

EVALUACIÓN DE METALES PESADOS ACUMULADOS EN POLVO VIAL EN TRES SECTORES DE LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO, COLOMBIA¹

Juan Manuel Trujillo-González²
Marco Aurelio Torres-Mora³

Recibido el 5 de junio de 2014, aprobado el 8 de febrero de 2015
y actualizado el 05 de mayo de 2015

DOI: 10.17151/luaz.2015.41.16

RESUMEN

La dinámica urbana derivada del crecimiento de las ciudades y de la demanda de la población en términos de servicios de transporte, de producción de alimentos, de bienes y servicios en general, son algunos de los responsables de la generación de factores contaminantes, donde uno de ellos es la presencia de metales pesados por acumulación en el polvo vial. En este sentido, el presente estudio tiene como finalidad evaluar la contaminación por presencia de metales pesados (Pb, Zn, Ni, Cu, Cr, y Cd) en el polvo de las vías de tres zonas de la ciudad de Villavicencio –Meta– (sector Anillo vial, sector Buque y sector Porvenir). Entre los resultados encontrados se tiene que la abundancia de metales por sector fue: sector Porvenir (SP), seguido del sector Anillo vial (SA) y sector Buque (SB). El estudio mostró que las concentraciones de metales pesados en el polvo vial están relacionadas con la dinámica de cada uno de ellos.

PALABRAS CLAVE

Metales pesados, sedimento vial, plomo, contaminación urbana.

ASSESSMENT OF HEAVY METALS IN ACCUMULATED ROAD DUST IN THREE SECTORS OF THE CITY OF VILLAVICENCIO, COLOMBIA

ABSTRACT

Urban dynamics derived from city growth and the population demands for transportation, food production, goods and services in general, are among the responsible on the generation of contaminating factors, where one of them is the presence of heavy metals in accumulated road dust. In this sense, the current study seeks to evaluate the pollution by presence of heavy metals (Pb, Zn, Ni, Cu, Cr, and Cd) in road dust from three sectors on Villavicencio –Meta– (sector Anillo vial sector, Buque sector and Porvenir sector). Among the obtained results, the metals abundance for each sector was as follows: Porvenir (SP), followed by sector Anillo vial (SA) and Buque (SB). The study showed that concentrations of heavy metals in road dust are related to the dynamics of each of these sectors.

KEY WORDS

Heavy metals, road dust, lead, urban contamination.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional, las actividades industriales y comerciales, el alto flujo vehicular, el material de pavimentación de vías y los aportes atmosféricos son las principales causas de la contaminación ambiental urbana (Saeedi, Li y Salmanzadeh, 2012; Zafra, Luengas y Temprano, 2013a), en la cual la presencia de metales pesados constituye un factor de riesgo para la salud pública y para los sistemas naturales que integran las ciudades (Fergusson y Ryan, 1984; Liu et al., 2010). La ciudad de Villavicencio en la actualidad cumple un rol importante en la dinámica económica del país, debido a que es un punto de conexión por donde se movilizan hidrocarburos y productos alimentarios (Alcaldía de Villavicencio, 2013a), lo que ha llevado a un crecimiento en la construcción de viviendas y avenidas que para 2011 alcanzó un 23,67%, superior a ciudades como Bogotá, Medellín o Barranquilla (Alcaldía de Villavicencio, 2013b).

En relación con las dinámicas urbanas se han venido realizando alrededor del mundo estudios cuyo objetivo es el de identificar compuestos contaminantes presentes en el polvo vial y sus principales fuentes (Pant y Harrison, 2013), mediante métodos de muestreo barrido, cepillado y toma con vacío de sedimento, en las vías de los principales sectores de ciudades, en países como: China (Yekeen y Onifade, 2012), Egipto (Khairy et al., 2011), Nigeria (Abdel-Latif y Saleh, 2012), Irán (Saeedi et al., 2012), Ghana (Atiemo et al., 2011), España (Acosta et al., 2014). En estudios particulares como los de Palermo –Italia– (Varrica et al., 2003) y Sídney –Australia– (Ball, Jenks y Aubourg, 1998), las concentraciones de Pb encontradas fueron del orden de 544 y 511 mg/kg respectivamente, y para el caso de Murcia en España (Acosta et al., 2014), las mayores concentraciones de Pb están asociadas al sector industrial con 346 mg/kg, mientras que en el sector residencial se alcanzaron los 123 mg/kg.

En Colombia se destaca la investigación liderada por Zafra, quien realizó un estudio en las vías del municipio de Soacha (Cundinamarca), anexo a la ciudad de Bogotá D.C., donde analizó la influencia del tráfico, la escorrentía urbana y la relación con el polvo atmosférico (Zafra et al., 2013a; Zafra, Peña y Álvarez, 2013b; Zafra, Rodríguez y Torres, 2013c).

De acuerdo con Sartor, Boyd y Agardy (1974), la carga de contaminantes de las aguas de escorrentía urbana es significativamente mayor en comparación con la escorrentía rural. Esto determina, que gran parte de la contaminación de las fuentes hídricas urbanas y de los suelos aledaños (Hewitt y Rashed, 1991) estén relacionadas con los aportes viales (Vaze y Chiew, 2002). Asimismo, Rissler et al. (2012) encontraron que los principales contaminantes asociados a las cuencas urbanizadas

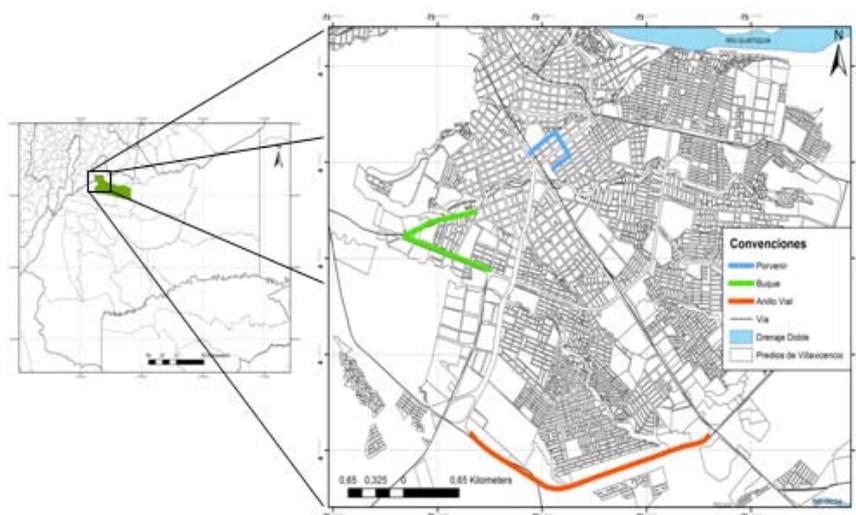
son el Cu, el Pb y el Zn, que hacen parte del grupo de los metales pesados.

A partir de estos referentes el presente estudio pretende identificar los metales pesados presentes en vías de tres zonas con características diferentes en la ciudad de Villavicencio. De esta forma, se busca contribuir con información que permita tanto a las autoridades locales como a sus habitantes incorporar acciones que mitiguen los efectos propios de estos compuestos sobre la salud pública y los sistemas naturales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en el área urbana de la ciudad de Villavicencio –Meta– (Figura 1), que 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, y con una población estimada para 2014 en 473.718 habitantes (DANE, 2010). Para el desarrollo del estudio se seleccionaron tres sectores, localizados en las siguientes zonas: residencial de flujo vehicular bajo (sector Buque), de actividades comerciales y alto flujo vehicular (sector Anillo vial) y zona comercial con actividades de mantenimiento automotriz (sector Porvenir).



Fuente: Los autores.

Figura 1. Estaciones de muestreo localizadas en la área urbana de la ciudad de Villavicencio (Meta).

Caracterización de las zonas de estudio

Sector Anillo vial (SA)

Este sector se caracteriza por la circulación de todo el tráfico pesado de transporte de productos alimenticios e hidrocarburos que provienen de los municipios del departamento del Meta, el transporte intermunicipal e interdepartamental, donde se movilizan principalmente pasajeros desde y hacia Bogotá D.C., además del transporte particular con los mismos orígenes y destinos, y el que moviliza parte de la población de la ciudad. En este sector se desarrollan actividades económicas tales como: concesionarios automotores y asistencia mecánica, talleres de mecánica automotriz no tecnificada, estaciones de servicio, oficinas y bodegas de almacenamiento de productos de bebidas gaseosas y de agroquímicos, y áreas urbanizadas. El estado de las vías, según la clasificación de la Alcaldía de Villavicencio (2013b), está en los niveles 3 y 4, que corresponde a áreas en buen estado con pequeños desgastes y áreas con irregularidades en la carpeta de rodadura, presencia de huecos y grietas que son saneados periódicamente. En este sector actualmente se construye doble calzada. Sobre la superficie vial se evidencia acumulación de polvo viario proveniente de la construcción de la doble calzada y del transporte pesado, principalmente.

Sector Buque (SB)

El tipo de vehículos que circulan en este sector está restringido a particulares y públicos tipo taxi. La presencia de actividades relacionadas son el servicio de restaurantes y centros educativos, en su mayoría corresponde a áreas residenciales de estratos 5 y 6. Según la Alcaldía de Villavicencio (2013b), las vías son de categoría 5, es decir que tienen excelente estado en todos sus componentes, prácticamente son nuevas. Debido a la pendiente del sector la presencia de polvo vial es escasa. En general, el sector actualmente es una de las áreas residenciales de Villavicencio con mayor crecimiento, donde se destacan alrededor de cinco proyectos urbanísticos.

Sector Porvenir (SP)

En este sector el tipo de vehículos que transita es mixto, desde el particular pasando por el de transporte público urbano hasta el de transporte pesado, que principalmente acuden en búsqueda de servicios de mecánica automotriz, que se puede calificar como no tecnificado; además de esta actividad económica, predomina en toda el área la venta de autopartes para todo tipo de vehículos. Las vías presentan características de nivel 2, es decir en mal estado, y nivel 3 (Alcaldía de Villavicencio, 2013b). De igual forma se observan en las vías residuos sólidos y líquidos de tipo combustible, grasas, residuos de pulido de partes metálicas y residuos convencionales en general. La actividad comercial que allí se desarrolla por sus características genera evidentes sustancias contaminantes que pueden ser perjudiciales para la salud pública y los sistemas naturales.

Sistemas de muestreo del polvo vial

El período de muestreo fue de veintinueve (29) días, con intervalos de siete (7) días, para un total de cinco (5) muestreos para cada zona de estudio, para un total de 15 muestras. Las muestras se tomaron de forma compuesta directamente sobre la superficie de la vía utilizando un marco de 0,25 m², donde se colectaron 200 gramos de polvo vial que fue empacado en bolsas selladas. Para la recolección de las muestras se utilizaron brochas de 3 pulgadas y recogedores plástico de mano; en cada sector se utilizaron distintos utensilios. El material recolectado se homogenizó utilizando un tamiz de 2,0 mm, con el objetivo de retirar impurezas de mayor tamaño como piedras, puntillas o material orgánico presente.

Análisis de laboratorio

La detección de las concentraciones de los metales pesados totales (Cd, Cu, Pb, Ni, Zn, Cr) se realizó de acuerdo con el método Digestión ácido nítrico, ácido clorhídrico y peróxido de hidrógeno, Espectrofotometría de Absorción Atómica con llama Aire – Acetileno, EPA 3050 B, SM 3111 B. Los límites de detección fueron: Pb 1,5 mg/L; Ni 0,12 mg/L; Zn 0,010 mg/L; Cu 0,038 mg/L; Cd 0,014 mg/L; Cr 0,076 mg/L. Todos los análisis se realizaron en el laboratorio químico de consultas industriales de la Universidad Industrial de Santander, acreditado por el IDEAM según Resolución 1659 de 2011.

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de cluster y coeficiente de correlación de Pearson, debido a que son técnicas estadísticas que han sido utilizadas en investigaciones similares de metales pesados (Wei y Yang, 2010; Saeedi et al., 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de metales pesados

Las concentraciones de metales pesados para los sectores evaluados en la ciudad de Villavicencio, se presentan en la **Tabla 1**. El sector Porvenir (SP), presentó las mayores concentraciones en todos los metales pesados estudiados. A partir de la abundancia de metales en cada sector, estos se pueden clasificar así: SP>SA>SB. En general la abundancia de metales dentro de cada sector presentó el siguiente patrón:

Sector Anillo vial **Zn>Cu>Pb>Cr>Ni>Cd**

Sector Buque **Zn>Pb>Cu>Cr>Ni>Cd**

Sector Porvenir **Pb>Cu>Zn>Cr>Ni>Cd**

La presencia de Cadmio (Cd) en los tres sectores evaluados no mostró concentraciones superiores al límite detectable.

Tabla 1. Concentración de metales pesados (mg/kg) en polvo vial de tres sectores de la ciudad de Villavicencio

Sector		Pb	Ni	Zn	Cu	Cr
Anillovial (SA)	Media	87,5	5,3	133,3	126,3	9,4
	Rango	26,4-326,2	3,00-10,41	85,6-189,8	24,9-248,1	6,14-14,0
	SD	133,5	3,2	53,5	91,5	3,0
Buque (SB)	Media	26,0	7,2	108,3	23,7	7,3
	Rango	17,5-31,7	6,5-8,9	104,4-113,8	13,6-40,0	4,7-10,0
	SD	4,7	0,9	4,1	9,6	1,9
Porvenir (SP)	Media	1289,4	54,3	387,6	490,2	60,2
	Rango	259,2-4079,8	20,7-123,3	222,5-511,8	36,1-903,0	27,1-115,3
	SD	1598,8	41,3	129,0	345,9	35,7

SD = Desviación Estándar.

Fuente: Los autores.

Los valores varían ampliamente entre los sectores de muestreo, lo cual puede explicarse debido a las actividades económicas propias de cada sector, donde se destaca la presencia de Pb, Cu y Zn, lo cual corrobora lo mencionado por García y Poletto (2014) sobre la asociación de estos metales con el volumen de tráfico, estados de las vías, residuos de desgaste de neumáticos y frenos, y así como con residuos relacionados con los hidrocarburos tales como aceites y combustibles. Asimismo, dentro de los sectores de muestreo las desviaciones estándar indican alto grado de variabilidad de los metales independientemente del sector de estudio, lo cual se asocia a la heterogeneidad de la muestra y a las múltiples variables que no pueden ser controladas entre cada periodo de muestreo.

El tema de contaminantes urbanos ha sido normatizado en países como México (NOM-147-SEMARNAT/SSA1, 2004), Argentina (Decreto 831/1993) y Venezuela (Decreto, 2635 de 1998), donde se han establecido límites permisibles para metales pesados presentes en suelos de sectores comerciales, residenciales e industriales, y en el caso venezolano para los contenidos máximos que pueden presentar cuando se va a confinar en un relleno. Para Colombia de acuerdo con Rueda, Rodríguez y Madriñán (2011), no existen instrumentos legales relacionados con los contaminantes urbanos, caso metales pesados, sus valores máximos permitidos y también faltan valores de referencia de contenidos naturales de metales pesados en los suelos del país, que permitan evaluar e identificar problemas de contaminación. En consecuencia, en el análisis se toman como referencia natural los valores obtenidos por Fadigas et al. (2006) para Brasil, debido a similitudes edáficas.

Plomo

Las mayores concentraciones de Pb se detectaron en el sector SP con 1289,4 mg/kg en promedio superando ampliamente el valor tomado como referencia de 17 mg/kg (Fadigas et al., 2006), del mismo modo el sector SP sobrepasa los valores máximos

permisibles planteados para sectores comerciales en México, 400 mg/kg (NOM-147-SEMARNAT/SSA1, 2004), y para Argentina de 500 mg/kg (Decreto 831/1993). En el caso del sector SA el promedio para el Pb fue de 87,5 mg/kg y para el sector SB de 26 mg/kg, aunque superan los valores de referencia se mantienen por debajo de los valores permisibles en sectores residenciales y comerciales propuestos en México y Argentina.

En Colombia, Zafra et al. (2013b) reportan valores de 81 y 202 mg/kg de Pb en muestras de polvo vial tomadas en Soacha (Cundinamarca), estos valores son cercanos a los que se reportan en el sector SA y por debajo de lo encontrado en SP; sin embargo, este municipio en términos de población –500.097 habitantes para el año 2014– (DANE, 2010), es mayor que la ciudad de Villavicencio. En estudios publicados por García y Poleto (2014), en sectores comerciales de la ciudad de Porto Alegre (Brasil), con población que supera el millón de habitantes, encontraron en promedio 655 mg/kg de Pb, valor inferior al encontrado en el sector SP.

Estas concentraciones de Pb están estrechamente relacionadas con las actividades que se desarrollan en cada sector y con el flujo de vehículos que transitan, que para el caso de Villavicencio en el sector SP, con las mayores concentraciones de Pb, se vincula con actividades de mecánica automotriz “rudimentaria” carente de prácticas de manejo y gestión de los residuos propios de la actividad como aceites, limaduras metálicas, residuos de pintura, derivados de hidrocarburos, principalmente.

Zinc

Las concentraciones de Zn en los sedimentos viales estudiados oscilan entre 85,6 y 511,8 mg/kg, donde el sector que presentó las mayores concentraciones fue SP con 387,6 mg/kg en promedio, seguido de SA y SB con 133,3 y 108,3 mg/kg respectivamente; en todos los casos se superan los valores de referencia natural de 59,9 mg/kg (Fadigas et al., 2006). Sin embargo, los sectores SA y SB están por debajo del valor permisible según la normatividad argentina, que para ambos casos es de 500 mg/kg en sectores residenciales y/o comerciales (Decreto 831/1993). En el municipio de Soacha, los valores de este metal oscilaron entre 57 y 62 mg/kg (Zafra et al., 2013b), valores menores a los encontrados en los tres sectores estudiados en la ciudad de Villavicencio. Christoforidis y Stamatidis (2009) relacionan el Zn con la fuga de sustancias derivadas de hidrocarburos y con el desgaste de algunas partes de los vehículos, descripción consistente con el sector SP, donde se observan derivados de hidrocarburos en las superficies de las vías, sumado a limadura de partes metálicas. Aunque el zinc es un elemento esencial para la vida, la inhalación del polvo con partículas de éste puede causar problemas de salud como la fiebre de los humos, dolor de cabeza, entre otros problemas (López, Castillo y Diazgranados, 2010).

Cobre

Las concentraciones de Cu en el sedimento vial de los tres sectores estudiados en promedio alcanzó valores de 23,7, 126,3 y 490,2 mg/kg para SB, SA y SP respectivamente, donde en el sector SP el valor máximo fue de 903,0 mg/kg. El límite permisible argentino es de 100 mg/kg y solo lo cumpliría en este caso el sector SB. Por otro lado, en los estudios de Zafra et al. (2013b) se encontraron concentraciones de 33 y 52 mg/kg, valores por debajo de los sectores SA y SP en Villavicencio.

Níquel y cromo

Los promedios de Ni estuvieron en 5,3 mg/kg en el sector SA, 7,2 mg/kg en el SB y 54,3 mg/kg en el SP; los sectores SA y SB permanecieron por debajo del valor de referencia de 13,2 mg/kg (Fadigas et al., 2006), superado únicamente por el sector SP. En lo que respecta al Cr los niveles promedio fueron 9,4 mg/kg en SA, 7,3 mg/kg en SB y 60,2 mg/kg en SP. Al igual que en el metal anterior, el valor de referencia de 40,2 mg/kg solo es superado por el sector SP. Por otro lado, los tres sectores estudiados presentan niveles Ni inferiores a los planteados por las normas de México y Argentina con 1600 y 100 mg/kg respectivamente, y lo mismo para Cr donde el límite permisible es de 250 mg/kg en Argentina. De acuerdo con estos resultados y los límites permisibles de México y Argentina para sectores comerciales y residenciales, se podría decir que las concentraciones encontradas no generan riesgo para la salud pública.

En estudios realizados en ciudades como Palermo (Italia), Varrica et al. (2003) encontraron un promedio de 14 mg/kg para el caso del Ni y 218 mg/kg para Cr, valores que superan los presentes en los sectores SA y SB, caso similar a lo encontrado en Ottawa (Canadá) y Teherán (Irán), con 15,1 mg/kg-Ni, 43,3 mg/kg-Cr (Rasmussen, Subramanian y Jessiman, 2001) y 34,8 mg/kg-Ni, 33,4 mg/kg-Cr (Saeedi et al., 2012) respectivamente, sin embargo, es necesario considerar que estas ciudades superan ampliamente la población y las actividades industriales de la ciudad de Villavicencio.

Los tres sectores evaluados presentan diferencias en tráfico vehicular, el sector SA por ser un sector de paso obligado desde o hacia Bogotá, mientras que por el sector SB transitan vehículos particulares de residentes y visitantes, y en el sector SP por ser un sector de comercio dirigido a servicios automotrices tiene diariamente visitas de toda clase de automotores. La actividad principal del sector es otro factor influyente, si bien los sectores SP y SA tienen dedicación comercial presentan diferencias evidentes. Estudios similares han determinado que las áreas con mayor presión vehicular y derrame de combustibles presentan las mayores concentraciones de metales pesados (Duong y Lee, 2011).

En la **Tabla 2.**, se presentan los resultados de la correlación de Pearson, los cuales indican que la mayoría de los metales están

altamente correlacionados entre sí. Los pares Pb-Zn, Pb-Cr, Ni-Zn, Ni-Cu, Ni-Cr, Zn-Cu, Zn-Cr y Cu-Cr alcanzan una significancia de $P < 0,01$, por otro lado el Pb-Cu se correlacionan con una significancia de $P < 0,05$ y Pb-Ni con una correlación positiva moderada ($r = 0,449$), esto indica la posible fuente común que comparten estos elementos metálicos, tales como: el desgaste de neumáticos y pastillas de frenos, aceites, grasas y otros hidrocarburos. Los coeficientes de correlación más altos fueron para Ni, Cu, Cr y Zn ($r > 0,900$) y el Cr y el Ni están asociados a pinturas usadas en recubrimientos de automóviles, mientras que el Zn y Cu al desgaste de otras partes (De Miguel et al., 1997; Zafra et al., 2013b). En estudios de Atiemo et al. (2011) y Saeedi et al. (2012) también encontraron alta correlación entre los metales, indicando la posible fuente común y de origen antropogénico.

Tabla 2. Coeficiente de correlación de Pearson entre metales pesados en muestras de polvo vial ($n = 15$)

		Plomo	Níquel	Zinc	Cobre	Cromo
Plomo	Pearson	1	0,449	0,713	0,548	0,643
	Sig. (bilateral)		0,093	0,003	0,034	0,010
Níquel	Pearson	0,449	1	0,869 ^{**}	0,912 ^{**}	0,966 ^{**}
	Sig. (bilateral)	0,093		0,000	0,000	0,000
Zinc	Pearson	0,713 ^{**}	0,869 ^{**}	1	0,944 ^{**}	0,931 ^{**}
	Sig. (bilateral)	0,003	0,000		0,000	0,000
Cobre	Pearson	0,548 [*]	0,912 ^{**}	0,944 ^{**}	1	0,909 ^{**}
	Sig. (bilateral)	0,034	0,000	0,000		0,000
Cromo	Pearson	0,643 ^{**}	0,966 ^{**}	0,931 ^{**}	0,909 ^{**}	1,00
	Sig. (bilateral)	0,010	0,000	0,000	0,000	

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Los autores.

De acuerdo con De Miguel et al. (1997), factores como la temperatura elevada y la exposición a la intemperie aceleran los procesos de corrosión, lo que provoca desgaste de partes metálicas que en muchos casos consisten en aleaciones de Zn, Cu, Ni, etc., que finalmente termina en la liberación de los metales al medio ambiente urbano y a la acumulación en el polvo de la calle. En general, el tráfico y las actividades que se desarrollan en los diferentes sectores son las principales fuentes de los metales pesados. Finalmente, el caso del Pb se ha venido asociando con restos de combustibles y producto del escape de los automóviles, sin embargo el cambio gradual a combustibles libres de Pb, deja el interrogante de cuál es la fuente principal de este metal especialmente en el sector SP donde se presentaron las concentraciones más altas.

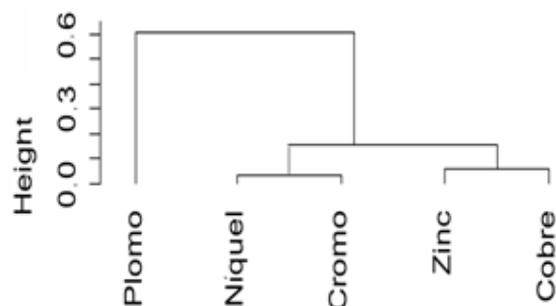


Figura 2. Dendrograma de metales pesados presentes en el polvo vial de tres sectores de Villavicencio (n = 15).

Fuente: Los autores.

El análisis de conglomerados que se presenta en la **Figura 2**, muestra la formación de dos agrupaciones, en la primera está el Pb y en la segunda el Ni, el Cr, el Zn y el Cu, estos cuatro presentaron correlaciones mayores a 80%. Asimismo, el Ni y el Cr forman una subagrupación consistente con el $r = 0,944$, y con lo mencionado por Gonelli y Renella (2013), sobre el uso de estos metales en pinturas y en aplicaciones metálicas de automóviles; asimismo, el Zn y el Cu forman otra de las subagrupaciones con $r = 0,966$; estos cuatro metales están directamente relacionados en compuestos vinculados con los neumáticos de automóviles, pastillas de frenos, aceites y grasas y recubrimientos (Zafra et al., 2013a). El Pb se mantiene en solitario, lo que puede indicar que la fuente probable sea diferente a los demás. En el sector SP, donde se encontraron las mayores concentraciones de estos metales, podría asociarse como se ha presentado anteriormente con la presencia de hidrocarburos y algunos derivados sobre la superficie de las vías y limaduras metálicas relacionadas con la actividad y los servicios de reparación que se prestan sobre las vías del sector.

CONCLUSIONES

Los sedimentos viales son un factor que aumenta con el crecimiento y la dinámica de las ciudades y puede ser responsable de numerosos impactos ambientales. En la ciudad de Villavicencio se encontró que las mayores concentraciones de metales pesados, especialmente Pb, en el polvo vial se encontraron en el sector Porvenir (SP), lugar con una actividad de mecánica automotriz “rudimentaria” y mala disposición de los residuos que se generan. Asimismo, se podría considerar que la procedencia en general de Pb, Zn, Cu, detectados en las zonas estudiadas es de fuentes antrópicas.

La ciudad de Villavicencio a pesar de tener un menor tamaño poblacional en comparación con otras ciudades donde se han estudiado metales pesados en el polvo vial como Soacha, Palermo y Porto Alegre, presenta concentraciones superiores de Pb, Cu y Zn. Esta condición plantea una alerta sobre las fuentes y cómo se debe gestionar este tipo de residuos en la ciudad con

el fin de evitar las consecuentes problemáticas asociadas a la salud humana y al deterioro de sus sistemas naturales.

De igual forma, queda abierta la necesidad de que en el país se considere una normatividad específica para el caso de los metales pesados en sedimentos y suelos urbanos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero de Ecopetrol S.A., mediante el convenio con la Universidad de los Llanos N° 5211592, de la misma manera al personal del Laboratorio Químico de Consultas Industriales – UIS, y al Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana de la Universidad de los Llanos.

REFERENCIAS

- Abdel-Latif, N. M. y Saleh, I. A. (2012). Heavy Metals Contamination in Roadside Dust along Major Roads and Correlation with Urbanization Activities in Cairo, Egypt. *Journal of American Science*, 8(6).
- Acosta, J. A., Faz, A., Kalbitz, K., Jansen y Martínez-Martínez, S. (2014). Partitioning of heavy metals over different chemical fraction in street dust of Murcia (Spain) as a basis for risk assessment. *Journal of Geochemical Exploration*, 144, Part B, 298-305.
- Alcaldía de Villavicencio. (2013a). Formulación del plan de movilidad para el municipio de Villavicencio. Informe Diagnostico N° 2.
- Alcaldía de Villavicencio. (2013b). Síntesis Diagnóstica NORTE Plan de Ordenamiento Territorial Villavicencio. Colombia.
- Atiemo, M. S., Ofosu, G. F., Kuranchie-Mensah, H., Tutu, A. O., Palm, N. D. y Blankson, S. A. (2011). Contamination assessment of heavy metals in road dust from selected roads in Accra, Ghana. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 3(5), 473-480.
- Ball, J. E., Jenks, R. y Aubourg, D. (1998). An assessment of the availability of pollutant constituents on road surfaces. *Science of the Total Environment*, 209(2), 243-254.
- Christoforidis, A. y Stamatis, N. (2009). Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. *Geoderma*, 151(3), 257-263.
- DANE. (2010). Proyecciones demográficas por municipio basadas en el censo del año 2005. Recuperado de www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla_06_20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xls
- De Miguel, E., Llamas, J. F., Chacón, E., Berg, T., Larssen, S., Røyset, O. y Vadset, M. (1997). Origin and patterns of distribution

- of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment*, 31(17), 2733-2740.
- Decreto 831/1993, Decreto Reglamentario de la Ley 24.051 sobre régimen de desechos peligrosos, Niveles guía de calidad suelos (ug/g peso seco). Argentina 1993.
 - Duong, T. T. y Lee, B. K. (2011). Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 554-562.
 - Fadigas, F. D. S., Amaral Sobrinho, N. M. B., Mazur, N., Anjos, L. H. C. y Freixo, A. A. (2006). Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 10(3), 699-705.
 - Fergusson, J. E. y Ryan, D. E. (1984). The elemental composition of street dust from large and small urban areas related to city type, source and particle size. *Science of the total environment*, 34(1), 101-116.
 - García Martínez, L. L. y Poletto, C. (2014). Assessment of diffuse pollution associated with metals in urban sediments using the geoaccumulation index (Igeo). *Journal of Soils and Sediments*, 1-7.
 - Hewitt, C. N. y Rashed, M. B. (1991). The deposition of selected pollutants adjacent to a major rural highway. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 25(5), 979-983.
 - Khairy, M. A., Barakat, A. O., Mostafa, A. R. y Wade, T. L. (2011). Multielement determination by flame atomic absorption of road dust samples in Delta Region, Egypt. *Microchemical Journal*, 97(2), 234-242.
 - Liu, Y., Chen, L., Zhao, J., Wei, Y., Pan, Z., Meng, X. Z., Huangb, Q. y Li, W. (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface soil of Shanghai, China: concentrations, distribution and sources. *Organic Geochemistry*, 41(4), 355-362.
 - López de Romaña, D., Castillo D., C. y Diazgranados, D. (2010). El zinc en la salud humana. *Rev Chil Nutr*, 37, 234-9.
 - NOM-147-SEMARNA T/SSA1-2004. Diario Oficial. 2 de Marzo de 2007. Segunda Edición.
 - Pant, P. y Harrison, R. M. (2013). Estimation of the Contribution of Road Traffic Emissions to Particulate Matter Concentrations from Field Measurements: A Review. *Atmospheric Environment*, 49, 1-12.
 - Rasmussen, P. E., Subramanian, K. S. y Jessiman, B. J. (2001). A multi-element profile of house dust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada. *The Science of the Total Environment*, 267, 125-140.
 - Rissler, J., Swietlicki, E., Bengtsson, A., Boman, C., Pagels, J., Sandstrom, T., Blomberg, A. y Londahl, J. (2012). Experimental determination of deposition of diesel exhaust particles in the human respiratory tract. *Journal of Aerosol Science*, 48, 18-33.
 - Rueda, G., Rodríguez, J. A. y Madriñán, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*, 60(3), 203-218.
 - Saeedi, M., Li, L. Y. y Salmanzadeh, M. (2012). Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of hazardous materials*, 227, 9-17.

- Sartor, J. D., Boyd, G. B. y Agardy, F. J. (1974). Water pollution aspects of street surface contaminants. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 458-467.
- Varrica, D., Dongarra, G., Sabatino, G. y Monna, F. (2003). Inorganic geochemistry of roadway dust from the metropolitan area of Palermo, Italy. *Environmental Geology*, 44(2), 222-230.
- Vaze, J. y Chiew, F. H. (2002). Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface. *Urban Water*, 4(4), 379-389.
- Wei, B., y Yang, L. (2010). A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal*, 94(2), 99-107.
- Yekeen, T. A. y Onifade, T. O. (2012). Evaluation of some Heavy Metals in Soils along a Major Road in Ogbomoso, South West Nigeria. *Journal of Environment & Earth Science*, 2(8), 71-79.
- Zafra Mejía, C. A., Luengas Pinzón, E. C. y Temprano González, J. (2013a). Influencia del tráfico en la acumulación de metales pesados sobre vías urbanas: Torrelavega (España)-Soacha (Colombia). *Revista Facultad de Ingeniería*, 67, 146-160.
- Zafra Mejía, C. A., Peña Valbuena, N. Á. y Álvarez Prieto, S. (2013b). Contaminación por metales pesados en los sedimentos acumulados sobre el corredor vial Bogotá-Soacha. *Tecnura*, 17(37), 99-108.
- Zafra Mejía, C. A., Rodríguez Chitiva, L. G., y Torres Cabrera, Y. A. (2013c). Metales pesados asociados con las partículas atmosféricas y sedimentadas de superficies viales: Soacha (Colombia). *Revista Científica*, 17, 113-124.

-
1. Convenio 5211592 - Universidad de los Llanos y Ecopetrol, "Identificación de alternativas de manejo ambiental de los ríos Guayuriba y Ocoa y Caño Quenane-Quenanito de la cuenca del río Meta, Orinoco, basado en estrategias educativas investigativas y de proyección social".
 2. Ingeniero Agrónomo, Universidad de los Llanos. M.Sc en Ciencias Ambientales. Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana. Grupo de Investigación en Gestión Ambiental Sostenible –GIGAS–. jmtrujillo18@gmail.com
 3. Biólogo, Universidad Nacional de Colombia. Ph.D en Energía y Tecnologías del Medio Ambiente para el Desarrollo. Docente Investigador. Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana. Grupo de Investigación en Gestión Ambiental Sostenible –GIGAS–. mtorres38@gmail.com

Para citar este artículo: Trujillo-González, J. M. y Torres-Mora, M. A. (2015). Evaluación de metales pesados acumulados en polvo vial en tres sectores de la ciudad de Villavicencio, Colombia. *Revista Luna Azul*, 41, 296-308. Recuperado de <http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=content&task=view&id=1067>