ÁREA AMBIENTAL

ANÁLISIS COMPARATIVO DE METALES PESADOS EN EL POLVO VIAL DE DOS MUNICIPIOS DEL META, COLOMBIA

COMPARATIVE ANALYSIS OF HEAVY METALS IN ROAD DUST OF TWO MUNICIPALITIES OF META, COLOMBIA

Juan Manuel Trujillo-González
Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana, Colombia
jtrujillo@unillanos.edu.co

Uwerney Sastre-Piñeros
Universidad de los Llanos, Colombia
uwerney.sastre@unillanos.edu.co

Francisco José Morales-Espitia
Universidad de los Llanos, Colombia
francisco.morales@unillanos.edu.co

Revista de Investigación Agraria y Ambiental
vol. 16, núm. 1, p. 339 - 356, 2025
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia
ISSN: 2145-6097
ISSN-E: 2145-6453
Periodicidad: Semestral
riaa@unad.edu.co

Recepción: 11 junio 2024
Aprobación: 16 agosto 2024
Publicación: 19 diciembre 2024

DOI: https://doi.org/10.22490/21456453.8243

URL: https://portal.amelica.org/ameli/journal/130/1305272016/

Resumen: Contextualización: el polvo de los caminos es una fuente importante de contaminantes que tienen el potencial de afectar tanto la salud pública como los recursos naturales. Este estudio tiene como objetivo evaluar la presencia de contaminación por metales pesados en el polvo de carreteras recolectado en dos localidades del Meta, Colombia.
Vacío de conocimiento: en las zonas urbanas de Colombia aún quedan interrogantes sin respuesta sobre la distribución y concentración de metales pesados, a pesar de la creciente preocupación por la contaminación ambiental. Esta investigación contribuye al establecimiento de una base de información para la toma de decisiones en un esfuerzo por preservar la integridad de los entornos urbanos.
Propósito: el objetivo de este estudio es determinar las concentraciones de cinco metales pesados: cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn) en el polvo encontrado en las calles con mayor actividad comercial de Puerto López y Puerto Gaitán. Además, la investigación tiene como objetivo evaluar los niveles de contaminación mediante la utilización del Factor de Contaminación (FC) y el Índice de Carga Contaminante (PLI).
Metodología: se recolectaron un total de 24 muestras de polvo vial en las carreteras principales de dos municipios; además, se analizaron las concentraciones de los metales pesados mediante espectroscopia de absorción atómica, siguiendo los procedimientos EPA 3050B y EPA 7000B.
Resultados y conclusiones: los resultados revelaron que Puerto López exhibió las concentraciones más altas de Zn (83,9 mg kg^{-1}), Pb (20,9 mg kg^{-1}), Cu (16,3 mg kg^{-1}) y Ni (11,3 mg kg^{-1}), mientras que Puerto Gaitán mostró la mayor concentración de Cr (9,5 mg kg^{-1}). El Zn, Cu y Pb fueron los metales encontrados en mayores concentraciones para los dos municipios. Con base en el estudio de FC y PLI se determinó

AmeliCA Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica
PDF generado a partir de XML-JATS4R

que Puerto López presenta elevados niveles de contaminación, particularmente en lo que respecta a Zn y Cu. En general, este estudio ofrece información esencial sobre la presencia de metales pesados en el polvo vial de dos municipios del Meta y aborda la falta de conocimiento sobre la condición ambiental de áreas con alta actividad industrial. Los resultados enfatizan la necesidad de implementar medidas para mitigar la contaminación y salvaguardar la salud pública.

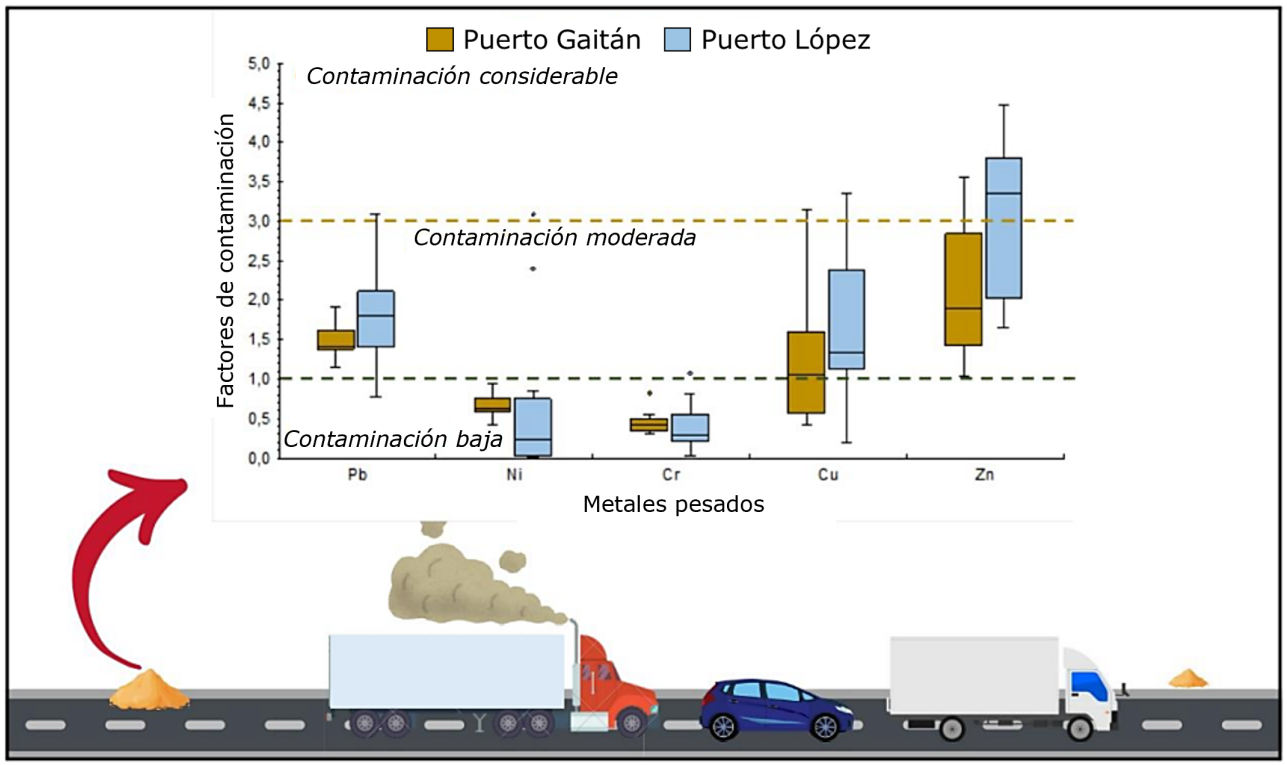
Palabras clave: contaminación urbana, elementos traza, Índice de Carga Contaminante (PLI), índice de contaminación.

Abstract: Contextualization: Road dust is an important source of pollutants that have the potential to impact both public health and natural resources. This study aims to assess the presence of heavy metal pollution in road dust collected from two localities in Meta, Colombia.
Knowledge gap: In urban areas of Colombia, there are still unanswered questions regarding the distribution and concentration of heavy metals, despite the increasing concern regarding environmental pollution. This investigation contributes to the establishment of a foundation of information for decision-making to preserve the integrity of urban environments.
Purpose: The objective of this study is to determine the concentrations of five heavy metals chromium (Cr), copper (Cu), nickel (Ni), lead (Pb) and zinc (Zn) in the dust found on the main streets of Puerto López and Puerto Gaitán. Additionally, the research aims to assess the pollution levels by utilizing the pollution factor (FC) and the pollutant load index (PLI).
Methodology: A total of 24 road dust samples were collected from the main roads of two municipalities. The concentrations of heavy metals were analyzed using atomic absorption spectroscopy, following the EPA 3050B and EPA 7000B procedures.
Results and conclusions: The results revealed that Puerto López exhibited the highest concentrations of Zn, Pb, Cu, and Ni, and Puerto Gaitán showed the highest concentration of Cr. Zn, Cu, and Pb were the metals found in the highest concentrations for the two municipalities. Based on the FC and PLI study, it was determined that Puerto López exhibits elevated levels of pollution, particularly about Zn and Cu. Overall, this study offers essential information on the presence of heavy metals in road dust in two municipalities in Meta. It addresses a lack of knowledge regarding the environmental condition of areas with high industrial activity. The results emphasize the necessity of implementing measures to mitigate pollution and safeguard public health.

Keywords: Pollutant Load Index (PLI), pollution index, trace elements, urban pollution .

AmeliCA Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica
PDF generado a partir de XML-JATS4R

RESUMEN GRÁFICO



autores

1. INTRODUCCIÓN

El polvo de las carreteras representa una fuente significativa de contaminación atmosférica con impactos adversos en la calidad ambiental (Sánchez-Duque et al. 2015), que consisten en una mezcla de contaminantes de fuentes naturales y antrópicas (Su et al., 2020). Estas partículas pueden contener diversos contaminantes como metales pesados, hidrocarburos y compuestos orgánicos volátiles, los cuales suponen riesgos potenciales para la salud humana y el medioambiente (Kim et al., 2020; Men et al., 2021). Además, pueden transportar a otras partículas resuspendidas de diferentes fuentes, procedentes de zonas industriales contaminadas (Rienda y Alves, 2021). El tráfico vehicular aporta de manera significativa a través de las emisiones de los vehículos, aerosoles, partículas de desgaste de neumáticos, partículas de desgaste de frenos y partículas de superficies erosionadas del asfalto (Zafra-Mejía et al., 2013).

La contaminación por polvo de carreteras se ha investigado durante varias décadas (Arslan, 2001; Rasmussen et al., 2001; Ordoñez et al., 2003; Charlesworth et al., 2003; Shi et al., 2008; Amato et al., 2009), sin embargo, solo recientemente ha aumentado sustancialmente (Kamani et al., 2018; Kabir et al., 2021; Suvetha et al., 2022; Skorbiłowicz et al., 2023; Alves et al., 2024).

AmeliCA Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica
PDF generado a partir de XML-JATS4R

La investigación alrededor de este tópico en Colombia es limitada, especialmente en municipios pequeños (Zafra-Mejía et al., 2013; Trujillo-González et al., 2016; Vanegas et al., 2021; Osorio-Martínez et al., 2021). Todas estas investigaciones coinciden en que el flujo, el tipo y las actividades económicas relacionadas a los vehículos afectan las concentraciones de metales pesados y la calidad ambiental. Según Trujillo-González et al. (2016; 2019), las mayores cargas de contaminantes metálicos en Villavicencio, Colombia se concentran en sectores comerciales de alto flujo vehicular y servicios de mecánica automotriz, de tal manera que los elementos de mayor abundancia son el plomo (Pb), el cobre (Cu) y el zinc (Zn). Por lo tanto, se necesitan estudios exhaustivos del contenido de metales pesados en el polvo de las carreteras para determinar la posible contaminación, que a su vez permitan generar estrategias con base normativa para su mitigación.

En el departamento del Meta, los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán están ubicados en puntos estratégicos de la carretera Ruta 40 en los Llanos (Jaramillo, 2021). Esta se ha convertido en punto de tránsito de vehículos particulares, públicos y pesados que transportan alimentos, materiales, cosechas de maíz, soya e insumos asociados a la industria de los hidrocarburos. Toda esta dinámica económica generada en la carretera mencionada ha promovido el desarrollo económico así como el aumento de la población en los municipios nombrados (Amaya et al., 2023).

A partir de esto, el presente estudio se plantea como objetivos: primero, determinar las concentraciones de cinco metales pesados: cromo (Cr), níquel (Ni), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn), en calles principales de los municipios Puerto López y Puerto Gaitán en el departamento del Meta en Colombia; y segundo, evaluar los niveles de contaminación de los cinco metales pesados en términos de factor de contaminación (FC) e índice de carga contaminante (PLI). Estos estudios proporcionan datos concretos sobre los niveles de contaminantes presentes en el aire, permitiendo garantizar un ambiente más limpio y saludable para las comunidades cercanas a las vías de tráfico vehicular.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en las calles principales, con mayor actividad comercial, de los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán en el departamento del Meta, Colombia. Ubicados en el centro oriente de Colombia, en las coordenadas 4°05′23″ N - 72°57′43″ W y 4°19'1" N - 72° 4' 59" O, respectivamente (Figura 1).

En el caso de Puerto López, se encuentra ubicado a 78 kilómetros de Villavicencio, la capital del Meta, este municipio es conocido por su producción agroindustrial, donde destacan los cultivos de arroz, maíz, soya, producción de cerdos y bovinos (Castro-Garzón, 2020). Se encuentra a una altitud de 365 metros sobre el nivel del mar (msnm), cuenta con un clima cálido y húmedo, con una temperatura promedio anual de 26,5 °C (Rendón-Acevedo et al., 2024). La precipitación oscila entre 2100 y 2300 mm/año, distribuidos en aproximadamente 120 días al año; en los meses de junio y julio se presentan las precipitaciones mayores, mientras que enero y febrero son los más secos (Alcaldía de Puerto López, 2024).

Por su parte, Puerto Gaitán se localiza a 195 km de la capital del Meta, este se destaca por su producción de hidrocarburos y su rápido progreso económico. Se ubica aun altitud de 149 msnm, con una temperatura media anual de 26,7 °C. El municipio presenta precipitaciones entre los 1900 mm y 2200 mm por año, en gran parte de su territorio. Debido a su posición geográfica y relieve, presenta lluvias prolongadas en los meses de marzo hasta noviembre (Rendón-Acevedo et al., 2024).

AmeliCA Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica
PDF generado a partir de XML-JATS4R

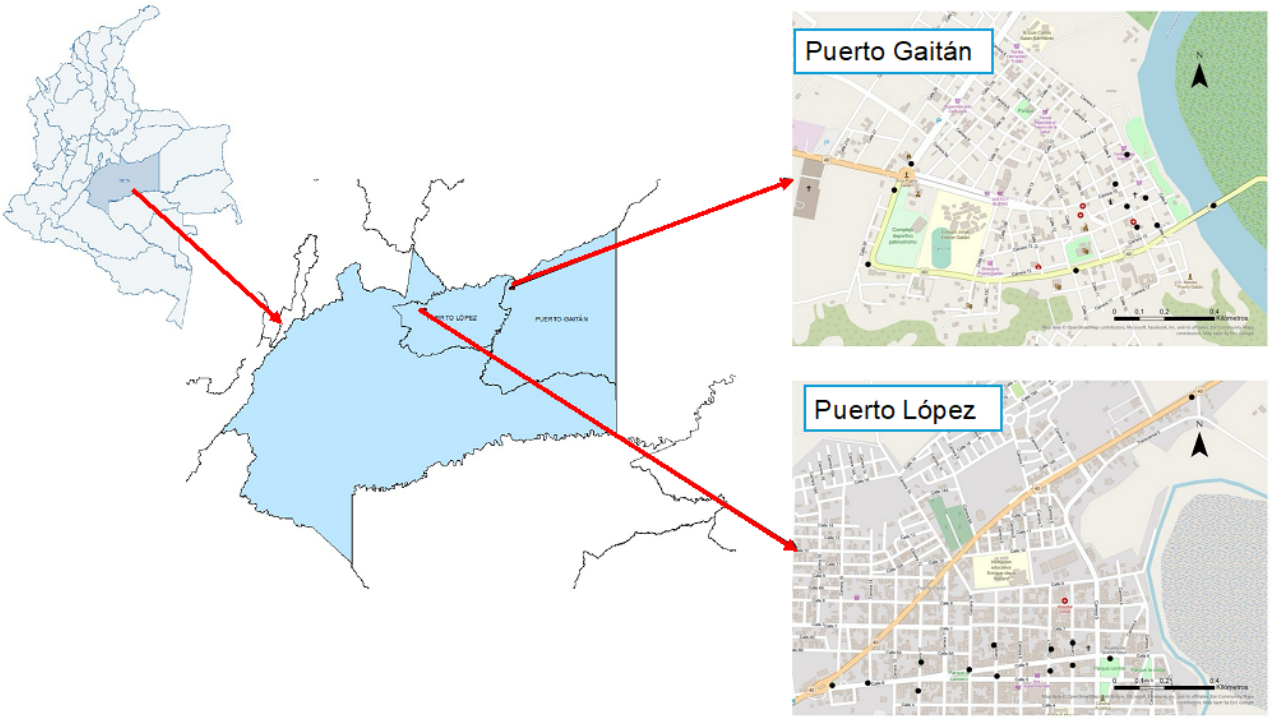


Figura 1.
Localización del área de estudio municipio de Puerto López y Puerto Gaitán, Meta, Colombia.
autores.

Diseño de muestreo

Un total de 24 muestras de polvo de carretera fueron colectadas en las principales vías, trece en el municipio de Puerto López y once en Puerto Gaitán. Para esto, se utilizaron cepillos y recolectores libres de partículas adicionales con el fin de recoger 200 gramos de polvo directamente de la superficie de la carretera. Se tomaron cinco submuestras en cada estación a lo largo de un tramo de 100 metros. Posteriormente, todas las muestras de cada estación se combinaron en una sola muestra. Los sitios de muestreo se referenciaron utilizando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

En los sitios de recolección no se produjeron precipitaciones en la última semana ni durante el periodo de muestreo. Todas las muestras se almacenaron en bolsas de polietileno y se uniformó el material pasándolo por un tamiz de 2,0 mm para eliminar impurezas de mayor tamaño como material orgánico, piedras, alambres, trozos de plástico, astillas de madera, entre otros. Después, el material se selló en bolsas de polietileno para su almacenamiento a temperatura ambiente antes de ser analizadas en laboratorio.

Análisis químico

AmeliCA Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica
PDF generado a partir de XML-JATS4R

Las determinaciones de las concentraciones de metales pesados Pb, Ni, Cr, Cu y Zn, siguieron los procedimientos de la EPA 3050B y EPA 7000B (ácido nítrico bidestilado HNO_3, ácido clorhídrico HCl y peróxido de hidrógeno H_2O_2; 30%). La determinación se realizó mediante espectroscopia de absorción atómica con un horno de grafito (AAS-HG) en un equipo Agilent FS240 (AAS-HG). Los límites de detección fueron: 0,01 para Pb; 0,12 para Ni; 0,12 para Cr; 0,03 para Cu; y 0,06 para Zn. Todas las extracciones y análisis se realizaron con réplicas en muestras de laboratorio. El control de calidad se aseguró mediante el empleo de duplicados. La exactitud y precisión de los resultados analíticos se verificaron empleando un blanco de reactivo y múltiples materiales de referencia certificados. Un examen de materiales de referencia reconocidos (estándares de alta pureza) reveló que la recuperación fue del 100 ± 20%. Los productos químicos utilizados fueron de grado analítico.

Evaluación de la contaminación

El índice Factor de Contaminación (FC), conocido como índice de contaminación-PI, evalúa la correlación directa entre la concentración determinada y el valor de referencia. El factor de contaminación del metal i se denomina CFi. La variable "Ci" representa la concentración de metal en la muestra, mientras que "Coi" denota el valor de fondo del metal i, como se ilustra en la Ecuación 1.

$$CF_i = \frac{C_i}{C_{oi}} \quad \text{(Ecuación 1).}$$

La evaluación de los niveles de contaminación por metales en las áreas de estudio se realiza mediante el índice de carga contaminante (PLI), índice capaz de integrar más de dos elementos. Su cálculo se realiza utilizando las ecuaciones descritas por Tomlinson et al. (1980). En cada elemento considerado, el factor de contaminación se denota como CF como se indica en la Ecuación 2.

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \ldots \times CF_n} \quad \text{(Ecuación 2).}$$

La interpretación de los índices se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1.
Categorías de los índices Factor de contaminación CF e Índice de carga de contaminación

AmeliCA Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica
PDF generado a partir de XML-JATS4R

CF	Categoría	PLI	Categoría
< 1	Contaminación baja	PLI ≤ 1	No contaminación
1 < CF < 3	Contaminación moderada	1 < PLI ≤ 2	Contaminación ligera
3 < CF < 6	Contaminación considerable	2 < PLI ≤ 3	Contaminación moderada
> 6	contaminación muy alta	PLI > 3.	Fuerte contaminación

Tomlinson et al. (1980).

Análisis estadístico

Los datos recopilados fueron analizados para las estadísticas inferenciales. Utilizando el software IBM SPSS Statistics 25.0 se determinaron la media, la desviación estándar, el coeficiente de variación (%) y el coeficiente de asimetría, Curtosis, Mínimo, Máximo, y también se realizó una prueba de Shapiro-Wilk para contrastar la normalidad de las concentraciones de metales pesados en polvo de carretera. Las diferencias significativas entre los valores medios se evaluaron mediante la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney. Finalmente, se realizó el análisis de correlación de Spearman.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentraciones de metales pesados

En la Tabla 2 y Figura 2, se presentan los estadísticos descriptivos y los resultados de la prueba de la U de Mann-Whitney (α=0,05) para las concentraciones de metales pesados en polvo de carretera, también conocidos como sedimentos viales. Este estudio constituye una evaluación preliminar para los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán, que en las últimas décadas se han convertido en lugares estratégicos para el desarrollo de los sectores hidrocarburos y agroindustrial.

Puerto López mostró las concentraciones más altas de Zn (83,9 mg kg^{-1}), Pb (20,9 mg kg^{-1}), Cu (16,3 mg kg^{-1}), y Ni (11,3 mg kg^{-1}); mientras que Puerto Gaitán presentó la mayor concentración de Cr (9,5 mg kg^{-1}). No obstante, el Zn, Cu, y Pb fueron los metales más abundantes en ambos municipios. Estas concentraciones están asociadas al flujo vehicular y al desgaste gradual de componentes de vehículos, frenos, neumáticos, y pinturas (Faiz et al., 2009; Jeong y Ra, 2021). Trujillo-González et al. (2019) vinculó estas concentraciones de metales a zonas de la ciudad de Villavicencio donde se prestan servicios de mecánica automotriz y donde los sistemas de gestión de residuos, como pinturas, grasas y aceites, son deficientes.

Los porcentajes de los coeficientes de variación mostraron una variabilidad considerable entre los puntos de monitoreo para cada metal. En Puerto López, el Cr alcanzó un CV del 77,9%, mientras que la menor variabilidad la presentó el Zn con un CV del 32,5%, lo que sugiere que las actividades específicas en cada sector influyen en la concentración de los metales pesados (Martínez y Poleto, 2014). En Puerto Gaitán, el Pb y el Ni presentaron los menores CV, con 14,8% y 22,5%, respectivamente. Los datos de coeficientes de asimetría y curtosis indican que las concentraciones de metales pesados en ambos municipios no siguen una distribución normal, lo cual es una tendencia común en variables geoquímicas (Zuo y Xiong, 2020).

Tabla 2.

AmeliCA Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica
PDF generado a partir de XML-JATS4R

Estadística descriptiva y análisis de diferencia de medias con prueba U de Mann-Whitney (a 0,05) para metales pesados en polvo de carretera

Municipio	Estadísticos	Metales pesados (mg kg^{-1})				
		Pb	Ni	Cr	Cu	Zn
Puerto López	Media	20,9[a]	11,3[a]	8,1[a]	16,3[a]	83,9[a]
	DS	7,1	7,4	6,3	8,9	27,3
	CV %	34,2	65,5	77,9	54,3	32,5
	Coeficiente de asimetría	0,7	3,0	1,4	0,5	0,0
	Curtosis	0,7	9,8	1,2	-0,3	-1,7
	Min	8,7	4,9	0,7	1,9	46,4
	Max	34,9	34,6	22,7	33,1	126,0
Puerto Gaitán	Media	16,7[a]	6,5[b]	9,5[a]	11,6[a]	59,8[b]
	DS	2,5	1,5	3,0	7,9	23,6
	CV %	14,8	22,5	31,5	68,0	39,5
	Coeficiente de asimetría	0,5	0,5	1,7	1,6	0,7
	Curtosis	0,3	1,0	4,0	3,0	-0,7
	Min	12,9	4,2	6,5	4,2	28,9
	Max	21,6	9,5	17,1	31,1	100,0
	Valores de referencia*	11,3	10,2	21,1	9,9	28,2

autores.
* Trujillo-González et al. (2022).

Las concentraciones reportadas para Puerto López estuvieron en su mayoría por encima de los valores de referencia para la región, con exclusión del Cr que estuvo más bajo, mientras que en Puerto Gaitán el Ni y el Cr fueron los metales que no superaron los valores de referencia (Trujillo-González et al., 2022). En el análisis comparativo de los resultados se comprobó mediante la prueba de Shapiro-Wilk que la matriz de datos no presentaba una distribución normal; mediante la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney (α = 0,05) se estableció que las concentraciones de Pb (p = 0,055), Cu (p = 0,186) y Cr (p = 0,063) en los dos municipios no presentaban diferencia significativa; mientras que el Ni (p = 0,001) y Zn (p = 0,022) sí mostraron diferencias estadísticas.

En la Tabla 3, se presentan los resultados de la correlación de Spearman, donde todos los metales están asociados positivamente, y de estos las parejas Ni-Zn (0,599), Cu-Zn (0,565), Pb-Zn (0,458) y Ni-Cr (0,441) presentaron una correlación moderada con un nivel de significancia de P < 0,01. Por su parte, Pb-Ni (0,383) presentan correlación baja (P < 0,01). Las relaciones generadas están vinculadas a desgastes de neumáticos, pinturas y aceites de vehículos (Gohain y Deka, 2020; Jeong, 2022), y a desgaste de pavimentos (Fiala y Hwang, 2021).

Tabla 3.
Coeficientes de correlación de Spermean entre concentraciones de metales pesados en polvo de carretera de Puerto López y Puerto Gaitán Meta, Colombia (n = 24)

AmeliCA Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica
PDF generado a partir de XML-JATS4R

	Pb	Ni	Cr	Cu	Zn
Pb	1	0.383*	0.287	0.162	0.458**
Ni		1	0.441**	0.291	0.599**
Cr			1	0.127	0.282
Cu				1	0.565**
Zn					1

autores.
* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).
** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

La Figura 2 muestra la distribución de las concentraciones de los metales pesados en las calles principales de los dos municipios, revelando que las mayores concentraciones se localizan en lugares donde se ofertan servicios de mecánica de motos y montallantas. Allí se destacan las concentraciones de Cu, Pb y Zn, mostrando una situación similar a las encontradas por Martínez y Poleto (2014) y Trujillo-González et al. (2019).

AmeliCA Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica
PDF generado a partir de XML-JATS4R

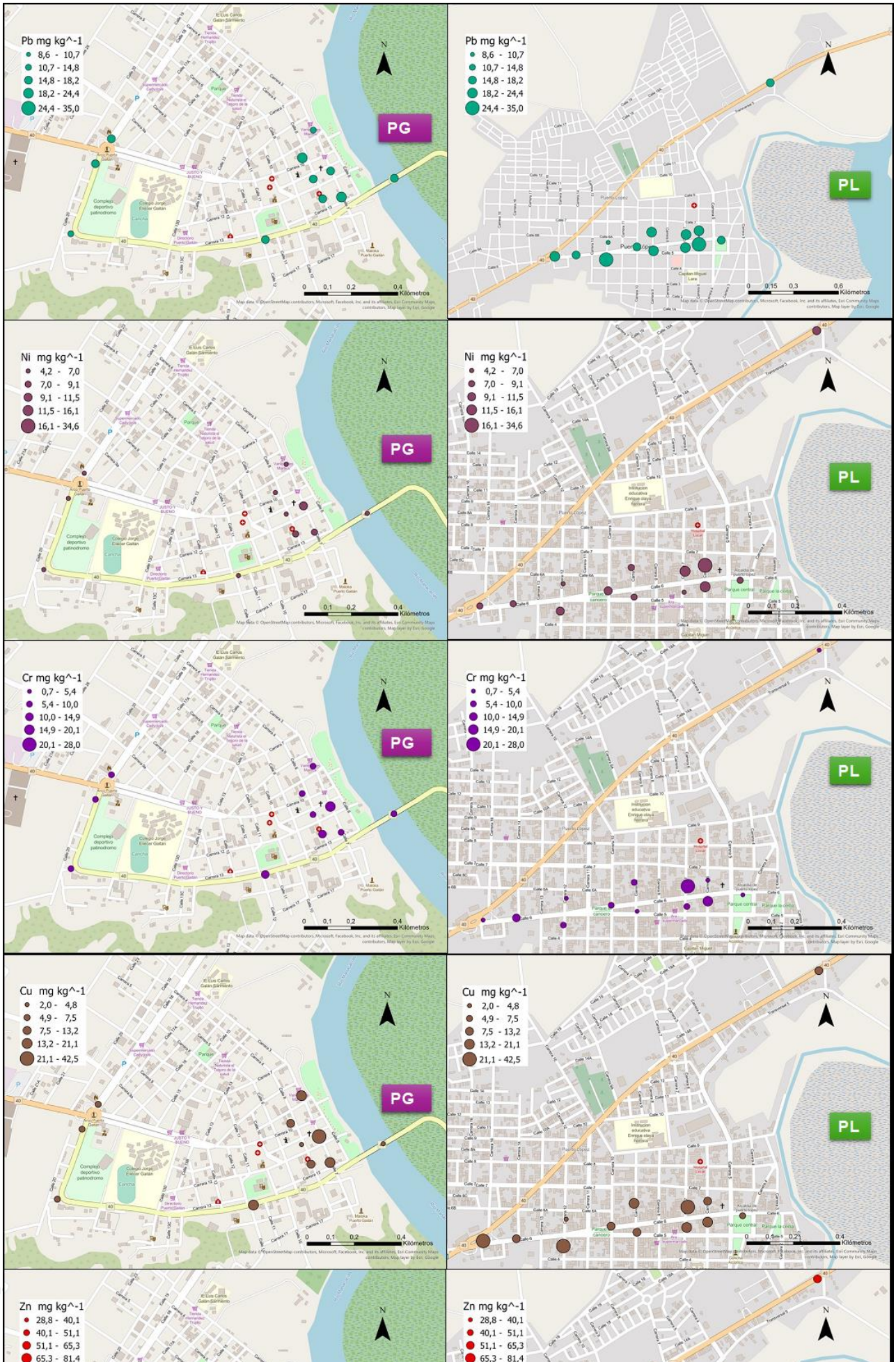

Pb mg kg^-1
8,6 - 10,7
10,7 - 14,8
14,8 - 18,2
18,2 - 24,4
24,4 - 35,0
PG
PL
Ni mg kg^-1
4,2 - 7,0
7,0 - 9,1
9,1 - 11,5
11,5 - 16,1
16,1 - 34,6
Cr mg kg^-1
0,7 - 5,4
5,4 - 10,0
10,0 - 14,9
14,9 - 20,1
20,1 - 28,0
Cu mg kg^-1
2,0 - 4,8
4,9 - 7,5
7,5 - 13,2
13,2 - 21,1
21,1 - 42,5
Zn mg kg^-1
28,8 - 40,1
40,1 - 51,1
51,1 - 65,3
65,3 - 81,4
N
Kilómetros

Figura 2.
Distribución espacial de las concentraciones de metales pesados en polvo de carretera PG (Puerto Gaitán) y PL (Puerto López).
autores.

Evaluación de la contaminación

La evaluación de la contaminación se realizó a través de dos índices ampliamente aplicados en este tipo de estudios, el factor de contaminación que analiza los metales de forma individual y índice de carga de contaminación (PLI en inglés) que entrega un análisis integrado de todos los elementos contemplados en el estudio. El factor de contaminación mostró que el municipio de Puerto López tiene los mayores valores como se muestra en la Figura 3. En el caso del Zn, el 53,8% de los puntos están en la categoría de contaminación considerable, mientras que para el mismo metal en Puerto Gaitán en esta categoría apenas llega al 18.1%. El Cu y el Pb en su mayoría, para los dos municipios, estuvieron en la categoría de contaminación moderada. Finalmente, el Ni y el Cr estuvieron en la categoría de contaminación baja.

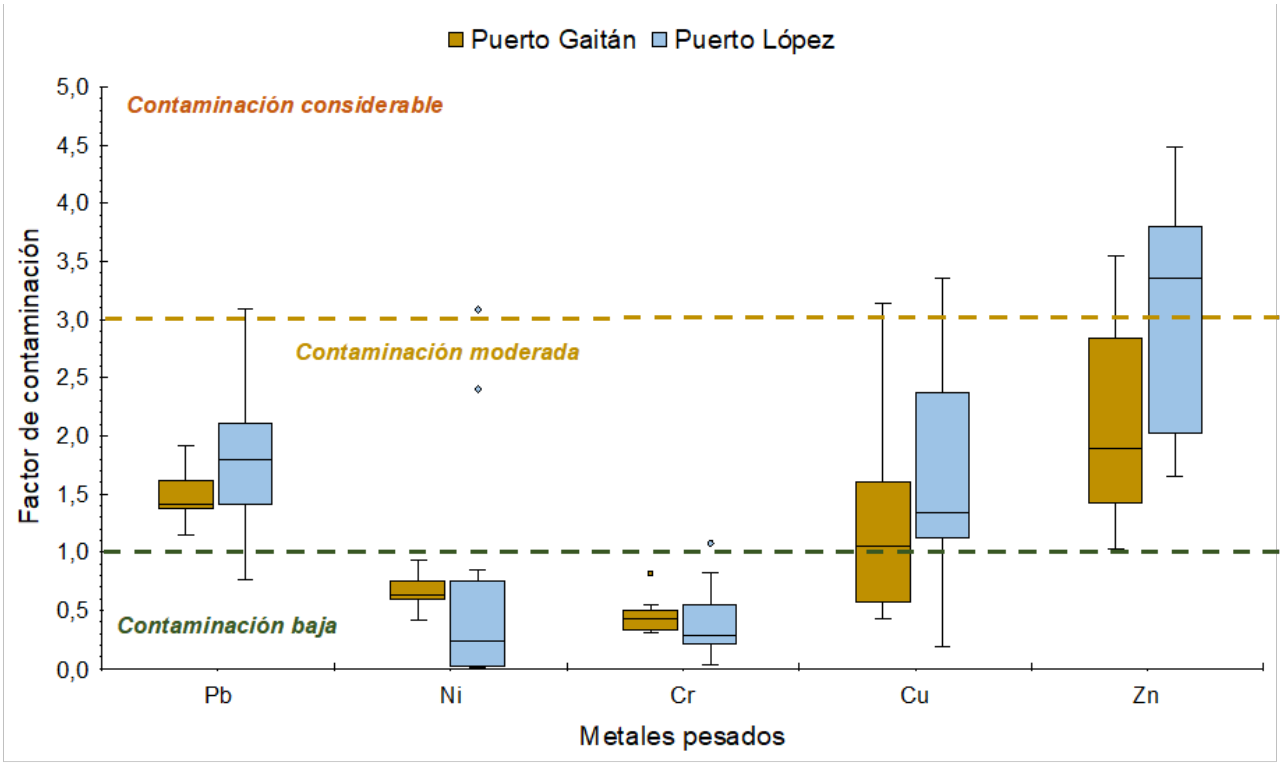


Figura 3.
Factor de contaminación para Pb, Ni, Cr, Cu y Zn en polvo de carretera de Puerto Gaitán y Puerto López, Colombia
autores.

El índice de carga de contaminación permitió tener un panorama completo con los cinco metales pesados estudiados. En la Figura 4 se observa que las concentraciones de metales pesados en el polvo de carretera del municipio de Puerto Gaitán ubican a más del 50% de los datos en la categoría de no contaminado, mientras que Puerto López tiene más del 50% de sus datos en la categoría de contaminación ligera. Esta diferencia puede estar asociada a que la dinámica socioeconómica de Puerto López tiene mayor tradición, mientras que Puerto Gaitán viene desarrollándose recientemente (Rendón-Acevedo et al., 2022).

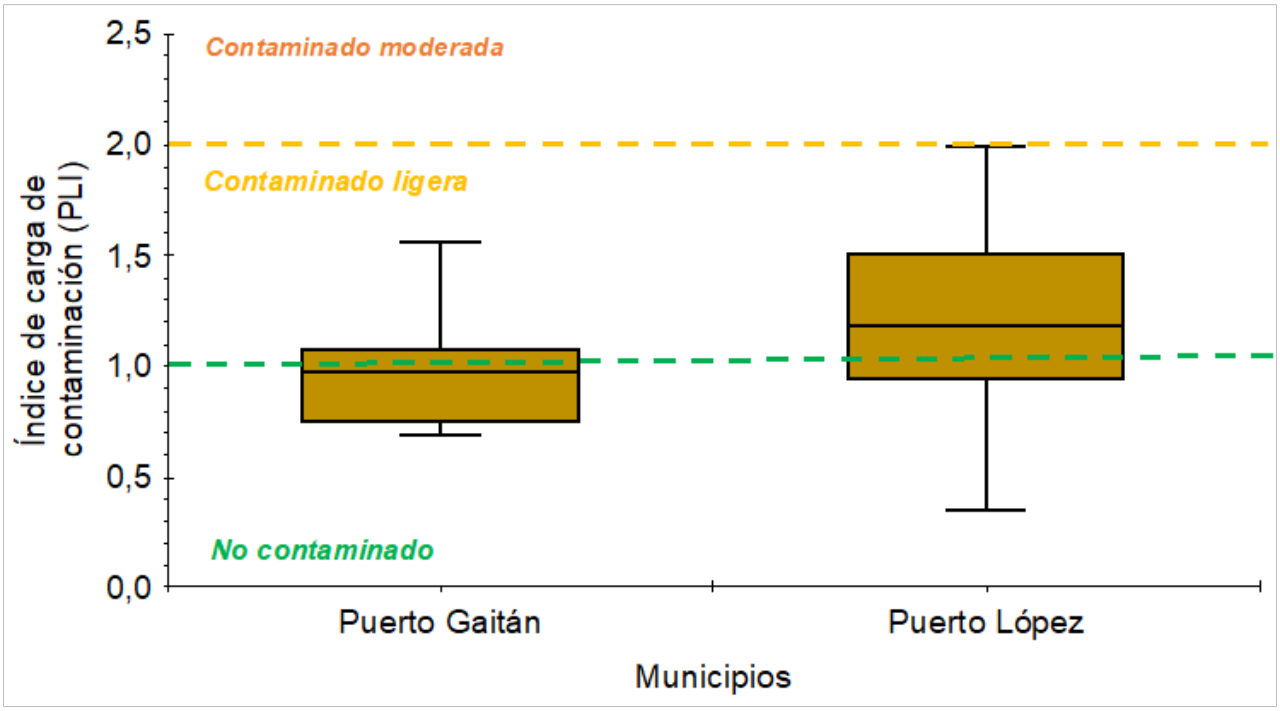


Figura 4.
Índice de carga de contaminación de Pb, Ni, Cr, Cu y Zn en polvo de carretera
autores.

Las concentraciones de metales pesados en el polvo de las carreteras en Puerto López y Puerto Gaitán no indicaron problemas urgentes. El monitoreo periódico es esencial para una gestión ambiental eficaz en la mitigación de riesgos para la salud pública y los ecosistemas (Garg et al., 2022); esta acción permite tomar decisiones rápidas para reducir los riesgos por exposición a altas concentraciones de este tipo de contaminantes (Morrissey et al., 2024), además, contribuye a mejorar la conciencia ambiental de la comunidad, como también, apoya la planificación urbana sostenible y reduce el efecto ambiental de las actividades antropogénicas (Ugochukwu et al., 2024).

4. CONCLUSIONES

AmeliCA Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica
PDF generado a partir de XML-JATS4R

Las concentraciones de metales como Cr, Cu, Ni, Pb y Zn han revelado niveles de contaminación significativos, especialmente en Puerto López donde Zn y Cu presentaron las mayores concentraciones. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar las actividades económicas y el flujo vehicular como factores determinantes en la distribución de metales pesados. El índice de carga contaminante PLI mostró que más del 50% de los puntos están en la categoría de no contaminado para Puerto Gaitán, mientras que en Puerto López se muestra lo contrario donde más del 50% están en la categoría de contaminación ligera.

En futuras investigaciones el aumento de los puntos de muestreo permitirá la identificación de puntos críticos de contaminación y su asociación con las actividades propias de cada municipio. Además, la investigación se centró en un número limitado de metales pesados, dejando de lado otros posibles contaminantes que podrían estar presentes en el polvo vial.

AmeliCA Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica
PDF generado a partir de XML-JATS4R

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero proporcionado por la Universidad de Los Llanos al proyecto C03-F02-010-2022, "Concentración de metales pesados en polvo vial a lo largo de una carretera nacional de importancia económica: caso de estudio, Ruta 40, tramo Villavicencio, Puerto Gaitán.

LITERATURA CITADA

Alcaldía de Puerto López. (2024). *Información del Municipio*. https://www.puertolopez-meta.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx

Alves, C. B. C., Alves, A. B. C., Taira, I. T., de Melo Paulo, K. C., y da Cunha, J. B. (2024). Intoxicação crônica por chumbo após acidente por arma de fogo-relato de caso. *Brazilian Journal of Health Review*, *7*(1), 189-199 https://doi.org/10.34119/bjhrv7n1-015

Amaya-Rivera, L. P., Choperena-Ramos, D. C., y Zuluaga-Arias, E. A. (2023). *Incidencia de las inversiones del sistema general de regalías en el desarrollo socioeconómico en el municipio de Puerto Gaitán, Meta durante los periodos 2016-2022* [Tesis de Especialización en Gerencia Procesos de Calidad e Innovación Virtual] Universidad EAN.

Arslan, H. (2001). Heavy metals in street dust in Bursa, Turkey. *Journal of Trace and Microprobe techniques*, *19*(3), 439-445. https://doi.org/10.1081/TMA-100105058

Castro-Garzón, H., Torres-Flórez, D., y Gallardo-Lichaa, N. J. (2020). Análisis de la intervención antrópica en cuerpos de agua: caso caño Banderas, en el municipio Puerto López (Meta, Colombia). *Tecnura*, 24(65), 77-84. https://doi.org/10.14483/22487638.15772

Charlesworth, S., Everett, M., McCarthy, R., Ordoñez, A., & De Miguel, E. (2003). A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. *Environment international*, *29*(5), 563-573. https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00015-1

Faiz, Y., Tufail, M., Javed, M. T., & Chaudhry, M. M. (2009). Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn along islamabad expressway, Pakistan. *Microchemical Journal, 92*(2), 186-192. https://doi.org/10.1016/j.microc.2009.03.009

Fiala, M., & Hwang, H. M. (2021). Influence of highway pavement on metals in road dust: A case study in Houston, Texas. *Water, Air, & Soil Pollution*, *232*(5), 185. https://doi.org/10.1007/s11270-021-05139-7

Garg, A., Yadav, B. K., Das, D. B., & Wood, P. J. (2022). Improving the assessment of polluted sites using an integrated bio-physico-chemical monitoring framework. *Chemosphere, 290*, 133344. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133344

Gohain, M., & Deka, P. (2020). Trace metals in indoor dust from a university campus in Northeast India: implication for health risk. *Environmental monitoring and assessment*, *192*, 1-14. https://doi.org/10.1007/s10661-020-08684-6

Jaramillo-Silva, C. A. (2021) *La "locomotora del agro" y los centros poblados en los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán (Meta), en el período 2010-2018* [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional de Colombia.

Jeong, H., & Ra, K. (2021). Characteristics of potentially toxic elements, risk assessments, and isotopiccompositions (Cu-Zn-Pb) in the PM10 fraction of road dust in Busan, South Korea. *Atmosphere, 12*(9), 1229. https://doi.org/10.3390/atmos12091229

AmeliCA Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica
PDF generado a partir de XML-JATS4R

Jeong, H. (2022). Toxic metal concentrations and Cu–Zn–Pb isotopic compositions in tires. *Journal of Analytical Science and Technology, 13*, 1-10. https://doi.org/10.1186/s40543-021-00312-3

Kabir, M. H., Kormoker, T., Shammi, R. S., Tusher, T. R., Islam, M. S., Khan, R., Omor, Z. U., Sarker, E., Yesmin, M.,& Idris, A. M. (2021). A comprehensive assessment of heavy metal contamination in road dusts along a hectic national highway of Bangladesh: Spatial distribution, sources of contamination, ecological and human health risks. *Toxin Reviews*, 1-20. https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1952436

Kamani, H., Mirzaei, N., Ghaderpoori, M., Bazrafshan, E., Rezaei, S., & Mahvi, A. H. (2018). Concentration and ecological risk of heavy metal in street dusts of Eslamshahr, Iran. *Human and ecological risk assessment: an international journal*, *24*(4), 961-970. https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1403282

Kim, E. A., & Koh, B. (2020). Utilization of road dust chemical profiles for source identification and human health impact assessment. *Scientific Reports*, *10*(1), 14259. https://doi.org/10.1038/s41598-020-71180-x

Martínez, L., & Poleto, C. (2014). Assessment of diffuse pollution associated with metals in urban sediments using the geoaccumulation index (I). *Journal of Soils & Sediments: Protection, Risk Assessment, & Remediation, 14*(7). https://doi.org/10.1007/s11368-014-0871-y

Men, C., Liu, R., Xu, L., Wang, Q., Guo, L., Miao, Y., & Shen, Z. (2020). Source-specific ecological risk analysis and critical source identification of heavy metals in road dust in Beijing, China. *Journal of hazardous materials, 388*, 121763. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121763

Men, C., Liu, R., Wang, Q., Miao, Y., Wang, Y., Jiao, L., Li, L., Cao L., Shen Z., Li, Y.,& Crawford-Brown, D. (2021). Spatial-temporal characteristics, source-specific variation and uncertainty analysis of health risks associated with heavy metals in road dust in Beijing, China. *Environmental Pollution*, *278*, 116866. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116866

Morrissey, C., Fritsch, C., Fremlin, K., Adams, W., Borgå, K., Brinkmann, M., Eulaers, I., Gobas, F., Moore, D. R. J., Van Den Brink, N., & Wickwire, T. (2024). Advancing exposure assessment approaches to improve wildlife risk assessment. *Integrated Environmental Assessment and Management, 20*(3), 674-698. https://doi.org/10.1002/ieam.4743

Ordoñez, A., Loredo, J., De Miguel, E., & Charlesworth, S. (2003). Distribution of heavy metals in the street dusts and soils of an industrial city in Northern Spain. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, *44*, 0160-0170. https://doi.org/10.1007/s00244-002-2005-6

Osorio-Martinez, J., Silva, L. F., Flores, E. M., Nascimento, M. S., Picoloto, R. S., & Olivero-Verbel, J. (2021). Environmental and human health risks associated with exposure to hazardous elements present in urban dust from Barranquilla, Colombian Caribbean. *Journal of Enviromental Quality,50*(2), 350-363. https://doi.org/10.1002/jeq2.20200

Rasmussen, P. E., Subramanian, K. S., & Jessiman, B. J. (2001). A multi-element profile of house dust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada. *Science of the total environment*, *267*(1-3), 125-140. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00775-0

Rienda, I. C., & Alves, C. A. (2021). Road dust resuspension: A review. *Atmospheric Research*, *261*, 105740. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105740

Rendón-Acevedo, J. A., Gutiérrez-Villamil, S., Mora-Villalobos, C. A., Vergara-Espitia, C. G., Martínez-Prieto, A., y Sierra-Pérez, L. G. (2024). *Municipio de Puerto Gaitán: diagnóstico socioeconómico y de producción agropecuario (2010-2022).* Corficolombiana; Universidad de La Salle. ISBN: 978-628-764-536-3

AmeliCA Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica
PDF generado a partir de XML-JATS4R

Ugochukwu, C. E., Ofodile, O. C., Okoye, C. C., & Akinrinola, O. (2024). Sustainable smart cities: the role of fintech in promoting environmental sustainability. *Engineering Science & Technology Journal*, *5*(3), 821-835. https://doi.org/10.51594/estj.v5i3.906

Sánchez-Duque, A., Bautista, F., Goguitchaichvili, A., Cejudo-Ruiz, R., Reyes-López, J. A., Solís-Domínguez, F. A., y Morales-Contreras, J. J. (2015). Evaluación de la contaminación ambiental a partir del aumento magnético en polvos urbanos. Caso de estudio en la ciudad de Mexicali, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, *32*(3), 501-513. https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2015.3

Shi, G., Chen, Z., Xu, S., Zhang, J., Wang, L., Bi, C., & Teng, J. (2008). Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China. *Environmental Pollution*, *156*(2), 251-260. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.02.027

Skorbiłowicz, M., Trybułowski, Ł., & Skorbiłowicz, E. (2023). Spatial distribution and pollution level of heavy metals in street dust of the city of Suwałki (Poland). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(6), 4687. https://doi.org/10.3390/ijerph20064687

Su, L., Nan, B., Craig, N. J., & Pettigrove, V. (2020). Temporal and spatial variations of microplastics in roadside dust from rural and urban Victoria, Australia: Implications for diffuse pollution. *Chemosphere*, *252*, 126567. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126567

Suvetha, M., Charles, P. E., Vinothkannan, A., Rajaram, R., Paray, B. A., & Ali, S. (2022). Are we at risk because of road dust? An ecological and health risk assessment of heavy metals in a rapid growing city in South India. *Environmental Advances*, *7*, 100165. https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100165

Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R., & Jeffrey, D. W. (1980). Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen, 33*, 566-575. https://doi.org/10.1007/BF02414780

Trujillo-González, J. M., Torres-Mora, M. A., Jiménez-Ballesta, R., & Zhang, J. (2019). Land-use-dependent spatial variation and exposure risk of heavy metals in road-deposited sediment in Villavicencio, Colombia. *Environmental geochemistry and health*, *41*, 667-679. https://doi.org/10.1007/s10653-018-0160-6

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

Trujillo-González, J. M., Torres-Mora, M. A., Serrano-Gómez, M., Fernando Castillo-Monroy, E., & Ballesta, R. J. (2022). Baseline values and environmental assessment for metal (loid) s in soils under a tropical rainy climate in a Colombian region. *Environmental Monitoring and Assessment, 194*(7), 494. https://doi.org/10.1007/s10661-022-10036-5

Vanegas, S., Trejos, E. M., Aristizábal, B. H., Pereira, G. M., Hernández, J. M., Murillo, J. H., Ramírez, O., Amato, F., Silva, L. F. O., Rojas, N. Y., Zafra, C.,& Pachón, J. E. (2021). Spatial distribution and chemical composition of road dust in two high-altitude Latin American cities. *Atmosphere*, *12*(9), 1109. https://doi.org/10.3390/atmos12091109

Zafra-Mejía, C. A., Peña-Valbuena, N. Á., y Álvarez-Prieto, S. (2013). Contaminación por metales pesados en los sedimentos acumulados sobre el corredor vial Bogotá-Soacha. *Tecnura*, *17*(37), 99-108. https://doi.org/10.14483/22487638.6903

Zuo, R., & Xiong, Y. (2020). Geodata science and geochemical mapping. *Journal of Geochemical Exploration, 209*, 106431 https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106431

AmeliCA Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica
PDF generado a partir de XML-JATS4R

Financiamiento
Fuente: Universidad de Los Llanos
Nº de contrato: Proyecto C03-F02-010-2022
Beneficiario: ANÁLISIS COMPARATIVO DE METALES PESADOS EN EL POLVO VIAL DE DOS MUNICIPIOS DEL META, COLOMBIA

Información adicional

CÓMO CITAR: Trujillo-González, J., Sastre-Piñeros, U. y Morales-Espitia, F. (2025). Análisis comparativo de metales pesados en el polvo vial de dos municipios del Meta, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 16(1), 339 - 356. https://doi.org/10.22490/21456453.8243
CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA: **Juan Manuel Trujillo-González**: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Uwerney Sastre-Piñeros**: análisis de datos, escritura. **Francisco José Morales-Espitia**: muestreo, análisis de datos, escritura.
CONFLICTO DE INTERESES: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Enlace alternativo

https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/8243 (html)
https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/8243/7619 (pdf)

AmeliCA Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica
PDF generado a partir de XML-JATS4R

AmeliCA

Disponible en:
https://portal.amelica.org/ameli/ameli/journal/130/1305272016/1305272016.pdf

Cómo citar el artículo

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista en portal.amelica.org

AmeliCA
Ciencia Abierta para el Bien Común

Juan Manuel Trujillo-González, Uwerney Sastre-Piñeros, Francisco José Morales-Espitia

ANÁLISIS COMPARATIVO DE METALES PESADOS EN EL POLVO VIAL DE DOS MUNICIPIOS DEL META, COLOMBIA

COMPARATIVE ANALYSIS OF HEAVY METALS IN ROAD DUST OF TWO MUNICIPALITIES OF META, COLOMBIA

Revista de Investigación Agraria y Ambiental
vol. 16, núm. 1, p. 339 - 356, 2025
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia
riaa@unad.edu.co

ISSN: 2145-6097
ISSN-E: 2145-6453

DOI: https://doi.org/10.22490/21456453.8243

https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/about

CC BY-NC-SA 4.0 LEGAL CODE
Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.