

Metales tóxicos en polvos de una avenida de alto aforo vehicular de la Ciudad de México

Santos Camacho José Antonio*, Flores Rodríguez Julio, Mugica Álvarez Violeta, Vaca Mier Mabel, Oliva Montes Jesús Josimar.

Universidad Autónoma Metropolitana. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México. C.P. 02200. México. DF.

*Autor para correspondencia: uamjose@hotmail.com

Recibido:

28/mayo/2016

Aceptado:

05/agosto/2016

Palabras clave

Metales Tóxicos, Polvo,
Ciudad de México

Keywords

Toxic Metals, Dust. Mexico
City

RESUMEN

En este estudio se determinó la concentración de metales totales de plomo, cadmio, hierro, zinc y cobre en muestras de polvo recolectadas de la avenida Paseo de la Reforma con diferente intensidad de tráfico. La extracción de metales en polvos se llevó a cabo mediante digestión ácida y los análisis se realizaron por espectroscopia de absorción atómica. Los niveles encontrados siguieron el orden Fe>Pb>Cu>Zn>Cd en todos los sitios de muestreo, los cuales oscilaron entre 64027 a 36734; 239 a 83; 128 a 67; 44 a 18 y 2 a 5 mg/kg respectivamente. Los sitios con mayor presencia de metales tóxicos son la glorieta de San Marín y Cuauhtémoc y la de menor concentración es la glorieta del Ángel de la Independencia. El coeficiente correlación de Spearman, demostró una fuerte asociación entre metales, flujo vehicular y sitios de muestreo, además confirmó la contribución de las fuentes antropogénicas como el flujo vehicular, fugas de aceite, desgaste de piezas metálicas, entre otras

ABSTRACT

In this study the concentration of total metals lead, cadmium, iron, zinc and copper in dust samples collected from the Paseo de la Reforma Avenue with different traffic intensity was determined. The metal extraction of powders was carried out by acid digestion whereas analyzes were performed by atomic absorption spectroscopy. The levels found followed Fe> Pb> Cu> Zn> Cd order in all sampling sites, which ranged from 64,027 to 36,734; 239-83; 128-67; 44-18 and 2 to 5 mg/kg respectively. The sites with greater presence of toxic metals are the square of San Marin and Cuauhtémoc and the lowest concentration is the square of the Angel of Independence. The coefficient Spearman correlation showed a strong association between metals, traffic flow and sampling sites, also confirmed the contribution of anthropogenic sources such as traffic flow, oil leaks, wear of metal parts, among others.

Introducción

El estudio de metales contenidos en polvos es particularmente importante debido a la gran cantidad de vehículos que circulan diariamente, el número de industrias emisoras, la erosión de la capa de recubrimiento de las calles, etc. Estas partículas suelen incluir metales no esenciales como el plomo y cadmio que pueden ser tóxicos incluso a niveles muy bajos para el ser humano y elementos biológicamente esenciales, tales como cobre y el zinc, lo que podría causar efectos tóxicos a elevadas concentraciones (Nasser e Inas, 2012).

La contaminación por metales tóxicos como plomo y cadmio, entre otros, es uno de los problemas ambientales más importantes que se presentan en zonas urbanas como la Ciudad de México. Estos metales se caracterizan por su alto grado de toxicidad y persistencia (Flores et al., 1998; ATSDR, 1993). En México se ha reportado una correlación importante entre las concentraciones de metales tóxicos y flujo vehicular (Barco, 2012; Santos 2016).

Las partículas urbanas pueden ser emitidas directamente a la atmósfera a través de los procesos de combustión y se considera que el tráfico vehicular es una de las principales fuentes de los contaminantes particulados, debido al desgaste de piezas de automóviles, a la ineficiente combustión de sus combustibles y por el mal estado en que se encuentran las avenidas (Han et al., 2008).

El ambiente de las calles urbanas representa un sistema muy complejo en términos de acumulación, para el caso de los metales tóxicos. El nivel de metales tóxicos en cada compartimento ambiental está en función de muchas variables incluyendo la intensidad y naturaleza de las fuentes que los aportan, la forma química del metal, deposición y proceso de resuspensión, condiciones hidrometeorológicas y prácticas de limpieza municipal de las calles (Revitt et al., 1990).

Metodología

Estrategia de muestreo

La recolección de la muestra, como el conteo de los automotores, se realizaron durante los primeros tres viernes del mes de septiembre del 2014 en un horario de las 10:30 am a 12:00 pm (horario no conflictivo). Se realizó un muestreo a lo largo de la avenida Paseo de la Reforma, se seleccionaron 10 puntos de muestreo correspondiente a las 10 glorietas de esta avenida. Se tomaron muestras por medio de una aspiradora de

mano en aproximadamente un metro cuadrado de polvo acumulado en las aceras y asfalto de cada glorieta. Se realizó un conteo de automóviles que circulan sobre la zona de estudio por un lapso aproximado de 3 minutos, con ayuda de una cámara.

Sitio de Muestreo

Se tomaron las muestras en la avenida Paseo de la Reforma de las siguientes glorietas: Cuitláhuac, San Martín, Simón Bolívar, el Globo, Colón, Cuauhtémoc, la Palma, Ángel de la Independencia, Diana Cazadora y Fuentes de Petróleo, con el fin de conocer y comparar las concentraciones de cada metal.

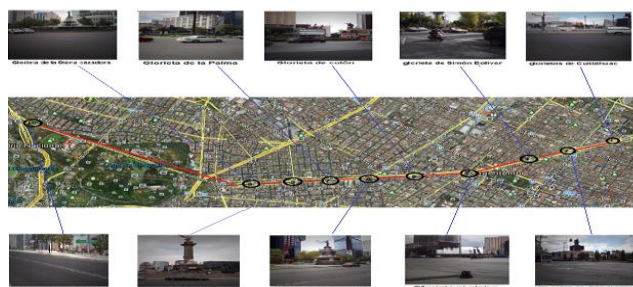


Figura 1. Representación de la zona de estudio, indicando las diez glorietas a lo largo de la avenida Paseo de la Reforma.

Tratamiento de muestra

Una vez recolectado el polvo de los sitios se depositaron en charolas y se introdujeron en una estufa para eliminar la humedad, durante 24 horas a una temperatura de 75 °C.

Cada una de las muestras recolectadas fue tamizada por una malla de 1.9 mm, con el fin de eliminar residuos inútiles para el estudio, como pedazos de madera, cabellos, pedazos de hojas, piedras grandes, pedazos de plástico, entre otros objetos, por lo que fueron descartados del análisis.

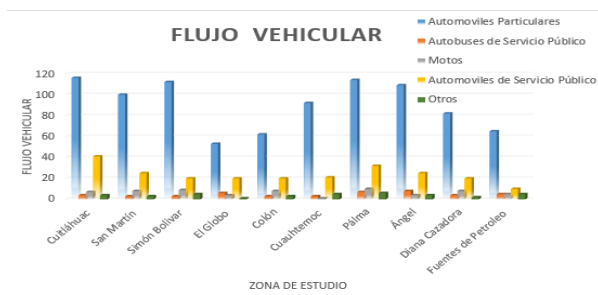
Extracción de metales totales

Las muestras se sometieron a una digestión ácida, se tomaron 0.5 g de la muestra de polvo seco, la cual se depositó en un vaso de teflón, se le añadieron 2 mL de ácido perclórico concentrado (HClO₄) más 10 mL de ácido nítrico concentrado (HNO₃), se llevó a sequedad en un baño de arena a 110 °C; se le adicionaron 10 mL de ácido fluorhídrico concentrado (HF) más 10 mL de ácido nítrico concentrado (HNO₃), se llevó a sequedad en baño de arena a 110 °C; posteriormente se realizó la extracción de la muestra con solución nítrica al 10% depositándola en tubo para centrifugar a 3000 rpm durante 10 min; se realizó una filtración desechando la

fase sólida y la fase líquida se mantuvo en refrigeración a 4 °C hasta antes del análisis, método reportado por Flores, (1992), por duplicado y blanco. El análisis de los metales se llevó a cabo por espectroscopia de Absorción Atómica.

Resultados y discusión

En la gráfica 1 se muestra el resultado del aforo vehicular de cada uno de los diez puntos de muestreo, indicando el número de vehículos que circulan en cada glorieta durante un intervalo aproximado de 3 minutos. Se clasificaron 5 tipos de automotores: Automóviles particulares, motos, Autobuses de servicio público (autobuses y microbuses), automóviles de servicio público (taxis) y otros. De los cinco tipos de vehículos contabilizados, los automóviles particulares son los que presentaron mayor flujo de circulación en las 10 glorietas, así como por número total. De manera particular en la glorieta de Cuitláhuac se identificó el mayor flujo vehicular, encontrándose también valores altos para las glorietas de la Palma, el Ángel, Simón Bolívar y la glorieta de San Martín, mientras que la glorieta de menor aforo vehicular fue la del Globo. Cada sitio de muestreo está caracterizado por diferentes densidades de tráfico, diferentes congestiones vehiculares y por particulares frecuencias de frenado, así como por diferentes componentes de cada vehículo.



Gráfica 1. Representación del aforo vehicular por zona de estudio en la avenida Paseo de la Reforma.

Metales totales por punto de muestreo

En la tabla 1 se presentan las diferentes concentraciones de hierro, plomo, cobre, zinc y cadmio.

Las concentraciones de metales determinadas para las muestras de polvos de las glorietas de San Martín y Cuauhtémoc, fueron las más altas en cuanto a hierro, siendo los sitios más contaminados con este metal, 64027.09 ± 4 mg/kg y 63977.11 ± 5.6 mg/kg respectivamente.

Mientras que para las muestras de las glorietas de Cuitláhuac y la Palma se obtuvieron los niveles de concentración más altos en zinc, 44.2 ± 0.8 mg/kg y 42.6 ± 3.2 mg/kg respectivamente. La glorieta de Simón Bolívar mostró el nivel más alto de cadmio 5.1 ± 8.5 mg/kg. Con respecto al plomo los puntos de muestreo con mayor concentración son la glorieta de Cuitláhuac y San Martín. Probablemente el asfalto, los vehículos a diésel y la gran cantidad de automóviles que circulan en las calles tienen un impacto importante en las concentraciones de estos metales tóxicos en polvos. Asimismo, se aprecia claramente el mismo orden decreciente de la concentración de metales en todas las glorietas, $Fe > Pb > Cu > Zn > Cd$.

Tabla 1. Concentración de metales totales en polvo recolectados en avenida Paseo de la Reforma.

Concentración en mg/kg							DE MAYOR A MENOR
Glorieta	HIERRO	ZINC	PLOMO	COBRE	CADMIO	TOTAL	
Cuitláhuac	49977.1 ± 2.4	42.6 ± 1.3	233.5 ± 6.4	97.7 ± 2.4	3.7 ± 0.16	50354.7	Fe>Pb>Cu>Zn>Cd
San Martín	64027.1 ± 4	26.8 ± 0.2	239.2 ± 23	88.5 ± 8.2	3.2 ± 0.09	64384.8	Fe>Pb>Cu>Zn>Cd
Simón Bolívar	43776 ± 37	19.4 ± 0.9	110.1 ± 6.9	73.7 ± 9.3	5.2 ± 0.44	43984.4	Fe>Pb>Cu>Zn>Cd
El Globo	51386.3 ± 4.1	18.3 ± 1.5	141.1 ± 5.7	87.4 ± 6.8	3 ± 0.26	51636.1	Fe>Pb>Cu>Zn>Cd
Colón	50096.6 ± 22	28 ± 0.2	179.9 ± 7.3	67.4 ± 4.5	3.2 ± 0.08	50375	Fe>Pb>Cu>Zn>Cd
Cuauhtémoc	63977.1 ± 5.6	26.9 ± 1.4	128.5 ± 6.1	119.9 ± 14.4	3.2 ± 0.06	64255.5	Fe>Pb>Cu>Zn>Cd
Palma	45471.1 ± 21.3	44.3 ± 0.3	152 ± 7.7	78.1 ± 10.2	3 ± 0.21	45748.4	Fe>Pb>Cu>Zn>Cd
Ángel	36734.7 ± 17	24.9 ± 1.9	83.1 ± 10	79.4 ± 8.4	3.2 ± 0.52	36925.2	Fe>Pb>Cu>Zn>Cd
Diana Cazadora	51461.6 ± 2	18.3 ± 1.3	151.6 ± 14	128.3 ± 2	3.3 ± 0.23	51763.2	Fe>Pb>Cu>Zn>Cd
Fuentes de Petróleo	43650.4 ± 5.3	10.3 ± 0.5	66.4 ± 0.01	45.6 ± 2.2	3.7 ± 0.25	43776.4	Fe>Pb>Cu>Zn>Cd
Total	500558	259.9	1485.3	865.9	34.8		Fe>Pb>Cu>Zn>Cd

Estadística de metales totales

Los resultados de los análisis de metales totales se trataron estadísticamente. Este tipo de estadística fue realizada con el objetivo de establecer el grado de asociación entre variables analizadas. Para este estudio se consideró el número total de las muestras analizadas y los cinco metales tóxicos.

Se realizó el análisis de correlación de Spearman, para establecer si existe asociación entre los metales tóxicos y flujo vehicular.

En la tabla 2 se muestra la matriz de correlación de Spearman, para cada metal y el flujo vehicular de sus respectivos 10 puntos de muestreo por glorieta.

Los valores en negro demuestran buena correlación diferente de cero con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, del cual se encontró que existe una correlación entre el hierro-cobre (0.66) y zinc-plomo (0.62), las correlaciones fueron positivas y relativamente altas a mayor concentración de hierro mayor concentración de cobre. A mayor concentración de zinc mayor concentración de plomo.

Tabla 2. Matriz de correlación de Spearman entre metales totales y flujo vehicular.

Variables	Total por Glorieta	Hierro	Zinc	Plomo	Cobre	Cadmio
Flujo total por Glorieta	1					
Hierro	0.261	1				
Zinc	0.669	0.122	1			
Plomo	0.273	0.612	0.620	1		
Cobre	0.188	0.661	0.103	0.358	1	
Cadmio	0.200	-0.406	-0.176	-0.224	-0.176	1

Se puede apreciar que la correlación más alta positiva, la representa el flujo vehicular con el zinc (0.669), a mayor flujo vehicular mayor concentración de zinc, por lo que es posible inferir que las concentraciones y el enriquecimiento de este metal se está dando en forma de polvos y como producto de factores intrínsecos al flujo vehicular, desgaste de especies metálicas, aceite de motor, anticongelante, partícula de mofle, partes corroídas de autos, etc.

Mientras que de manera interesante el cadmio siempre mostró una correlación relativamente baja y negativa con los otros metales, que varió de -0.40 hasta -0.17, es decir no tiene ninguna correlación con cualquiera de los otros metales.

Factor de enriquecimiento (FE)

La contaminación por metales tóxicos en polvos, determinado mediante el factor de enriquecimiento (FE), se basa en los valores de la corteza terrestre (Tabla 3) reportados por Sparks (1995a), y compara que tan enriquecidos o contaminados se encuentran los polvos recolectados en una muestra de polvo con los de la corteza terrestre.

Tabla 3. Concentración de metales en la corteza terrestre (Sparks, 1995a).

Metal	Concentración (mg/Kg)
Fe	41,000
Cr	100
Cu	50
Cd	0.11
Pb	14
Zn	75

Este factor de enriquecimiento se calcula por medio de la ecuación (1):

$$FE = \frac{(X/Fe)_{polvo}}{(X/Fe)_{corteza}} \quad (1)$$

Donde:

X_{polvo} = representan la concentración del metal a analizar. Fe_{polvo} = representan la concentración obtenida de hierro. $(X/Fe)_{polvo}$ y $(X/Fe)_{corteza}$ indican una relación entre la corteza terrestre del elemento X con relación al hierro proveniente de los polvos que se encuentran sobre la superficie del asfalto y el promedio

del elemento presente en la corteza terrestre respectivamente.

En la tabla 4, se presentan los factores de enriquecimiento de la muestra de polvo para cada punto de muestreo de la avenida Paseo de la Reforma y en la tabla 5, se presentan las categorías del factor de enriquecimiento propuestos por Lawson y Winchester (1979b), para interpretar los niveles de impacto de los valores de concentración de los metales tóxicos en polvos.

De acuerdo con los resultados, la contaminación indicada por el Factor de Enriquecimiento para cada uno de los de los metales evaluados, se presenta en el siguiente orden: Cd>Pd>Cu>Zn.

De acuerdo con los resultados de la tabla 4 y aplicando el criterio propuesto por Lawson y Winchester (1979b) (Tabla5), se observa que el cadmio, se encuentra dentro del intervalo (10 – 500), en todos los puntos de muestreo por lo que este metal está moderadamente enriquecido e indica una fuente de enriquecimiento adicional a la roca madre, mientras que el zinc y cobre se encuentran dentro del intervalo (FE < 10) en todos los puntos de muestreo el cual indica que provienen de la roca madre.

Tabla 4. Factores de enriquecimiento de las muestras de la avenida Paseo de la Reforma.

Glorieta	Factor de Enriquecimiento			
	Plomo	Cobre	Zinc	Cadmio
Cuicláhuac	13.6	1.6	0.4	27.5
San Martín	10.9	1.1	0.2	18.6
Simón Bolívar	7.3	1.3	0.2	44.2
El Globo	8	1.3	0.2	21.7
Colón	10.5	1.1	0.3	24.1
Cuauhtémoc	5.8	1.5	0.2	18.6
Palma	10	1.4	0.5	24.9
Ángel	6.6	1.7	0.3	32.7
Diana Cazadora	8.6	2.0	0.2	23.9
Fuente de Petróleo	4.4	0.8	0.1	31.4
Total	85.9	14.2	2.9	267.8

Tabla 5. Clasificación del enriquecimiento (FE) Lawson y Winchester (1979).

Categorías de FE	Origen del Elemento X (Metal Tóxico)
FE < 10	De la roca madre
10 < FE < 500	Moderadamente enriquecimiento, e indica otra fuente de enriquecimiento adicional a la roca madre.
500 < FE	Indica un alto enriquecimiento y muestra que existe una grave contaminación de origen antropogénicos.

El plomo se encuentra dentro del intervalo (FE < 10) lo cual indica que proviene de la roca madre, pero sólo en las glorietas de Simón Bolívar, el Globo, Cuauhtémoc, Ángel, Diana Cazadora y Fuentes de petróleo. Mientras que las glorietas de Cuicláhuac, Palma, San Martín y Colón se encuentran dentro del intervalo (10- 500) por lo que estos sitios están moderadamente enriquecidos e

indican una fuente adicional a la roca madre, debido al alto flujo vehicular.

Conclusiones

Las concentraciones de metales tóxicos determinados en polvos recolectados a lo largo de la avenida Paseo de la Reforma varían significativamente de un sitio a otro, y esto puede depender de algunos factores físicos, químicos y ambientales, tales como la intensidad de tráfico, el origen y mantenimiento del material de recubrimiento de avenidas, los tipos de combustible y su combustión, el tipo y cantidad de flujo de autotransporte, así como su estado físico.

Los resultados obtenidos revelan que los polvos presentaron una concentración decreciente $Fe > Pb > Cu > Zn > Cd$ en todos los puntos de muestreo. El hierro se encuentra en una concentración elevada en comparación con los demás metales, ya que es uno de los elementos más abundantes en la naturaleza presentes en la corteza terrestre.

Los puntos de muestreo con mayor presencia de metales tóxicos son la glorieta de San Martín y Cuauhtémoc y la de menor concentración es la glorieta del Ángel. Además, las glorietas con mayor flujo vehicular son Cuitláhuac, la Palma y Simón Bolívar y las de menor flujo Colón y el Globo.

El análisis de correlación de Spearman mostró que existe una correlación entre el hierro-cobre y zinc-plomo, estas correlaciones fueron relativamente altas, a mayor concentración de hierro mayor concentración de cobre y mayor concentración de zinc mayor concentración de plomo. Esto indica que las concentraciones de estos metales provienen de la misma fuente de origen (aerosoles, mala combustión, desgaste de especies químicas, etc.).

La correlación entre metales totales y flujo vehicular, mostró que a mayor flujo vehicular mayor concentración de zinc. Aunque este metal no presentó concentraciones elevadas, es el que muestra asociación al flujo vehicular, por lo que es posible inferir que estas concentraciones son producto de desgaste de especies metálicas, aceites de motor, anticongelantes, etc.

En cuanto al factor de enriquecimiento (FE) se muestra al plomo y al cadmio como contaminantes moderadamente enriquecidos debido a una fuente

adicional a la de la roca madre y muestra que existe una grave contaminación de origen antropogénico.

Referencias

ATSDR. Toxicological profile for lead US Dept. of health and Human Services, Atlanta, EUA, 1993.

Barco E. (2012). Evaluación de la movilidad de metales tóxicos en polvos recolectados en avenidas de alto aforo vehicular en el eje 5 de la Ciudad de México. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Flores R.J. (1992). Les métaux toxiques dans les eaux pluviales en milieu urbain: Caractéristiques Physico-chimiques. Tesis Doctoral, Université Paris XII-Val de Marne, Francia.

Flores J., Vaca M., López R., González A., Barceló M. (1998). Metales Tóxicos en Polvos de Estacionamiento Cerrados. *Internacional Contaminación Ambiental*, 14 (2), 93-100.

Han L.I., Zhuang G.U., Cheng S., Wang & Liu J. (2008). Characteristics of resuspended road dust and its impact on the atmospheric environment in Beijing. *Atmos. Environ.* 41: 7485-7499.

Lawson D.R. y Winchester J.W.A. (1979). Estandar Crustal Aerosol as a Reference for Elemental Enrichment Factors. *Atmospheric Environment*. 10: 925-930.

Nasser M.A., Inas A.S. (2012). Heavy Metal Contamination in Roadside Dust Along Major Roads and Correlation With Urbanization Activities in Cairo, Egypt, *Journal of American Science*, 8(6), 379-389.

Revitt DM, Hamilton, RS & Warren, RS. (1990). The transport of heavy metals within a small urban catchment. *The Science of the Total Environment*, (93), 359-373.

Santos C. (2016). Evaluación de la movilidad de metales tóxicos en polvos recolectados en avenidas de alto aforo vehicular de la Ciudad de México. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Saparks D. L. (1995a). Environmental Soil Chemistry, Department of plant and soil sciences University of Delaware. Academic Press, 24-25.