

# Metales pesados en suelos urbanos de Morelia, Michoacán: influencia del uso del suelo y del tipo de vialidad

*<sup>1\*</sup>C. Delgado, <sup>1</sup>I. Israde, <sup>2,6</sup>F. Bautista, <sup>3</sup>A. Gogichaishvili, <sup>4</sup>C. Márquez  
<sup>3</sup>R. Cejudo, <sup>3</sup>J. Morales e <sup>5</sup>I. González I.*

<sup>1\*</sup>Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH. Autor responsable; <sup>2</sup>Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. UNAM; <sup>3</sup>Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Instituto de Geofísica. UNAM; <sup>4</sup>Facultad de Química. UNAM; <sup>5</sup>Alumna de la Licenciatura en Geociencias del Instituto Tecnológico Superior de Tacámbaro, Michoacán; <sup>6</sup>Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), Departamento de Conservación de Suelos y Agua y Manejo de Residuos Orgánicos. Campus Universitario de Espinardo. Espinardo (Murcia). 30100. España.

## Resumen

En las ciudades se generan materiales de desecho que contaminan el ambiente, como algunos metales y otros no metales llamados elementos potencialmente tóxicos (EPT). Su generación y distribución dependen del uso de suelo (US) y del tipo de vialidad (TV). Los EPT afectan diversos ecosistemas y la salud humana y el suelo. El objetivo de este trabajo es el análisis de las concentraciones de B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, V y Zn contenidos en los suelos de Morelia, Michoacán considerando la influencia del US y del TV. La determinación de los EPT fue con espectrometría de plasma acoplado inductivamente del tipo óptico. La influencia del US y del TV se determinó mediante un análisis de varianza por comparación de medianas. No hubo diferencias significativas entre los US, y por TV sólo en el Zn. El V, Mn, Pb y Fe rebasaron los límites permitidos por la NOM-147 y la US-EPA.

Desde el punto de vista de la salud se requiere atender el riesgo que se presenta en el uso de suelo "Zona mixta" por las altas concentraciones del Pb, V y Zn.

**Palabras clave:** Contaminación, elementos tóxicos, Plomo, Vanadio, toxicidad.

## Abstract

Waste materials that pollute the environment, as some highly toxic metal called potential toxic elements (PTE), are generated in cities. Their generation and distribution depend on the use of soil (US) and the type of road (TR). PTE affects human health, various ecosystems, and soil. The aim of the present study was to analyze the concentrations of B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, V and Zn contained in soils of Morelia, Michoacan, taking into account the influence of the US and the TR. PTE determination was carried out by inductively coupled plasma spectrometry (ICP-MS) of the optical type. The influence of the US and the TR was determined by comparison of medians by variance analysis. Except for the Zn among the different TR, there were no significant differences among the US. The V, Mn, Pb and Fe exceeded the limits allowed by the NOM-147 and the US-EPA. From the point of view of health, it is required to attend the present risk in the mixed zones (MZ) use of soil by the high concentrations of Pb, V and Zn.

**Key words:** Pollution, Toxic Elements, Lead, Vanadium, toxicity

## Introducción

El aumento de la población en las ciudades y de sus actividades cotidianas como en la industria, (Testiati et al., 2013), minería (Bech et al., 2012), plantas de tratamiento (Su y Wong, 2003), tráfico vehicular (Aguilar et al., 2011) y la construcción (Morton et al., 2001, Chen et al., 2005), entre otras, incrementa en el ambiente los materiales de desecho conocidos como residuos sólidos y emisiones de gases de combustión. Ambos contienen a los elementos potencialmente tóxicos (EPT), entre ellos a los metales pesados (Madrid et al., 2007, Ihl et al., 2015). La toxicidad de estos elementos se ha convertido en una preocupación mundial debido a que cada vez es mayor la contaminación del suelo, agua, cultivos y aire, así como los efectos negativos en la salud humana (Lu et al., 2007, ATDSR 2010, McKinley et al., 2013).

Aun cuando algunos metales como el Cr, Co, Cu, Fe, Mn y Zn son micronutrientes para los seres vivos, en altas concentraciones pueden ser nocivos a la salud. El Cd,

Pb, y Hg son tóxicos a bajas concentraciones (Granero y Domingo, 2002), por ejemplo el Cd, Pb y As pueden ser nefrotóxicos aun en cantidades menores a los límites permitidos, cuando se ingieren o inhalan de manera constante (Sabath y Robles-Osorio, 2013); el plomo daña el sistema nervioso central y periférico (Vallejo et al., 2003).

El ingreso de los EPT a las cadenas alimentarias depende de su solubilidad, la cual está determinada por la fuente de emisión, el pH (Rawlins et al., 2005, Jordao et al., 2006) y el tamaño de la partícula que contiene a los metales (Madrid et al., 2007, Laing et al., 2014).

Los EPT pueden ser emitidos a la atmosfera vía las emisiones de humos de combustión y posteriormente precipitarse sobre el suelo. Los EPT pueden estar contenidos en el suelo, allí pueden ser adsorbidos en los coloides y acumularse por mucho tiempo por lo que el contenido de EPT puede ser considerada como la contaminación histórica si el suelo no ha sido removido (Lu et al., 2007; Bautista et al., 2011). Los EPT también pueden estar contenidos en los polvos urbanos que son una mezcla ente las partículas contaminantes emitidas a la atmosfera y partículas de suelo, es la contaminación de corto plazo (Bautista et al., 2011).

La legislación ambiental mexicana con relación a los suelos establece los límites permisibles del Pb ( $400 \text{ mg kg}^{-1}$ ), V ( $78 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Ni ( $1,600 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Cr ( $280 \text{ mg kg}^{-1}$ ) para los usos de suelo agrícola, residencial y comercial, respectivamente, en la NOM-147 (SEMARNAT, 2007), pero no contempla a los polvos urbanos.

En Morelia, Michoacán se han realizado estudios de la concentración de ozono ( $\text{O}_3$ ) en el aire (Correa-García, 2009), y de otros compuestos como hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NO) y monóxido de carbono (CO) provenientes de los automotores (INECC-SEMARNAT, 2010). Aguilar et al. (2012) encontraron que la las mediciones magnéticas de las hojas de *Ficus benjamina* expuestas en vialidades de mucho tráfico vehicular, contienen de 6 a 12 veces más magnetita asociada con los EPT como el Cr, Ni, Cu y Pb, que en las hojas no expuestas. Encontraron de 6 a 12 veces más concentración en las vialidades primarias, que en otras de poca vialidad. Concluyeron que estos elementos provienen del tráfico vehicular por la presencia casi exclusiva de la magnetita que se libera con la combustión automotora.

Con la finalidad de ampliar estos estudios a la totalidad de las zonas urbanas y suburbanas de Morelia, en esta investigación se planteó analizar la concentración del B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, V y Zn contenida en los suelos, considerando

los tipos de uso de suelo urbano y el tipo de vialidad, esperando las mayores concentraciones en los usos de suelo de tipo industrial (I) y en las vialidades primarias, así como las menores concentraciones en los usos de suelos tipo áreas naturales protegidas (ANP) y áreas verdes (AV) y en las vialidades terciarias.

Los diagnósticos de contaminación son necesarios para la toma de decisiones encaminadas a prevenir enfermedades en la población.

## **Materiales y métodos**

La ciudad de Morelia está localizada a 19°46'06" LN 101°11'22" LO al centro-norte del estado de Michoacán, a una altitud de 1920 msnm. Se presenta un clima subhúmedo con temperatura media anual de 17.5 y precipitación pluvial de 773 mm. Los vientos dominantes proceden del suroeste y noreste, son variables en julio y agosto con intensidades de 2.0 a 14.5 km h<sup>-1</sup>. El basamento de roca de la ciudad se compone de riolita (cantera), así como de materiales volcánicos no consolidados (tepetate). Los grupos principales de suelos, en acuerdo con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo son: Luvisoles, Andosoles, Vertisoles, Acrisoles y Leptosoles. El área urbana abarca alrededor de 85 km<sup>2</sup>, con una población de 597 511 habitantes. Morelia es una ciudad media en crecimiento y su área metropolitana consta de 806 822 habitantes y existen más de 300 mil vehículos automotores; un estimado en circulación en 2009 fue de 172,575. Las principales actividades económicas del municipio de Morelia son el comercio, turismo y servicios (63.7%); la industria de la construcción y la manufacturera (25.9%); y la agricultura (10.4%). El sector industrial incorpora los siguientes giros: elaboración de aceite comestible, productos químicos, resinas, harina, fundición, industria del plástico, calderas, los dulces en conservas, embotellamiento de agua y refrescos, fabricación de generadores eléctricos, turbinas hidráulicas y de vapor y productos de celulosa y papel (INECC-SEMARNAT, 2010). Por ello, se considera que la mayor influencia en la generación de partículas con EPT proviene principalmente del tráfico vehicular (Aguilar et al., 2012). Con el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Morelia 1998-2015, de manera general se han establecido espacios de protección ecológica y áreas verdes. En el año 2004 había 648 ha de reservas ecológicas urbanas y 134 ha de áreas verdes de diversa naturaleza equivalente a 2.08 m<sup>2</sup> por habitante (PDUCPM, 2004). Actualmente dos de las áreas naturales protegidas rodean a las dos zonas industriales más grandes de Morelia: una al suroeste y otra al noreste.

## Diseño del muestreo

Para la colecta de las muestras se diseñó un muestreo estratificado a partir de 24 usos de suelo urbano definidos por el Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia (IMDUM, 2012), los cuales fueron reclasificados y agrupados en ocho tipos de uso de suelo: 1) HB/SU, habitacional densidad baja (51 a 150 habitantes por hectárea) con subcentro urbano con 120 viviendas por hectárea; 2) HMS, habitacional densidad media con servicios y comercio de 151 a 300 habitantes por hectárea; 3) HMI, habitacional densidad media con industria y servicios de 151 a 300 habitantes por hectárea; 4) ZM, zona mixta, que comprende zonas con proximidad y baja delimitación como: i) zona de monumentos o centro de la ciudad; ii) zona habitacional con densidad habitacional alta de 301 a 500 habitantes por hectárea, rodea a la anterior; iii) zona de transición, rodea a las dos anteriores; y iv) infraestructura, que es una zona de baja delimitación donde está establecida la termoeléctrica; 5) I, zona industrial; 6) AV, áreas verdes; 7) EQ, equipamiento que considera áreas escolares, hospitales, e instituciones gubernamentales, panteones y otros; y 8) ANP, área natural protegida.

En relación a los tipos de vialidad, se agruparon tres tipos: primaria (1), secundaria (2) y terciaria (3), a partir de 10 tipos de vialidad obtenidos del INEGI considerando la densidad vehicular (alta, media y baja), y las dimensiones de la vialidad.

A la traza urbana de Morelia obtenida se le asignó una rejilla de 1 km de distancia, para distribuir las muestras con una separación mínima de 1 km y se distribuyeron 100 puntos de muestreo de manera estratificada. Al interior de cada estrato o tipo de uso de suelo se asignaron 10 puntos, y al interior de cada tipo de vialidad se asignaron tres puntos de manera homogénea (Figura 1). El muestreo se realizó durante la época de sequía, en febrero de 2014. Para la colecta de las muestras de suelos superficiales se eligieron sitios debajo de árboles maduros, preferentemente del género *Ficus* sp; se utilizó un cilindro de PVC (polyvinyl-chloride) de 6 cm de largo por 5 cm de diámetro (100 cm<sup>3</sup>). Previo a la introducción del cilindro se retiró la hojarasca, las piedras o cualquier otro material. El suelo se depositó en una bolsa de plástico previamente etiquetada.

## Análisis químicos

La preparación de las muestras consistió en lo siguiente: 1) secado a temperatura ambiente y a la sombra; 2) pesaje en balanzas Sartorius™ TE612 de 0 - 610 g y Torrey™ L-EQ de 0 - 5 kg; 3) tamizado a 2 mm para separar los fragmentos gruesos

de la fracción fina; 4) pesaje y cuarteo de la fracción fina; 5) molienda de la fracción fina con un mortero de ágata; 6) tamizado con malla de 125 µm; y 6) pesaje y empaquetado de 2 g de la muestra.

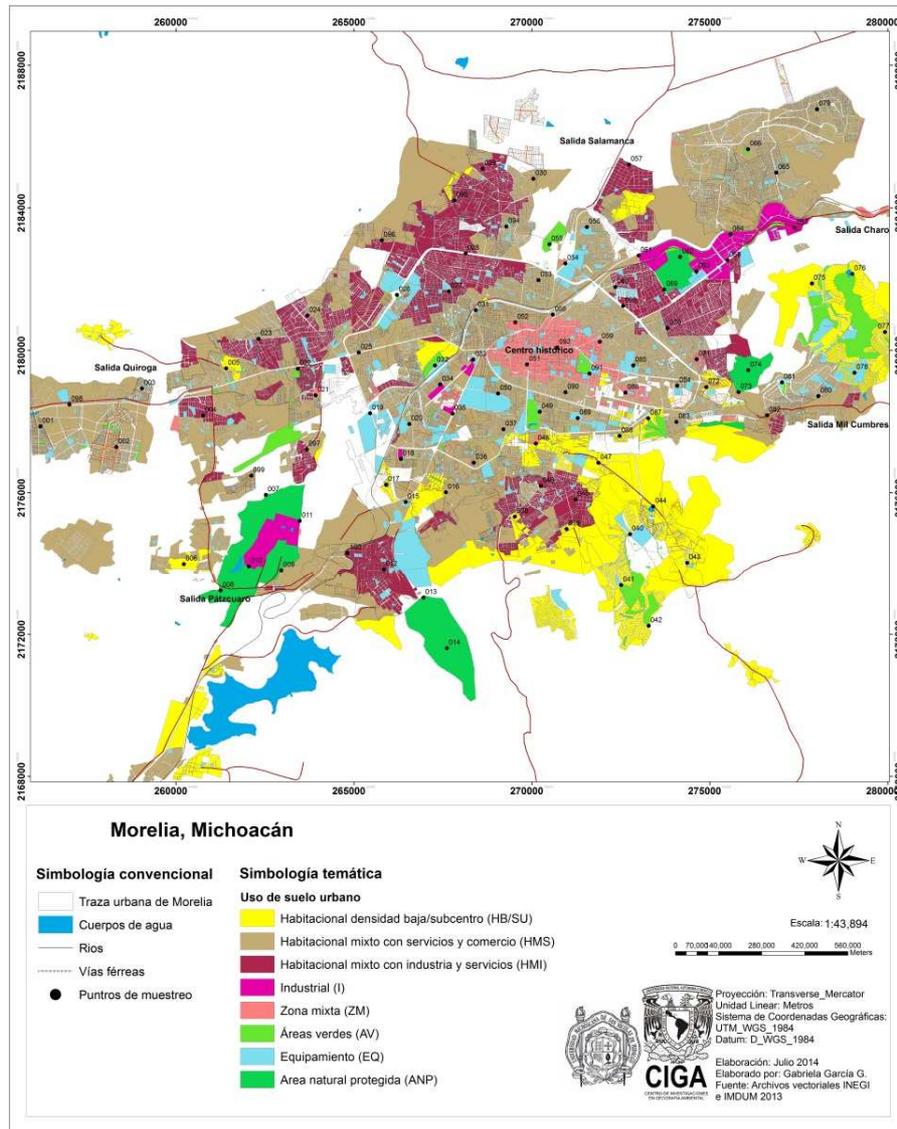


Figura 1. La traza urbana de la ciudad de Morelia, Michoacán con los puntos de muestreo en los diferentes usos de suelo y vialidades.

Para la digestión, a 0.1000 g de suelo se adicionaron HNO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (10:1 mL); se preparó un control de reactivos sin muestra. La digestión de las muestras se realizó en un horno de microondas modelo MARSXpress™ marca CEM de acuerdo con el método EPA 3051A en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Agua, UNAM, Morelia. Los extractos y el control se aforaron a 100 mL con agua desionizada.

La determinación de la concentración de los metales se realizó mediante la técnica de espectrometría de emisión con plasma acoplado inductivamente de tipo óptico en un espectrofotómetro ICP-OES, modelo Optima 4300 DV, marca Optical Emission Spectrometer Perkin Elmer Instruments™. Para el control de calidad de los datos se utilizó una curva de calibración con tres puntos de concentración: 0.1, 1.0 y 10 mg L<sup>-1</sup> de Pb, Zn, Fe, Mn, B, Li, Cr, V, Cu, Ni y Cd. Las curvas tuvieron un coeficiente de correlación de 0.999 y antes de iniciar los análisis y después de cada 40 muestras se analizó una solución estándar (0.1 mg L<sup>-1</sup>) y un blanco analítico (agua desionizada). La n o número de repeticiones fue de cinco.

La desviación estándar (DS) presentó valores entre 0 y 1.9. Los valores del blanco analítico obtenido a lo largo de las series de medición fue menor al límite de detección. En promedio (n = 4) el límite de detección en el B fue de 0.09; Cd, de 0.005; Cr, de 0.004; Cu, de 0.005; Fe, de 0.012; Li, de 0.00; Mn, de 0.001; Ni, de 0.008; Pb, de 0.03; V, de 0.003; y en el Zn, de 0.005. En el caso del B, antes de calcular las concentraciones totales (mg kg<sup>-1</sup>), se le restaron a las concentraciones de las muestras en mg L<sup>-1</sup> las concentraciones registradas en el blanco analítico. Las concentraciones totales en el Zn, Li, Pb y V se reportan en mg kg<sup>-1</sup>, mientras que en el Fe y Mn en g kg<sup>-1</sup>.

## **Análisis de datos**

Los resultados se compararon con la NOM 147 (SEMARNAT 2007) y la Agencia de Protección Ambiental (Región 9) (US-EPA 2004) que establecen las concentraciones máximas permitidas de varios elementos potencialmente tóxicos (metales pesados) por tipo de uso de suelo (Cuadro 1).

Los análisis estadísticos descriptivos se realizaron para conocer la normalidad de la muestra mediante los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados. Se considera que una muestra tiene una distribución normal cuando se encuentra en el intervalo de -2 a +2. Debido a que la mayoría de las muestras de los EPT no presentaron una distribución normal, ya que están fuera del intervalo mencionado (Cuadro 2), los análisis de varianza se realizaron por comparación de las medianas

para medir la influencia del uso de suelo y el tipo de vialidad mediante la prueba de Kruskal-Wallis con el programa Statgraphics (Centurion XVI, 2010). Esta prueba evalúa la hipótesis de que las medianas de las concentraciones de los EPT sean iguales dentro de cada uno de los ocho tipos de uso de suelo o dentro de cada uno de los tres tipos de vialidad. Primero se combinan los datos de todos los niveles y se ordenan de menor a mayor. Luego se calcula el intervalo promedio para los datos de cada nivel. Cuando el valor-p es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel de confiabilidad del 95%.

**CUADRO 1**

Límites máximos permitidos de elementos potencialmente tóxicos en los suelos de acuerdo con la legislación mexicana y norteamericana en  $\text{mg kg}^{-1}$

Elemento potencialmente tóxico	NOM-147		US-EPA	
	Agrícola, Residencial Comercial	Industrial	Residencial	Industrial
B			16 000	100 000
Cd	37	450	37	450
Cr	280	510	30	64
Cu			3100	41000
Fe			23000	100000
Li			1600	20000
Mn			1800	19000
Ni	1600	20000	1600	20000
Pb	400	800	400	800
V	78	1000	78	1000
Zn			23000	100000

## Resultados y discusión

El hierro, Mn, Li, y Zn tiene más del 99% de muestras con alguna concentración; en el V y Pb es de más del 70%; en el B, Cr, Cu, y Ni, hay menos del 35%; en el Cd ninguna muestra registra alguna concentración. Se analizaron estadísticamente los EPT que tienen alguna concentración en más del 70% de sus muestras.

## Estadística descriptiva

De acuerdo con los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados, sólo el V está dentro del intervalo de -2 a +2, y significa que tiene una distribución normal por lo que la gran mayoría de los EPT en las muestras de suelo no presentan una distribución normal. No obstante, en la mayoría de las muestras la normalidad aumentó cuando fueron agrupadas por uso de suelo y en menor medida, cuando se realizó por el tipo de vialidad (Cuadro 2).

**CUADRO 2**  
Coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados de los elementos potencialmente tóxicos por tipos de uso de suelo y de vialidad

Coeficientes	Fe		Li		Pb		Mn		V		Zn	
	AE	CE	AE	CE	AE	CE	AE	CE	AE	CE	AE	CE
Valor de los coeficientes en la muestra total	3	1	6	6	15	41	16	50	2	-0.2	6	4
Uso de suelo												
ANP	0.9	-0.3	0.8	-0.7	1.2	0	3.4	4.9	2.1	1.7	2.1	1.8
AV	2.5	3.0	2.7	2.7	0.9	-0.5	-0.1	-0.4	0.3	-0.8	1.7	1
EQ	-0.4	-0.6	0.1	0.7	2.5	2.6	-1.8	1.6	-0.2	0.3	1.0	0.7
HB/SU	0.8	-0.4	1.8	0.5	1.9	1.6	2.1	1.6	0.9	0.6	3.9	6.0
HMI	1.8	0.6	2.9	2.8	0.3	-1	-0.2	-0.5	1.0	-0.4	3.3	4.3
HMS	-0.2	-0.6	1.6	0.4	1.9	1.6	2.1	1.7	-0.2	-0.8	0.5	-1.0
I	0.2	-0.3	1.6	0.3	1.5	0.3	0.9	1.0	-0.01	-1.3	0.8	-0.6
ZM	0.6	-0.6	3.2	3.9	3.5	5.1	-0.4	-0.9	1.6	1	0.8	0.6
Tipos de vialidad												
1	0.7	-0.5	2.9	1.2	9.1	21.3	5	8.4	1.4	-0.7	3.8	4.0
2	0.9	-0.8	4.1	3.9	5.1	7.4	0.7	-0.1	0.6	-1.4	2.9	0.7
3	2.3	2.4	2.5	0.7	2.9	1.5	9.4	23.3	1.3	1	3.4	2.8

AE= Coeficiente de asimetría estandarizado; CE= Coeficiente de curtosis estandarizado

## Uso de suelo y tipo de vialidad

Las diferencias por uso de suelo, en la gran mayoría de los EPT no fueron significativas; sólo en los valores de las concentraciones del Zn lo fueron entre los usos de suelo ANP y AV, ambos, respecto del uso de suelo ZM (Figura 2). En este estudio se esperaba que los tipos de uso de suelo con menor concentración de EPT fueran el ANP y AV, ya que Aguilar et al. (2012) mediante propiedades magnéticas encontraron menores asociaciones de magnetita con los EPT tipo Cr, Ni, Cu y Pb en las áreas verdes del bosque Cuauhtémoc de Morelia. Coincidentemente en la

presente investigación, el análisis de varianza por uso de suelo mostró que, de acuerdo con la comparación de medianas, el uso de suelo ANP tuvo las menores concentraciones de Pb y del Zn (Figura 2).

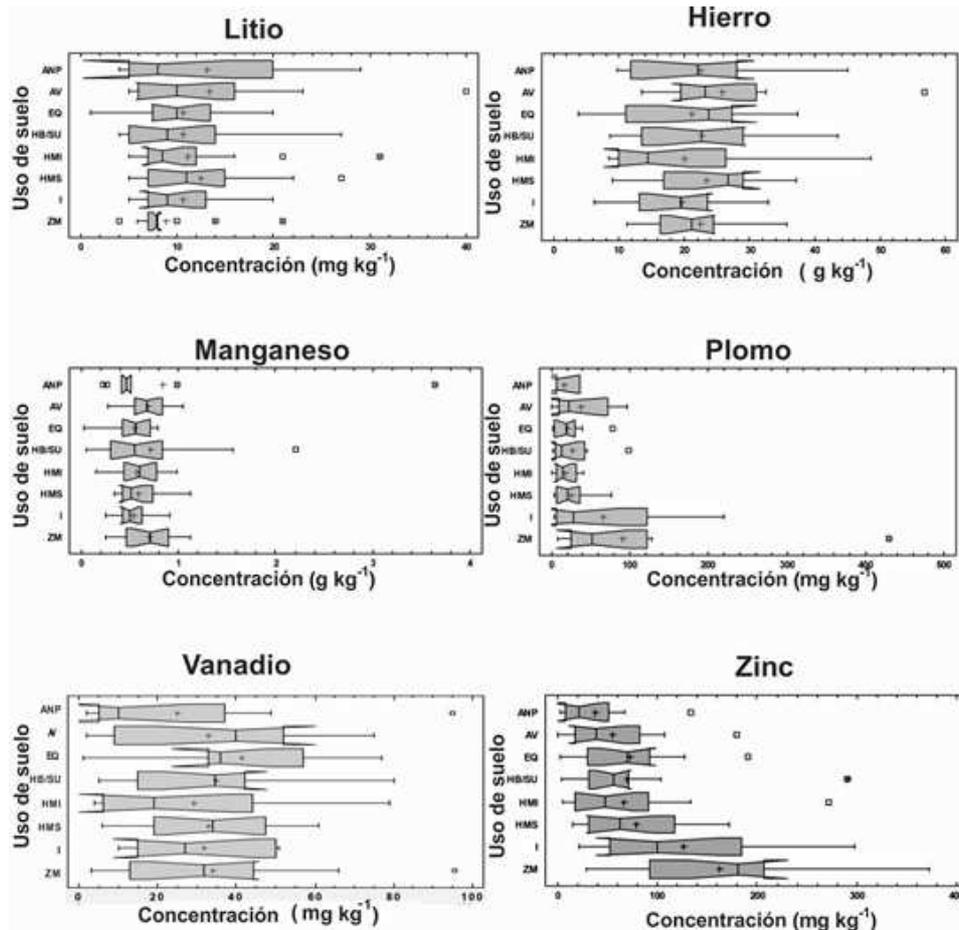


Figura 2. Comparación de medianas de los elementos potencialmente tóxicos considerando el uso de suelo en los suelos urbanos de Morelia, Michoacán.

En relación con los resultados asociados con el tipo de uso de suelo Industrial (I), se esperaba que tuviera las mayores concentraciones de EPT; sin embargo, el uso de suelo ZM fue el de mayor concentración en el V ( $96 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Pb ( $430 \text{ mg kg}^{-1}$ ), y Zn ( $373 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Cuadro 3, Figura 2). En tanto que el uso de suelo (I) ocupó el

segundo lugar de mayor concentración en el Pb (220 mg kg<sup>-1</sup>) y en el Zn (297.9 mg kg<sup>-1</sup>) (Figura 2).

**CUADRO 3**  
Estadística descriptiva de los elementos potencialmente tóxicos en suelos urbanos en Morelia, Michoacán.

Parámetros	Fe (g kg <sup>-1</sup> )	Mn (g kg <sup>-1</sup> )	Li (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	V (mg kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg kg <sup>-1</sup> )
N	100	100	100	99	80	74
Promedio	22	0.6	11	85	33	39
Mediana	22	0.6	9	66	33	21
DE	10	0.43	7	76	23	61
CV (%)	45	67	61	90	71	155
Mínimo	4	0.03	1	1	1	0
Máximo	57	3.64	40	373	96	430
Intervalo	53	3.61	39	372	95	430

La presencia alta del V, Pb y Zn en el tipo de uso de suelo ZM se podría explicar por el hecho de estar ubicado en el centro de la ciudad con gran afluencia vehicular y además, por estar conformado por otros tres tipos de uso de suelo con la mayor densidad habitacional y la presencia de la termoeléctrica (Figura 1). Entonces, se constata que existen más probabilidades de que los EPT tipo V, Pb y Zn sean de origen antrópico.

### Tipo de vialidad

También se esperaba que las concentraciones de los ET tuvieran diferencias significativas entre tipos de vialidad, y que las concentraciones mayores las presentaran los de vialidad primaria, como en los resultados de los estudios magnéticos de Aguilar et al. (2012), los cuales mostraron que las mediciones magnéticas de las hojas de *Ficus benjamina* expuestas en vialidades de mucho tráfico vehicular, indicaban de 6 a 12 veces más magnetita asociada con los EPT tipo Cr, Ni, Cu y Pb, que en las hojas no expuestas.

En este estudio aun cuando no hubo diferencias significativas en las concentraciones de los EPT por tipo de vialidad, el Zn (373 mg kg<sup>-1</sup>) y Pb (430 mg kg<sup>-1</sup>) presentaron sus concentraciones mayores en las vialidades primarias (Figura 3). De acuerdo con Morton-Bermea et al. (2009) e Ihl et al. (2015), en la Ciudad de México la presencia del Zn y Pb se debe más a la influencia humana que a la natural, y de acuerdo con Aguilar et al. (2012), en Morelia también, y específicamente sea de origen vehicular.

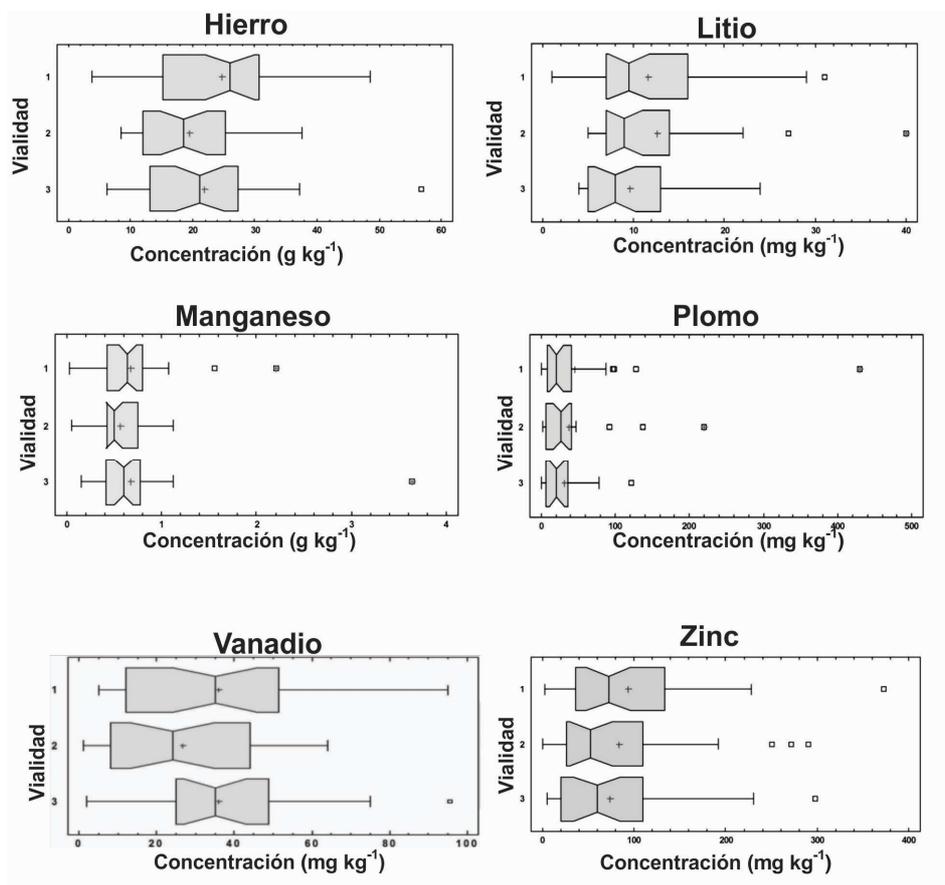


Figura 3. Comparación de medianas de los elementos tóxicos considerando el tipo de vialidad en los suelos urbanos de Morelia, Michoacán.

## Límites permitidos por las legislaciones ambientales

La NOM 147 para suelos (SEMARNAT 2007) no define límites permitidos para el B, Cu, Fe, Li, Mn y Zn, por lo que se compararon con los que establece la US-EPA (US-EPA 2004). En el hierro es de  $23\ 000\ \text{mg kg}^{-1}$  y en el Mn es de  $1800\ \text{mg kg}^{-1}$  para el tipo de uso de suelo residencial (Cuadro 1).

El Fe en el 45% de las muestras rebasa el límite permitido, la muestra SM81 tiene la concentración más alta que es de 57 000 mg kg<sup>-1</sup>, pertenece al tipo de uso de suelo AV (Figura 2) y vialidad terciaria (Figura 3), y está ubicada en la salida a Mil Cumbres (Figura 1). La segunda concentración más alta del Fe (48 000) está en la muestra SM93, en el uso de suelo HMI (Figura 2) y vialidad primaria (Figura 3), ubicada en el Paseo de la República oriente, por la salida a Charo (Figura 1). Coincidentemente, en esta muestra se encuentran las mayores concentraciones del V (Figura 3).

Para el Mn el límite permitido por la US-EPA es de 1 800 mg kg<sup>-1</sup> y se rebasa en dos muestras: en la SM009, con 3 640 mg kg<sup>-1</sup>, ubicada en el uso de suelo ANP (Figura 2), vialidad terciaria (Figura 3) cerca de la papelera, por la salida a Pátzcuaro (Figura 1). En el sitio existen cultivos de maíz por lo que el Mn podría provenir del uso de plaguicidas. La otra muestra es la SM16, con 2202 mg kg<sup>-1</sup> ubicada en el uso de suelo HB/SU, que es un uso de suelo habitacional con densidad baja. De igual manera se encuentra al suroeste de la ciudad, por San José del Cerrito, y aun cuando no existe mucha afluencia vehicular, pero es una vialidad primaria, el Mn podría provenir del tráfico vehicular, ya que a algunas gasolineras se les incorpora Mn para mejorar su rendimiento.

El Pb rebasa los límites permitidos por ambas agencias ambientales (400 mg kg<sup>-1</sup>) en la muestra SM92, cuya concentración es de 430 mg kg<sup>-1</sup>, pertenece al uso de suelo tipo ZM (Figura 2) y vialidad primaria (Figura 3), ubicada en la Av. Madero oriente (Figura 1). Esta situación, aun cuando se presenta en áreas pequeñas, es necesario darle la debida importancia, ya que el uso de suelo ZM abarca el Centro Histórico y zonas aledañas con gran tránsito de peatones y de vehículos (Figura 1). Se ha reportado que el Pb está biodisponible en la totalidad del suelo, no solo en las fracciones menores de 2 µm (Madrid et al., 2007). El concepto de biodisponibilidad se refiere a la relativa facilidad de ser ingerida vía oral, absorbida por la piel o inhalada, sobre todo en los niños, que están en mayor contacto con los EPT de los suelos urbanos (Rawlins et al., 2005, Laing et al., 2014). La US-EPA (2012) reporta que se llegan a ingerir hasta 200 mg de suelo por día.

El V rebasa el límite permitido en cuatro sitios: 1) en la muestra SM52 con 96 mg kg<sup>-1</sup>, en el uso de suelo tipo ZM y vialidad terciaria, ubicada al norte del Centro Histórico; 2) en la muestra SM69 con 94.9 mg kg<sup>-1</sup>, en el uso de suelo tipo ANP y vialidad primaria, ubicada en la salida a Charo al suroeste de la zona industrial; 3) en la muestra SM77 con 80 mg kg<sup>-1</sup>, en el uso de suelo tipo HB/SU y vialidad primaria, ubicada al sur de Tres Marías, por la salida a Mil Cumbres; y 4) en la

muestra SM93 con  $79 \text{ mg kg}^{-1}$ , en el uso de suelo tipo HMI y vialidad primaria, ubicada en el Paseo de la República oriente, por la salida a Charo (Figs. 1, 2 y 3).

El Li y el Zn no rebasan los límites máximos establecidos por la US-EPA, la mayor concentración del Li se registró en la muestra SM76 ( $40 \text{ mg kg}^{-1}$ ), perteneciente al uso de suelo AV, vialidad secundaria; y en el Zn fue en la muestra SM92 ( $373 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en el uso de suelo ZM (Figura 2) y tipo de vialidad primaria (Figura 3).

## Perspectivas

Es necesario complementar los análisis de los resultados mediante los índices CF y PLI, Contamination Factor y Pollution Load Index, por sus siglas en inglés, respectivamente. Con ellos se compara la concentración de los EPT de un suelo que tenga la menor influencia humana posible (cantidades naturales de la roca madre) con las de los sitios urbanos y se determina el grado de influencia, natural o antrópica, como lo hicieron Morton-Bermea et al. (2009) e Ihl et al. (2015) en la Ciudad de México. Otro argumento para usar esos índices es que, en los distintos países las normas ambientales que rigen los umbrales de los EPT son variables, en tanto que los índices CF y PLI son de interpretación universal.

Por otro lado, sería importante analizar los datos con herramientas geoestadísticas para conocer la distribución espacial de los EPT en toda la zona urbana de Morelia como lo hicieron Morton-Bermea et al. (2009) e Ihl et al. (2015) en los suelos de la Ciudad de México, Rawlins et al. (2005) en Sheffield, Inglaterra y McKinley et al. (2013) en Irlanda del Norte. De esta manera, se identificarán con mayor precisión los sitios y la distancia que abarcan las diferentes concentraciones de EPT.

Otra línea de investigación que se podría desarrollar para continuar con los estudios de contaminación en suelos en Morelia es correlacionar los datos químicos con los magnéticos para determinar con más precisión el origen de los metales, por ejemplo Aguilar et al. (2012) mencionaron que la presencia de magnetita en la superficie de hojas de *Ficus benjamina* proviene de los automotores. Las correlaciones positivas podrían indicar que las mediciones magnéticas permiten realizar diagnósticos más rápidos y económicos que las determinaciones químicas.

## **Reflexión**

La vida en las ciudades proporciona ventajas respecto de la rural, como son: la educación, empleo, atención médica y servicios, entre otros; sin embargo, una de las desventajas es el mayor grado de desechos y contaminación en general. La salud humana en las grandes ciudades está determinada por muchos factores, no solo por la presencia de elementos potencialmente tóxicos como los metales pesados, también influyen los estilos de vida, la densidad de población, el nivel socioeconómico, entre otros (McKinley et al. 2013).

Por otro lado, se ha considerado que tiene más valor o plusvalía una vivienda que tiene la menor distancia a las vías principales, a los centros comerciales, educativos y a otros servicios; sin embargo, en este estudio se muestra que en el centro de Morelia y zonas aledañas (uso de suelo ZM) se localizan las mayores concentraciones de V, Pb y Zn; y, en las vialidades primarias, el Pb y Zn presentaron las concentraciones más altas. Por ello, se requiere ligar los resultados monodisciplinarios del ambiente, como es el presente estudio, con otras disciplinas como del área de la salud, socioeconómicas, urbanísticas, etc., como lo establecen los ordenamientos territoriales.

## **Conclusiones**

Los usos de suelo urbano y el tipo de vialidad de manera estadísticamente significativa no influyen en las concentraciones de EPT. Sin embargo, en el uso de suelo ZM se localizan las mayores concentraciones de V, Pb y Zn.

Las concentraciones menores de Pb, Mn y Zn se encontraron en el uso de suelo ANP, ello refuerza la hipótesis de que las áreas verdes con menor influencia antrópica amortiguan la contaminación. Por lo cual, se presenta la necesidad de considerar en la planeación urbana, el aumento de los espacios de áreas verdes y la conservación de las áreas naturales protegidas.

Por tipo de vialidad, la influencia esperada en la concentración de los ET, sólo en el Zn es significativa, no obstante, las concentraciones más altas del Pb, Zn y V se presentan en las vialidades primarias.

Las muestras de suelo urbano de la ciudad de Morelia se encuentran contaminadas con V, Mn, Pb y Fe ya que rebasan los límites máximos establecidos por las agencias mexicanas y estadounidenses, además, existe la probabilidad de provenir de fuentes antrópicas.

El suelo urbano de la ciudad de Morelia no rebasa las concentraciones umbrales de las normas ambientales mexicanas y estadounidenses en Cd, Ni, Cu, Cr, B, Li y Zn.

### **Agradecimientos**

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca posdoctoral del primer autor y por el soporte financiero del proyecto CB-2011-01-169915. A la M en C. Hilda Rivas Solórzano del CIGA, UNAM por la asesoría en la digestión de las muestras. Francisco Bautista agradece el apoyo económico de la DGAPA-UNAM para su estancia sabática en el CEBAS, CSIC, España.

### **Literatura citada**

- Agencia para sustancias tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATDSR). 2010. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. División de Toxicología y Medicina Ambiental.
- Aguilar B., Cejudo R., Martínez-Cruz J., Bautista F., Goguitchaichvilli A., Carvallo C. y J. Morales. 2012. *Ficus benjamina* leaves as indicator of atmospheric pollution: a reconnaissance study. *Studia Geophysica et Geodaetica* 56: 879–887, DOI: 10.1007/s11200-011-0265-1.
- Bautista, F., Cram-Heydrich, S., Sommer-Cervantes, I., 2011, Suelos, *en* Bautista-Zúñiga, F., Palacio-Prieto, J.L., Delfín-González, H., (eds.) Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, 227-258.
- Bech J., Duran P., Roca N., Poma W., Sánchez I., Barceló J., Boluda R., Roca-Pérez L., y Ch. Poschenrieder. 2012. Shoot accumulation of several trace elements in native plant species from contaminated soils in the Peruvian Andes. *Journal of Geochemical Exploration* 113: 106–111.
- Chen T., Zheng Y., Lei M., Huang Z., Wu H., Chen H., Fan K., Yu K., Wu X. y Q. Tian. 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere* 60: 542–551.

- Correa-García A. 2009. Calidad del aire en la Ciudad de Morelia. *Contactos*, 74: 29-36.
- Granero S. y J.L. Domingo. 2002. Levels of metals in soils of Alcala' de Henares, Spain: Human health risks. *Environment International* 28: 159-164.
- Ihl T., Bautista F., Cejudo R., Delgado C., Quintana P., Aguilar D. y A. Goguitchaichvili. 2015. Concentration of toxic elements in topsoils of the metropolitan area of Mexico City: a spatial analysis using Ordinary kriging and Indicator kriging. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 31(1): 47-62.
- IMDUM. Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia. 2012. Archivos .shp y mapas impresos de la capa de información Zonificación secundaria (1:50 000). Adecuaciones al Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Morelia 2010.
- INECC-SEMARNAT. 2010. Estudio de emisiones y actividad vehicular. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC); Dirección de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional (DGICUR); Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire (DICA). 78 pp.
- Jordao C.P., Nascentes C.C., Cecon P.R., Fontes R.L.F. y J.L. Pereira. 2006. Heavy metal availability in soil amended with composted urban solid wastes. *Environmental Monitoring and Assessment* 112: 309–326. DOI: 10.1007/s10661-006-1072-y
- Laing J.R., Hopke P.K., Hopke E.F., Husain L., Dutkiewicz V.A., Paatero J., y Yrjö Viisanen. 2014. Long-term particle measurements in Finnish Arctic: Part I. Chemical composition and trace metal solubility. *Atmospheric Environment* 88: 275-284.
- Lu Y., Zhu F., Chen J., Gan H. y Y. Guo. 2007. Chemical fractionation of heavy metals in urban soils of Guangzhou, China. *Environmet Monitoring Assessment* 174: 429-439. DOI 10.1007/s10661-007-9634-1.
- Madrid F., Biasioli M. y F. Ajmone-Marsan. 2007. Availability and Bioaccessibility of Metals in Fine Particles of Some Urban Soils *Arch Environ Contam Toxicol* DOI 10.1007/s00244-007-9086-1

- McKinley J.M., Offerdinger U., Young M., Barsby A. y A. Gavin. 2013. Investigating local relationships between trace elements in soils and cancer data. *Spatial Statistics* 5: 25-41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.spasta.2013.05.001>
- Morton O., Puchelt, H., Hernández E. y E. Lounejeva. 2001. Traffic-related platinum group elements (PGE) in soils from Mexico City. *Journal of Geochemical Exploration* 72: 223-227.
- Morton-Bermea O., Hernández E., Martínez-Pichardo E., Soler-Arechalde A., Lozano-Santa-Cruz R., González-Hernández G., Beramendi-Orosco L. y J. Urrutia-Fucugauchi (2009). Mexico City topsoils: heavy metals vs. magnetic susceptibility. *Geoderma* 151, 121-125. Doi: 10.1016/j. Geoderma. 2009. 03. 019.
- Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Morelia (PDUCPM) 2004). Cap. II. Diagnóstico. Consultado en internet el 13 de julio de 2015.
- Rawlins B.G., Lark R.M., O'Donnell K.E., Tye A.M. y T.R. Lister. 2005. The assessment of point and diffuse metal pollution of soils from an urban geochemical survey of Sheffield. *England Soil Use and Management* 21: 353–362. Doi: 10.1079/SUM2005335
- Sabath E. y M.L. Robles-Osorio. 2012. Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados *Nefrología* 32(3): 279-86 doi:10.3265/Nefrologia.pre2012. Jan.10928
- SEMARNAT. 2007. Norma Oficial Mexicana NOM- 147-SEMARNAT/SSA1-2004. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación.
- Statgraphics® Centurion XVI. 2010. Manual de usuario. StatPoint Technologies, Inc. EUA.
- Su D.C., y J.W.C. Wong. 2003. Chemical speciation and phytoavailability of Zn, Cu, Ni and Cd in soil amended with fly ash-stabilized sewage sludge *Environment International* 29: 895 – 900.
- Testiati E., Parinet J., Massiani C., Laffont-Schwob I., Rabier J., Pfeifer H.R., Lenoble V., Masotti V., y P. Prudent. 2013. Trace metal and metalloid contamination levels in soils and in two native plant species of a former industrial site: Evaluation of the phytostabilization potential. *Journal of Hazardous Materials* 248–249:131–141.

US-EPA (United States Environmental Protection Agency) 2004. A Preliminary Remediation Goals Table. Region 9: The Pacific Southwest. Available from: <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg/files/04prgtable.pdf>.

US-EPA (United States Environmental Protection Agency) 2012. IRIS. Integrated Risk Information System. [online]: <http://www.epa.gov/iris/>.

Vallejo M., Jáuregui-Renaud K., Hermsillo A.G., Márquez M.F. y M. Cárdenas. 2003. Efectos de la contaminación atmosférica en la salud y su importancia en la Ciudad de México. *Gaceta Médica de México* 139 (1): 57-63.