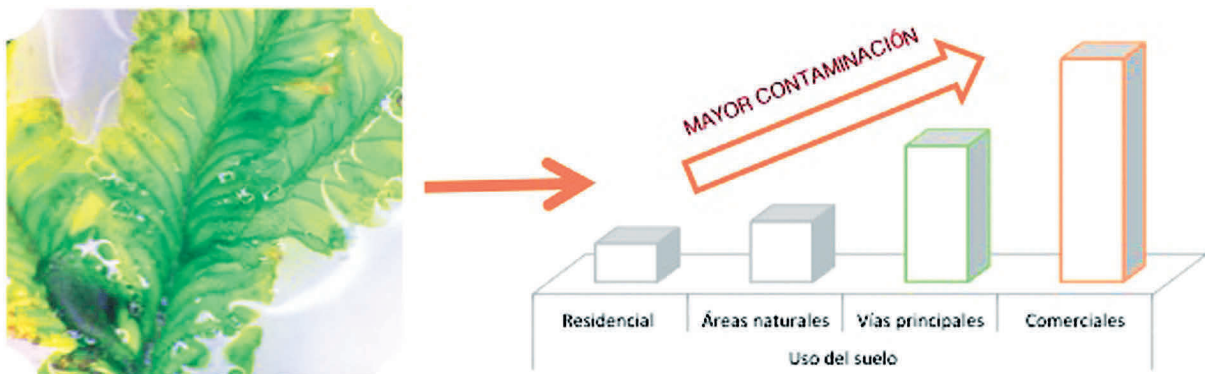
Abstract

Bryophytes, especially mosses and liverworts, are nonvascular plants that has been used as biomonitors of urban pollution because of atmospheric deposition, they retain a large quantity of contaminants in their tissues, as a result of anthropic activity. The sampling of bryophytes from Villavicencio City (Meta-Colombia) was carried out with the aim of analyze the spatial variability of lead concentrations retained in vegetal tissue. Sampling of 59 sites across the city was established, grouped

in four zones according to the principal activity: commercial, principal ways, residential and semi-natural. In the taxonomic identification *Fabronia sp.* (*Fabroniaceae*) and *Frullania sp.* (*Frullaniaceae*) were the most abundant. Principal ways and commercial zones presented the higher mean lead concentrations of 12.62 mg Kg^{-1} y 20.69 mg Kg^{-1} , respectively, these zones are characterized by high vehicular flow and automotive services without waste management system for the activity (solvents, fuels, greases, welding, oils and paints). The comparison of variances from studied zones was carried out with ANOVA test giving a p value of $0.0028 (<0.05)$, indicating significant differences among commercial and residential-semi-natural zones. The contamination factor (CF) was applied obtaining a maximum category of C6 or *extremely contaminated* in San Benito and Cero Uno neighborhood. Finally, the concentrations found in the bryophytes tissues indicate high presence of lead in comparison with other similar studies carried out in several countries.

Keywords: Cryptogams, environmental management, urban pollution, Villavicencio.

Resumen gráfico



A través del uso de Briófitos, se identificó que el uso del suelo influye sobre los niveles de contaminación por Plomo Pb en la ciudad Villavicencio, Colombia.

Introducción

La deposición atmosférica de sustancias tóxicas ha sido uno de los problemas ampliamente estudiados en las ciudades, puesto que los desechos provenientes de la industrialización y el crecimiento demográfico afectan de una manera negativa el sistema y sus elementos. La dinámica de la ciudad como ecosistema, condiciona y modifica las comunidades biológicas circundantes ya que las expone a diversos factores abióticos limitantes como la contaminación (Torres-Mora & Trujillo-González, 2014). Es en este sentido que, el uso de ciertas especies vegetales presentes en el ambiente urbano ha cobrado gran importancia como bioindicadores en muchos países alrededor del mundo, pues se ha demostrado su sensibilidad y resistencia a los diversos cambios de su entorno. Los briófitos, tales como los musgos (*Bryophyta*) han sido ampliamente estudiados por su capacidad de retener diversas sustancias y elementos en sus tejidos vía deposición atmosférica (Donovan *et al.*, 2016; Ekpo, Uno, Adie & Ibok, 2012), aunque han sido más usados que las hepáticas (*Marchantiophyta*) y antoceros (*Antocerotophyta*), los tres grupos presentan las mismas características morfo-fisiológicas que los hacen igualmente útiles como bioindicadores, sin embargo, no hay reportes de antoceros en ciudades, restringiéndose a sitios más conservados. Estudios a escala mundial reportan el uso de algunas especies de musgos para medir la calidad ambiental en cuanto a contaminación por metales pesados, entre ellos *Pleurozium schreberi* (Szarek-Łukaszewska, Grodzinska & Braniewski, 2002; Harmens *et al.*, 2010) *Furnaria hygrometrica* (Adie, Tosabo, Uno & Ajeji, 2014), *Pseudoscleropodium purum*, *Hylocomium splendens*, *Hypnum cupressiforme* (Harmens, Norris & Mills, 2013), *Scleropodium purum* (Hedw.) Limpr., *Hylocomium splendens* (Hedw.) B., S. y G., y *Thuidium tamariscinum* (Hedw.) B., S. y G. (Fernández, Ederra & Carballeira, 1997).

El plomo es un metal que posee un peso atómico de 207.2 g mol⁻¹ y una alta densidad de 11.35 g cm³ (propia de los metales pesados); se encuentra en bajas concentraciones en la corteza terrestre y es usado en muchos procesos industriales gracias a sus propiedades físicas. Es un metal pesado y tóxico cuya mayor fuente de emisión en las ciudades son el humo de carros, talleres automotrices, lavado de pinturas con presencia de este metal, desmantelamiento de baterías de plomo, entre otros (UNEP, 2010). La liberación de plomo al ambiente se da tanto por factores antrópicos (mencionados anteriormente), como por erosión natural de los suelos.

En Colombia el uso de este metal con métodos artesanales y en pigmento de algunas pinturas prende las alarmas en cuanto a salud pública nacional debido a las afecciones que puede acarrear (Idrovo, Hurtado, Blanco, Bermúdez & Jaimes, 2012). La intoxicación por este metal provoca daños a nivel del sistema nervioso inactivando la maquinaria celular de neuronas cerebrales frenando la producción de acetilcolina. Además, afecta la médula ósea, ya que interfiere en la formación del grupo Hem (de vital importancia en la formación de hemoglobina, mioglobina, citocromo y algunas catalasas), en consecuencia los glóbulos rojos serán más grandes, frágiles y con una vida media disminuida y finalmente daños en riñones a nivel de las nefronas (Idrovo *et al.*, 2012, Labanda & Fernández, 2012), los límites de concentración de plomo en sangre son de 10 µm dL⁻¹ (0.01 mg Kg⁻¹) en niños y de 25 µm dL⁻¹ (0.25 mg Kg⁻¹) (Bellinger, 2008). El objetivo de este estudio fue analizar la distribución espacial del plomo (Pb) usando la comunidad de musgos y hepáticas epífitos presentes en la ciudad de Villavicencio-Meta.

Materiales y métodos

Área de estudio

El muestreo de musgos y hepáticas se llevó a cabo en el área urbana de la ciudad de Villavicencio, Meta, y en tres áreas seminaturales (veredas El Carmen, La Argentina y Barcelona).

La ciudad presenta una temperatura promedio anual de 25,6 °C, una precipitación media anual registrada de 3.700 mm y una altura sobre el nivel del mar de 467 m, el muestreo se realizó los primeros días del mes de junio de 2017 (época de lluvias).

Los puntos de muestreo fueron agrupados en cuatro categorías: zonas comerciales (Cm), zonas residenciales (R), zonas seminaturales (conservadas) (SN) y zonas de vías principales (VP), con el fin de medir el impacto de las diferentes actividades antrópicas de los sectores en lo referente a la contaminación por plomo (Pb). De estas categorías, las zonas seminaturales se usaron de blanco o referencia (Figura 1).

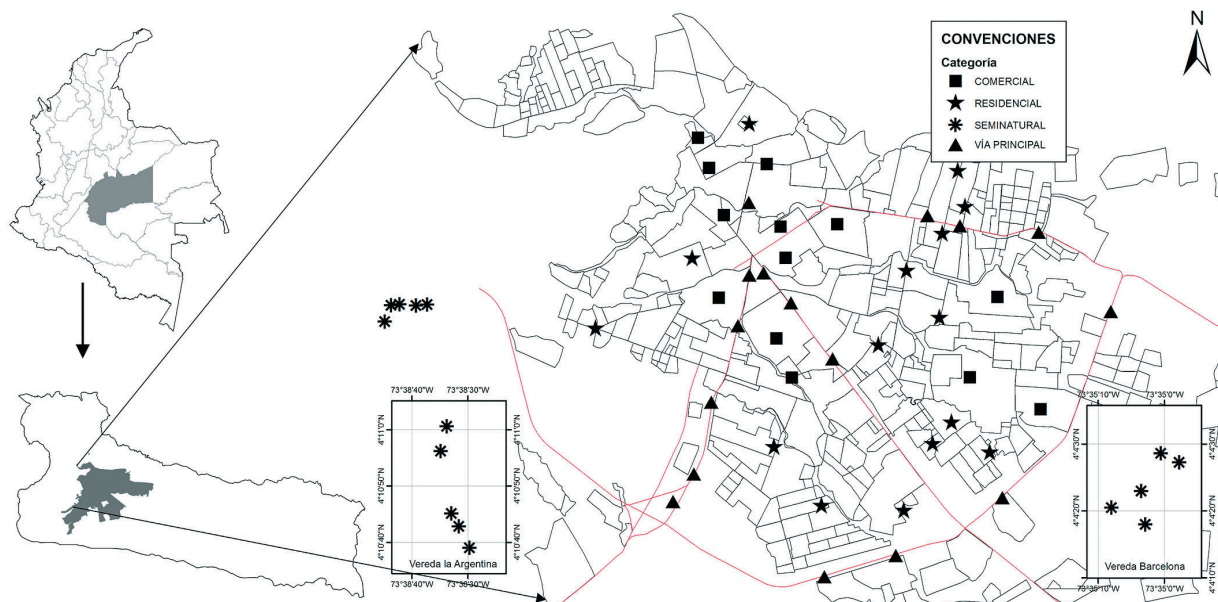


Figura 1. Puntos de muestreo en el área urbana y rural-Veredas (El Carmen, La Argentina y Barcelona) de la ciudad de Villavicencio-Meta.

Fuente: Autores

Características de las zonas muestreadas Zonas Comerciales

Caracterizadas por la influencia comercial ligada principalmente a los servicios automotrices, venta de alimentos, ropa y electrodomésticos, al igual, el tránsito fuerte de transporte público y particular.

Zonas Residenciales

Se caracterizan por la predominancia residencial, la actividad económica se evidencia en pequeños negocios de comida y otros servicios. El sector de Hacaritama-Vizcaya-Cantarrana presenta varias zonas verdes de diferentes dimensiones como el parque La Llanura frente al Sikuni.

Zonas Seminaturales

Ubicadas a las afueras de la ciudad donde son poco intervenidas, cercanas a vías de bajo tránsito vehicular. La actividad económica se basa principalmente en el turismo o proyectos urbanísticos, como es el caso de la vereda El Carmen y La Argentina, respectivamente. La vereda Barcelona presenta la base militar, una parte urbanizada y la Universidad de los Llanos. Estos puntos de muestreo presentan zonas verdes de grandes proporciones.

Vías principales

Corresponde a las vías de alto tráfico vehicular que son claves en la movilidad de la ciudad. Éstas presentan diferentes actividades económicas entre las que se destacan estaciones de servicio, talleres automotrices, centros comerciales, bodegas de almacenamiento, terminales de transporte, entre otros. Los puntos muestreados se ubicaron en el anillo vial, la vía Cata-ma, la vía Puerto López y la avenida 40.

Colecta del material vegetal

Las muestras se tomaron en sustrato vegetal a un (1) metro de altura del tronco de árboles y palmeras (evitando otros tipos de contaminación) con un peso aproximado de 60g-80g por muestra. Por cada punto de muestreo, se tomaron tres muestras de árboles cercanos teniendo así 177 muestras pertenecientes a los 59 puntos de muestreo totales. Para la preservación del material vegetal, las muestras colectadas se mantuvieron en bolsas tipo Ziploc, fueron rotuladas con la información pertinente (número de colecta, código, punto de colecta, coordenadas y colector) y se almacenaron en cavas plásticas a temperatura ambiente para ser llevadas inmediatamente al laboratorio.

Análisis de metales pesados

Las muestras fueron enviadas al Laboratorio Químico de Consultas Industriales Universidad Industrial de Santander, acreditado mediante

la resolución 1111 de 2015 y 0921 de 2016 por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) para ser analizadas y hallar las concentraciones de plomo presentes en el tejido vegetal. Para el análisis, se tomaron 20g de todo el material vegetal colectado en cada punto sin discriminar especies o géneros, pero sí identificando los morfotipos presentes en la muestra, para su posterior análisis taxonómico. Se usó la digestión mediante el método EPA 3050B (HNO_3 y HClO_4) junto con la espectrometría de absorción atómica de llama 3111B y para algunas muestras de poco volumen, se usó la espectrometría de absorción atómica en horno de grafito.

Identificación taxonómica

Se llevó a cabo en los laboratorios de Limnología del Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia (ICAOC) usando las claves de identificación más relevantes para Colombia Churchill & Linares (1995) para los géneros de musgos y Uribe & Aguirre (1997) para los géneros de hepáticas.

Análisis estadístico, ploteo de isolíneas y mapas de distribución

Se realizó usando el programa libre R aplicando los test paramétricos de: test de Jarque (asimetría y curtosis), test de Shapiro-Wilk (normalidad), test de Bartlett (homocedasticidad), ANDEVA. Se realizó una transformación logarítmica de los datos para obtener normalidad. La interpolación de la ponderación de la distancia inversa (IDW) con una potencia de ponderación de 2,0 se utilizó para dilucidar la variación espacial del Plomo en función de las concentraciones. Los mapas de interpolación IDW y los mapas de distribución de los géneros en los puntos de muestreo fueron producidos en el Software ArcGIS 10.1. (Esri, Redlands, CA, EE. UU.).

Factor de Contaminación

Es definido como la relación entre la concentración del elemento en los briofitos (C_{Mi}: zonas comerciales, residenciales y de vías principales) versus el valor y su correspondiente nivel de referencia (C_{Bi}: zonas seminaturales). La interpretación del índice se toma según lo planteado por Fernández y Carballeira (2001), donde proponen seis categorías: C1: Sin contaminación, $CF < 1$; C2: Sospecha de contaminación, $1 \leq CF \leq 2$; C3: Levemente contaminado $2 < CF \leq 3.5$; C4: Moderadamente contaminado, $3.5 < CF \leq 8$; C5: Seriamente contaminado, $8 < CF \leq 27$; C6: Extremadamente contaminado $CF > 27$. El CF es calculado con la siguiente ecuación:

$$Cf = \frac{C_{Mi}}{C_{Bi}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Resultados y discusión

Las muestras colectadas en los 59 puntos de muestreo establecidos a lo largo de la ciudad de Villavicencio dieron como resultado

13 géneros de los cuales 7 pertenecen a la división *Bryophyta* (musgos) y 6 a la división *Marchantiophyta* (hepáticas). Los géneros más abundantes fueron para el caso de musgos *Fabronia sp.* y para hepáticas *Frullania sp.* (Figura 2), reportados en el Auto 268 del Ministerio de Ambiente para la ciudad (Minambiente, 2016). El plomo retenido en tejido vegetal de musgos y hepáticas dio como resultado una concentración máxima de 119.1 mg Kg^{-1} y una mínima de 0.15 mg Kg^{-1} .

Los datos arrojados (Tabla 1) presentan una alta variabilidad entre los puntos muestreados agrupados principalmente en las categorías de vías principales y zonas comerciales, de esta manera, el orden jerárquico de las categorías propuestas es $C_m > V_p > S_N > R$. Esto indica que las actividades que se desarrollan en cada zona influyen directamente en las concentraciones de plomo, de esta manera se corrobora lo mencionado en Trujillo-González, Torres-Mora, Keesstra, Brevik & Jiménez-Ballesta, 2016.

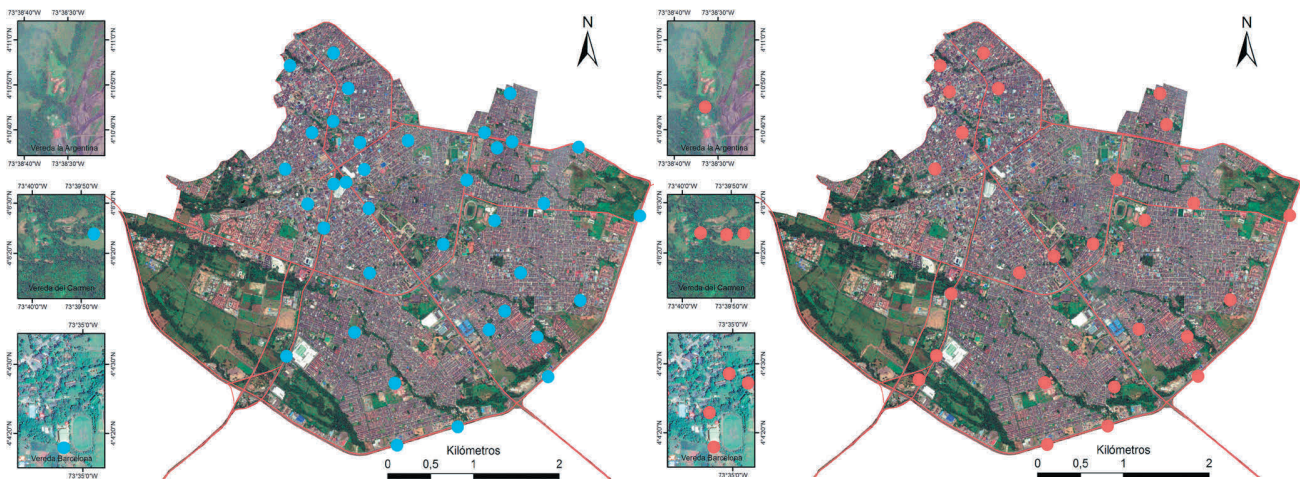


Figura 2. Distribución de los géneros más abundantes en la ciudad de Villavicencio.
A) Distribución del género *Fabronia* y B) distribución del género *Frullania*.

Fuente: Autores

El punto de muestreo del barrio San Benito clasificado en las zonas comerciales arrojó la concentración de plomo más alta (119.1 mg Kg^{-1}) en comparación con los demás puntos de muestreo, debido probablemente, a su actividad económica principal ligada a los servicios automotrices. Según Pam, Sha'Ato & Offem, (2013) los talleres de mecánica automotriz generan un incremento en las concentraciones de varios metales incluido el plomo, dichas fuentes principalmente se deben a los aceites de lubricar, líquidos de transmisión, soldaduras, pinturas, pulido del chasis y desgaste del motor y la caja de cambios, estas fuentes inciden directamente en las plantas vía

deposición atmosférica, húmeda y seca. Sin embargo, Aboal, Fernández, Boquete & Carballeira, (2010) precisan que en muchos casos la retención de metales pesados y otros elementos por parte de los briófitos (específicamente musgos) no se debe únicamente a la deposición atmosférica, sino también a aspectos tales como la naturaleza del sustrato, material particulado arrastrado por el viento y la naturaleza de la especie usada en el estudio. Adicionalmente, sugieren que el uso de estos organismos no refleja una retención a largo plazo (anual), sino un estado del entorno en el momento específico en que se realiza el estudio.

Tabla 1. Estadística descriptiva de las concentraciones de plomo (mg Kg^{-1}) en las diferentes zonas o áreas funcionales del casco urbano de la ciudad de Villavicencio-Meta.

Zona		Concentración (mg Kg^{-1}) Pb	Factor de Contaminación
Vías principales (n=16)	Media	12,62	5,74
	Max	68,70	31,23
	Min	0,45	0,20
	D.Est.	16,27	7,40
Comercial (n=13)	Media	20,69	9,41
	Max	119,01	54,10
	Min	1,56	0,71
Residencial (n=15)	D.Est.	32,91	14,96
	Media	3,55	1,61
	Max	11,67	5,31
Seminatural (n=15)	Min	0,29	0,13
	D.Est.	2,92	1,33
	Media	5,60	-
	Max	23,35	-
	Min	0,15	-
	D.Est.	6,98	-

Fuente: Autores

Igualmente, para la misma zona el punto de muestreo ubicado en el barrio Cero Uno que presenta la misma actividad económica, arrojó una concentración de plomo de 58.8 mg Kg^{-1} , aunque está por debajo de la concentración máxima para las zonas de vías principales, se denota claramente que la actividad económica

propia del sector tiene un efecto positivo en el incremento de las concentraciones de plomo en el entorno.

Al igual que en las zonas comerciales el punto situado en el barrio San Benito vía Puerto López agrupado en la categoría de zonas de

vías principales arrojó un máximo de $68,7 \text{ mg Kg}^{-1}$, dentro de sus actividades comerciales se encuentra primordialmente lo relacionado con servicios automotrices a lado y lado de la doble calzada y el flujo vehicular pesado.

Las concentraciones más bajas dentro de los puntos de muestreo se obtuvieron en las zonas residenciales y las zonas seminaturales, de esta última, se destaca el punto ubicado en la vereda El Carmen con una concentración de plomo de 23 mg Kg^{-1} , considerablemente más alta en comparación con puntos agrupados de la misma zona y los agrupados en zonas residenciales, probablemente debido a que es un

sitio turístico muy concurrido, con presencia de algunas viviendas y muy cerca de la carretera intermunicipal Bogotá-Villavicencio, esta cercanía puede incrementar por acción de vientos, las concentraciones de plomo en los sectores aledaños. Según Begu, Brasoveanu, Liogchi & Brega, (2011) las zonas naturales cercanas a vías de alto tráfico aumentan la dispersión de metales pesados no volátiles adheridos a partículas finas. El mapa de la distribución espacial del plomo en el área urbana de la ciudad (Figura 3) evidencia de forma gráfica los puntos con concentraciones más altas de plomo retenidas en tejido vegetal, en estas zonas es clara la actividad ligada a los servicios automotrices.

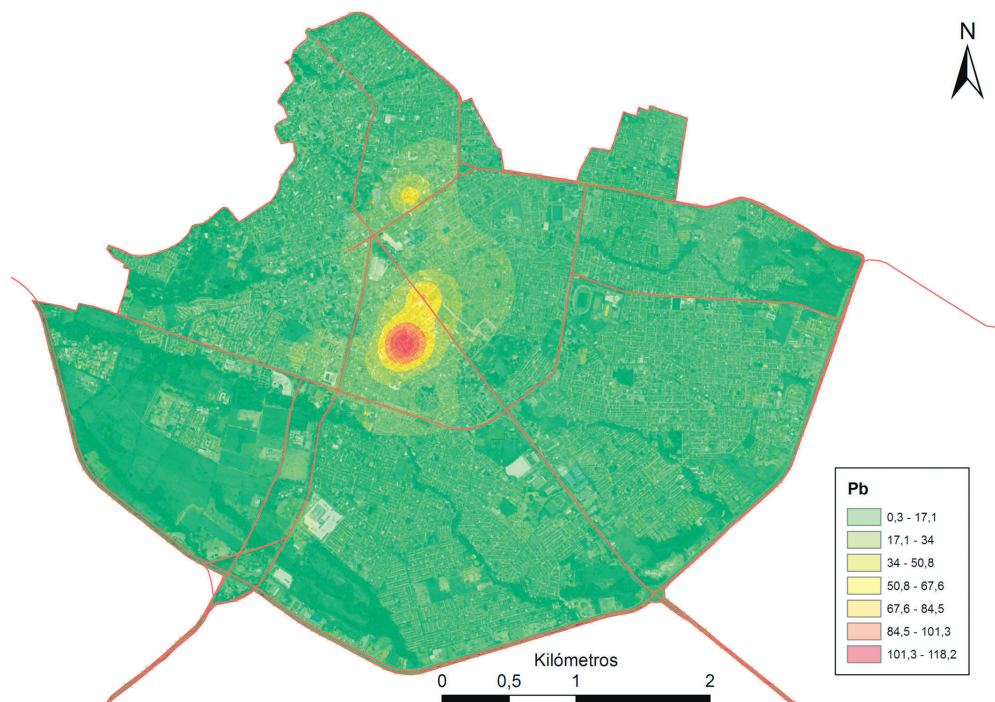


Figura 3. Distribución espacial del Pb en el área urbana de la ciudad de Villavicencio.

Fuente: Autores

El punto rojo indica el sitio con mayor concentración de plomo y los amarillos los que tienen una concentración intermedia, a medida que se acerca al color verde oscuro, la concentración es menor. Cabe recalcar que dentro del mapa el punto rojo corresponde al barrio San

Benito y los amarillos a San Benito-vía Puerto López y Cero Uno.

Estudios en diferentes países alrededor del mundo en donde se ha implementado el muestreo de musgos como herramienta para medir

el impacto de las diferentes actividades antrópicas al ambiente urbano y rural, destacan concentraciones de plomo considerablemente bajas en comparación con los datos hallados en este proyecto. En contraste, Macedo-Miranda *et al.* (2016) reportan la concentración máxima de plomo en tejido de musgos de 140.2 mg Kg⁻¹, superior a la encontrada en el barrio San Benito. Igualmente, indica que la deposición atmosférica en musgos se ve afectada por factores climáticos, presentando mayores concentraciones en la época de lluvias. Cao *et al.* (2008) indican que las concentraciones de plomo en puntos industriales de transformación de hidrocarburos (plantas petroleras) no presentan altas concentraciones, por el contrario,

puntos localizados dentro de la ciudad como zonas de colegios si presentan una alta deposición de plomo y otros metales pesados.

Los valores arrojados en el FC (Tabla 1) y la categorización de los puntos de muestreo y de manera resumida la figura 4, presentan el mapa de los datos arrojados tras la aplicación del factor de contaminación. Este factor sólo se aplicó a las zonas de vías principales, zonas comerciales y zonas residenciales, puesto que las zonas seminaturales fueron tomadas como referencia. Se destacan los puntos agrupados en la categoría C6 o extremadamente contaminados, correspondientes a los barrios San Benito y Cero Uno.

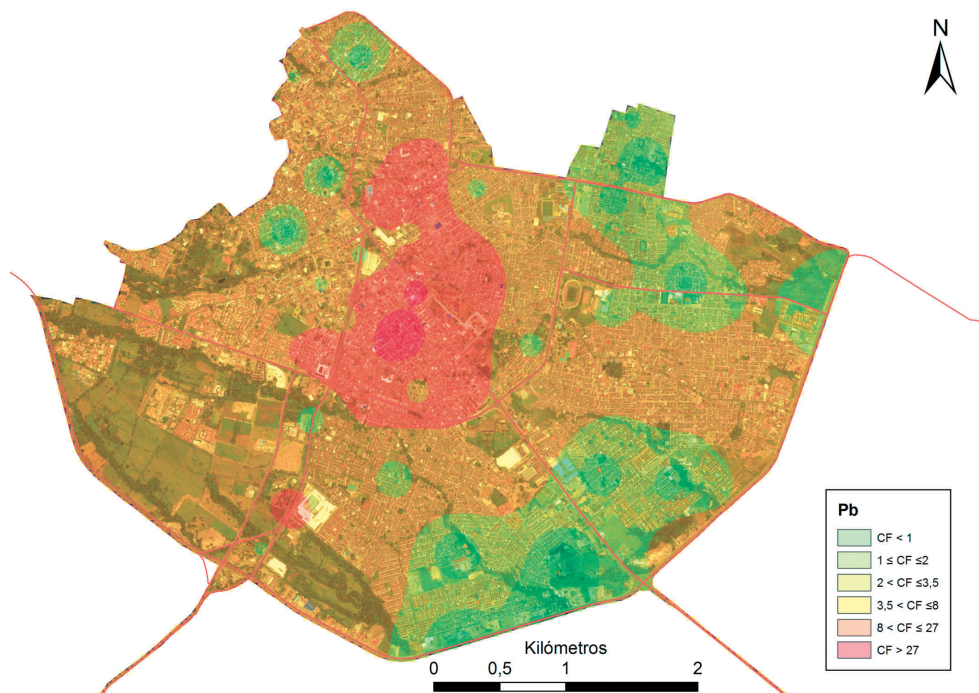


Figura 4. Distribución espacial del factor de contaminación en el área urbana de la ciudad de Villavicencio.

Fuente: Autores

Los puntos con menor concentración corresponden a los barrios Coralina, Séptima Brigada, Santa Helena, Buque, Barzal, Alborada, Unimeta y Popular, agrupados en la categoría C1 o no contaminadas. Comparado con lo hallado en Zhou *et al.* (2017), los puntos

evaluados presentan un FC que está en las categorías C3 y C4, lo cual indica que las zonas están levemente contaminadas a moderadamente contaminadas, mientras que el FC para las zonas estudiadas en este proyecto llega a una categoría C6 o extremadamente

contaminado. Esto indica que para la ciudad de Villavicencio la contaminación por plomo llega a niveles mucho más altos que varias ciudades en Europa.

Los puntos agrupados en la categoría C2 o de sospecha de contaminación pertenecen únicamente a las zonas residenciales lo cual indica que aunque no presentan una contaminación alta, se podría esperar que para años posteriores el nivel de contaminación pase a estar levemente contaminado debido a que son áreas en expansión que, en algunos casos como en los barrios Emporio, Ceiba, Santa Helena y Vizcaya se implementarán actividades económicas que elevarían las concentraciones de plomo disponibles, puesto que son sitios con gran potencial comercial.

Realizada la transformación logarítmica de los datos obtenidos sobre la concentración

de plomo en el tejido de musgos y hepáticas (Figura 5) se verificó la hipótesis de normalidad y homocedasticidad. El ANDEVA con un valor p de $0.0028 < 0.05$, reafirma que la hipótesis de igualdad entre las zonas, se rechaza.

El test de Tukey demostró que las zonas comerciales presentan diferencias significativas tanto con las zonas residenciales como con las zonas seminaturales, esto debido a las bajas concentraciones halladas en estas dos últimas categorías. Igualmente, el mismo tratamiento estadístico fue aplicado a la categoría de zonas seminaturales para identificar si existían diferencias significativas en los puntos de muestreo ubicados en las veredas El Carmen, La Argentina y Barcelona. Aplicado el ANDEVA se evidencia que no hay diferencias significativas dentro de los puntos de muestreo en las zonas seminaturales.

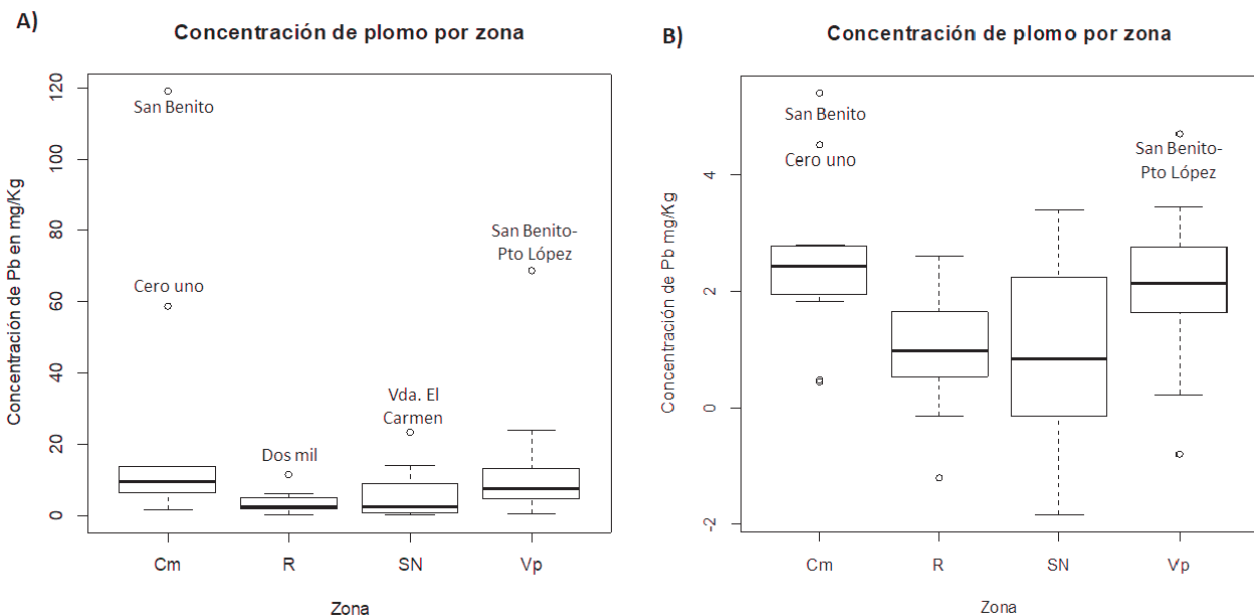


Figura 5. Concentración de plomo (Pb) en el tejido vegetal en las zonas blanco o seminaturales. Los puntos fuera de las cajas indican los valores atípicos. A) Conjunto de datos sin distribución normal. B) Conjunto de datos transformado mediante la transformación BoxCox (logarítmica) $\lambda=0.05$, los análisis fueron realizados en el software libre R.

Fuente: Autores

Conclusiones

Los géneros más abundantes y que podrían explicar el 70% de las concentraciones de plomo a lo largo de los puntos de muestreo establecidos son *Fabronia* y *Frullania*, pues presentaron el mayor volumen de tejido vegetal analizado.

Las altas concentraciones de plomo halladas en los barrios San Benito y Cero Uno indican que se deben implementar acciones de manejo de residuos en los talleres de mecánica automotriz. Igualmente, tras la prohibición de gasolinas con plomo se evidencia que la actividad de este metal proveniente del hidrocarburo en organismos biológicos, a la fecha, es bajo, pues las concentraciones en las vías principales no fueron de magnitud considerada.

A pesar de que la ciudad de Villavicencio no cuenta con centros altamente industrializados, las concentraciones de plomo halladas en este estudio superan las concentraciones de muchos países alrededor del mundo con una industria más desarrollada.

Hallar las concentraciones de plomo en tejido biológico permite conocer en qué medida un organismo puede absorber ciertos metales que pueden llegar a afectar gravemente su funcionamiento normal. Así mismo, la realización de este trabajo permite sugerir acciones de manejo de alimentos, exposición al metal y de gestión ambiental en los focos de contaminación.

Agradecimientos

Autores agradecen a la Dirección General de Investigaciones de la Universidad de los Llanos por apoyar el proyecto económicamente y al Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquía Colombiana-ICAOC por prestar sus instalaciones para el desarrollo del proyecto.

Literatura citada

- Aboal, J. R., Fernández, J. A., Boquete, T., & Carballera, A. (2010). Is it possible to estimate atmospheric deposition of heavy metals by analysis of terrestrial mosses?. *Science of the Total Environment*, 408(24), 6291-6297. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.09.013
- Adie, P. A., Torsabo S. T., Uno, U. A. & Ajegi, J. (2014). *Funaria hygrometrica* moss as Bioindicator of Atmospheric Pollution of Heavy Metals in Makurdi and Environs, North Central Nigeria. *Research Journal of Chemical Sciences* Vol. 4(10), 10-17. <http://www.isca.in/rjcs/Archives/v4/i10/ISCA-RJCS-2014-145.pdf>
- Begu, A., Brasoveanu, V., Liogchi, N. & Brega, V. (2012). Mosses and lichens bioindicators of heavy metals pollution of forest ecosystems. *Universitatea Babeş-Bolyai Cluj Napoca Facultatea de Geografie*. http://aerapa.conference.ubbcluj.ro/2014/PDF/08-Begu_et_all.pdf
- Bellinger, D. C. (2008). Very low lead exposures and children's neurodevelopment. *Curr Opin Pediatrics*. 20(2), 172-77. doi:http://dx.doi.org/10.1097/MOP.0b013e3282f4f97b
- Cao, T., An, L., Wang, M., Lou, Y., Wu, J., Zhu, Z., Qing, Y. & Glime, J. (2008). Spatial and temporal changes of heavy metal concentrations in mosses and its indication to the environments in the past 40 years in the city of Shanghai, China. *Atmospheric Environment*, 42 (21), 5390-5402. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.02.052>
- Churchill, S.P. & Linares E.L. 1995. *Prodomus Bryologiae Novo Granatensis*. Introducción a la flora de musgos de Colombia. Biblioteca José Jerónimo Triana. Tomos I y II. Instituto de Ciencias Naturales. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Donovan, G.H., Jovan, S.E., Gatzliolis, D., Burstyn, I., Michael, Y. L., Amacher, M.C. & Monleon, V. J. (2016). Using an epiphytic moss to identify previously unknown sources of atmospheric cadmium pollution. *Science of The Total Environment*, 559, 84 - 93. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.182>
- Ekpo, B.O., Uno, U.A., Adie, A.P., Ibok, U.J. (2012). Comparative Study of Levels of Trace Metals in Moss Species in Some Cities of the Niger Delta Region of Nigeria. *International Journal of Applied Science and Technology*, 2 (3), 127 - 135.http://www.ijast-net.com/journals/Vol_2_No_3_March_2012/15.pdf

- Fernández, J.A., Ederra, A. & Carballeira, A. (1997). Biocontrol de la deposición atmosférica de metales pesados en Navarra (España) mediante musgos terrestres. *Munibe Ciencias Naturales*, 49, 101 - 109. <http://www.aranzadi.eus/fileadmin/docs/Munibe/1997101109CN.pdf>
- Fernández, J. & Carballeira, A. (2001). Evaluation of contamination, by different elements, in terrestrial mosses. *Environ Contam Toxicol. Ecología*, Facultad de Biología, Universidad de Santiago de Compostela, Spain. 40(4):461-8. DOI: 10.1007/s002440010198
- Harmens, H., Norris, D., & Mills, G. (2013). Heavy metals and nitrogen in mosses: spatial patterns in 2010/11 and long-term temporal trends (1990-2010) in Europe.
- Harmens, H., Norris, D., Steinnes, E., Kubin, E., Piispanen, J. Alber, R., Aleksiyenak, Y., Blum O., Coskun, M., Dam, M., Temmerman, L., Fernández, J., Frolova, M., Frontasyeva, M., González-Miqueo, L., Grodzinska, K., Jeran, Z., Korzekwa, S., Krmar, M., Kvietkus, K., Leblond S., Liiv, S., Magnússon, S., Mankovská, M., Pesch, R., Rühling, Å., Santamaria, J., Schröder, W., Spiric, Z., Suchara, I., Thöni, L., Urumov, V., Yurukova, L. & Zechmeister, H. (2010). Mosses as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: spatial patterns and temporal trends in Europe. *Environmental Pollution*, 158(10), 3144-3156. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.06.039>
- Idrovo, A., Hurtado, M., Blanco, L., Bermúdez, J. y Jaimes, D. (2012). Diagnóstico Nacional de Salud Ambiental. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - República de Colombia*. p -368. <http://bit.ly/2m4MbAx>
- Labanda, P. & Fernández, C. (2012). Caso clínico - Saturnismo, a propósito de un caso. *Med Segur Trab*, 58 (227), 168-173. <http://scielo.isciii.es/pdf/mesetra/v58n227/caso.pdf>
- Macedo-Miranda, G., Avila-Perez, P., Gil-Vargas, P., Zarazúa, G., Sánchez-Meza, J., Zepeda-Gómez, C. & Tejeda, S. (2016). Accumulation of heavy metals in mosses: a biomonitoring study. *SpringerPlus*, 5, 715. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2524-7>
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible - República de Colombia. Auto 268 de 2016. <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/autos/7a-AUTO%20268.pdf>
- Pam, A. A., Sha'Ato, R., & Offem, J. O. (2013). Contributions of automobile mechanic sites to heavy metals in soil: A case study of North Bank mechanic village Makurdi, Benue State, Central Nigeria. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences (JCBPS)*, 3(3), 2337.
- Szarek-Łukaszewska, S., Grodzinska, K. & Braniewski, S. (2002). Heavy metal concentration in the moss *pleurozium schreberi* in the niepołomice forest, poland: changes during 20 years. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, 31-512 Kraków, Polan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 79 (3), 231-237. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1020226526451>
- Torres-Mora, M.A. & Trujillo-González, J. M. (2014). La ciudad y su dinámica. *Orinoquia*, 18(2), 7. <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v18n2/v18n2a01.pdf>
- Trujillo-González, J. M., Torres-Mora, M. A., Keesstra, S., Brevik, E. C., & Jiménez-Ballesta, R. (2016). Heavy metal accumulation related to population density in road dust samples taken from urban sites under different land uses. *Science of the Total Environment*, 553, 636-642. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.101>
- UNEP - United Nations Environment Programme. (2010). Principales descubrimientos científicos en relación con el plomo. Geneva, Switzerland. p - 12. <http://bit.ly/2BmUIsS>
- Uribe, J. & Aguirre, J. 1997. Clave para los géneros de hepáticas de Colombia. *Caldasia* 19(1-2): 13-27.
- Zhou, X., Chen, Q., Liu, C., & Fang, Y. (2017). Using moss to assess airborne heavy metal pollution in Taizhou, China. *International journal of environmental research and public health*, 14(4), 430. <https://doi.org/10.3390/ijerph14040430>.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses