

## Determinación de cadmio, cromo, plomo y arsénico en suelos superficiales urbanos de Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Marcos Delgado Ríos<sup>1</sup>, Yanel Rivera Orozco<sup>1</sup>, Jonatan Torres Perez<sup>1</sup>, Alba Yadira Corral Avitia<sup>1</sup>, Juan Flores Margez<sup>1</sup>, Laura Elena Santana Contrera<sup>1</sup>

### Resumen

El presente estudio consistió en determinar los niveles de cadmio, cromo, plomo y arsénico en suelos superficiales circundantes a casas-habitación en la zona urbana del municipio de Juárez, Chihuahua, México, el objetivo de dicho análisis fue determinar cuantitativamente la presencia de los metales y/o metaloides anteriormente mencionados, así como establecer suposición dentro de los rangos que establecen los límites permisibles en áreas urbanas. La importancia en la determinación cuantitativa en suelos urbanos de dichos elementos radica en que los mismos no han sido reportados en estudios previos. El material recolectado fue tratado con técnicas específicas (USEPA, 2002) y analizado por medio de plasma inductivamente acoplado con un espectrómetro de emisión óptica (ICP-OES). Con los valores obtenidos, se obtuvo la concentración en  $\text{mg kg}^{-1}$  de cada elemento de interés considerando en el análisis estadístico la desviación estándar, error típico y varianza para comparar los valores obtenidos del suelo en distintos áreas de una misma casa habitación entre sí y de igual manera con otras casas habitación. Los resultados obtenidos revelaron que el suelo superficial de una casa-habitación ubicada en la colonia Mariano Escobedo (ME) presentó la cantidad más elevada tanto de cadmio como de cromo. No obstante, los valores reportados no excedieron los establecidos por la normatividad mexicana. Específicamente para el caso del cromo, se presentó una concentración dentro de los valores naturales que normalmente contiene el suelo ( $< 70 \text{ mg kg}^{-1}$ ). El cadmio mostró concentraciones elevadas ( $> 1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en todos los sitios de muestro, las cuales sobrepasan las establecidas como límite en la normatividad de algunos países europeos (e.g. Holanda), dato que debe ser considerado de manera importante ya que con el paso del tiempo significaría un riesgo latente para la salud de la población.

**Palabras clave:** Metales pesados, Metaloides, Contaminación urbana.

### Introducción

Ciudad Juárez se encuentra situada en el norte de México, colinda al norte con El Paso, Texas y a 50 kilómetros al sur se localizan los Médanos de Samalayuca, la zona urbana en estudio presenta un clima extremo y se registran fuertes ráfagas de viento que aunados a la cercanía del desierto generan con mucha frecuencia tormentas de arena y polvo en la ciudad que distribuyen los contaminantes dando como resultado una gran cantidad de éstos en los suelos de la ciudad. (INEGI, 2005). Por otra parte, la zona metropolitana de Juárez presenta una población de 1 313 338 habitantes (INEGI,

2005), lo que hace más evidente la problemática de la ciudad al aumentar la concentración de diversos contaminantes que llegan al suelo provenientes de fuentes antropogénicas y naturales. Las características principales de todos los casos de contaminación son: una fuente de contaminación, un contaminante en si mismo, un medio de transporte (aire, agua o tierra) y un receptor, que puede incluir al ecosistema, organismos individuales como el hombre y estructuras (Rodríguez et al., 2000).

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

La clasificación de la contaminación puede darse de varias formas de acuerdo con la fuente (ejemplo: contaminación agrícola), el medio afectado (ejemplo: contaminación atmosférica), o por la naturaleza del contaminante (ejemplo: contaminación por metales pesados) (Rodríguez et al., 2000). Para fines del presente trabajo, primero se utilizó la clasificación por el medio afectado (suelo) y después por la naturaleza del contaminante, es decir, los elementos traza (específicamente cromo, cadmio, plomo y arsénico).

La presencia en suelos de concentraciones nocivas de algunos elementos químicos y compuestos (contaminantes) es un tipo especial de degradación que se denomina contaminación. El contaminante se encuentra en concentraciones mayores a las habituales y en general tiene un efecto adverso sobre algunos organismos. Por su origen puede ser geogénico o antropogénico. Los primeros pueden proceder de la propia roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o de mineralizaciones. Por el contrario, los antropogénicos se producen por los residuos peligrosos derivados de actividades industriales, agrícolas, mineras, etc. y de los residuos sólidos urbanos (Huertos y Romero, 2008). La evaluación de los suelos contaminados no ha despertado gran curiosidad de estudio como lo ha hecho la contaminación del aire y del agua, por lo que han quedado en segundo término las consecuencias que provienen de la contaminación del suelo. Tal vez la razón sea porque los efectos de este tipo de contaminación aparecen de una manera más lenta que en las otras contaminaciones, esto ocurre porque los suelos tienen ciertas capacidades, como son ocluir los elementos contaminantes, filtrarlos eliminándolos de las aguas contaminadas infiltradas y descomponerlos

o convertirlos en sustancias inocuas (RESA, 2005).

La capacidad de autoregeneración del suelo se ve afectada cuando se acumulan en el mismo sustancias contaminantes, además de poner en peligro recursos tales como el agua potable. El suelo se convierte en algo tóxico que contamina a los organismos que lo habitan y a la vegetación. Con un contacto prolongado a los contaminantes pueden presentarse problemas de salud al entrar en el organismo tanto por la piel como por las vías respiratorias (Torri, 2002). Por lo tanto, junto con el mantenimiento de la calidad del aire, la protección del suelo, debe considerarse una prioridad para conservar el medio ambiente. La delimitación de zonas contaminadas y la limpieza de estas mismas son actividades que consumen mucho tiempo y dinero, pero son muy importantes sobretodo para salvaguardar a cada individuo de la comunidad.

Los elementos traza están presentes en relativamente bajas concentraciones ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la corteza de la tierra, suelos y plantas. Muchos de ellos son esenciales para el crecimiento y desarrollo de plantas, animales y seres humanos, aunque también pueden ser tóxicos si se superan ciertos umbrales. De forma general todos los elementos traza son tóxicos si se ingieren o inhalan en cantidades suficientemente altas y durante largos períodos de tiempo (Seoanez, 2003). El Selenio, flúor y molibdeno son ejemplos de elementos que presentan un estrecho margen (del orden de pocos  $\text{mg L}^{-1}$ ) entre los niveles de deficiencia y toxicidad (Plant *et al.*, 2001). De todos los elementos traza encontrados en suelos, hay 17 que se consideran como muy tóxicos, pero también se encuentran disponibles en muchos suelos en concentraciones que sobrepasan los niveles

de toxicidad. Estos son: plata (Ag), arsénico (As), bismuto (Bi), cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), paladio (Pd), platino (Pt), antimonio (Sb), selenio (Se), estaño (Sn), telurio (Te), titanio (Ti) y zinc (Zn). De ellos, diez son fácilmente movilizados por la actividad humana en proporciones que exceden en gran medida la de los procesos geológicos (Ag, As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn y Ti) (Novotny, 1995).

En la clasificación de la EPA (Agencia de Protección Ambiental, por sus siglas en inglés) se incluyen en la lista de contaminantes prioritarios los siguientes trece elementos traza: antimonio, arsénico, berilio, cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y zinc (Huertos y Romero, 2008).

De esta manera, se puede observar que son muchos los elementos denominados traza, los cuales, si exceden su contenido permisible pueden ocasionar graves problemas en los suelos y en la salud, por lo tanto es de gran importancia su identificación y cuantificación.

En el presente estudio se plantea la determinación de cromo, cadmio, plomo y arsénico en los suelos circundantes de casas-habitación en diferentes zonas de la mancha urbana de Ciudad Juárez, Chihuahua. Dichos elementos tienen efectos negativos en la salud humana, y son típicos contaminantes altamente tóxicos de las zonas urbanas.

La incineración de basura común, el uso de calefacción a base de combustión de leña, producción de cemento y ladrillos, la disposición inadecuada en el suelo de colillas de cigarrillo, aceite usado de motor, soldadura de cañería son algunos ejemplos

de fuentes antropogénicas de cadmio y cromo en la zona urbana (Ramírez, 2002).

Hasta finales de los años 80, el plomo formaba parte importante de materiales de construcción como pinturas y tuberías, por lo tanto el agua, suelo y aire también contenían partículas de plomo. Hoy en día, la fuente de exposición más común al plomo es la pintura. El suelo también corre riesgo de estar contaminado por partículas de plomo debido a la carencia o uso inadecuado de los sistemas de eliminación de basura urbana o por el uso de técnicas agrícolas nocivas.

En tiempos recientes, el rápido crecimiento demográfico en zonas urbanas, así como los avances industriales son considerados los mayores causantes de la contaminación por plomo. Particularmente en Ciudad Juárez se han llegado a detectar severos casos de envenenamiento causados por la contaminación generada por la industria metalmecánica y fundidora que ha realizado operaciones durante décadas en esa zona urbana. La contaminación de arsénico merece un enfoque especial, ya que esta se presenta principalmente en agua potable, resultado de la disolución del mineral presente en el suelo por donde fluye el agua antes de su captación para uso humano, o bien, por contaminación industrial o plaguicidas. La problemática proviene de procedimientos industriales en la ciudad a partir de emisiones de arsénico las cuales se unen a otras partículas que posteriormente el viento transporta para depositarse en el suelo. Los microorganismos presentes en el suelo y los sedimentos también emiten sustancias a la atmósfera que se transforman más tarde en otros compuestos de arsénico que pueden volver a fijarse en el suelo (Martin-Jil, 2002).

Por toda la problemática anteriormente descrita, es clara la necesidad de determinar los niveles de concentración de contaminantes en el suelo superficial de la ciudad, así como conocer la distribución geográfica de los mismos para establecer riesgos potenciales a la salud de la población. Así mismo, el objetivo de la presente investigación es conocer los niveles de cadmio, cromo, plomo y arsénico en

suelos superficiales en distintas zonas de Ciudad Juárez, por lo que la recopilación de esta información es importante para la realización de estudios posteriores sobre los efectos en la salud humana y afectación al ambiente por la dispersión de los contaminantes en cuestión cuando los mismos sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

### **Materiales y Métodos:**

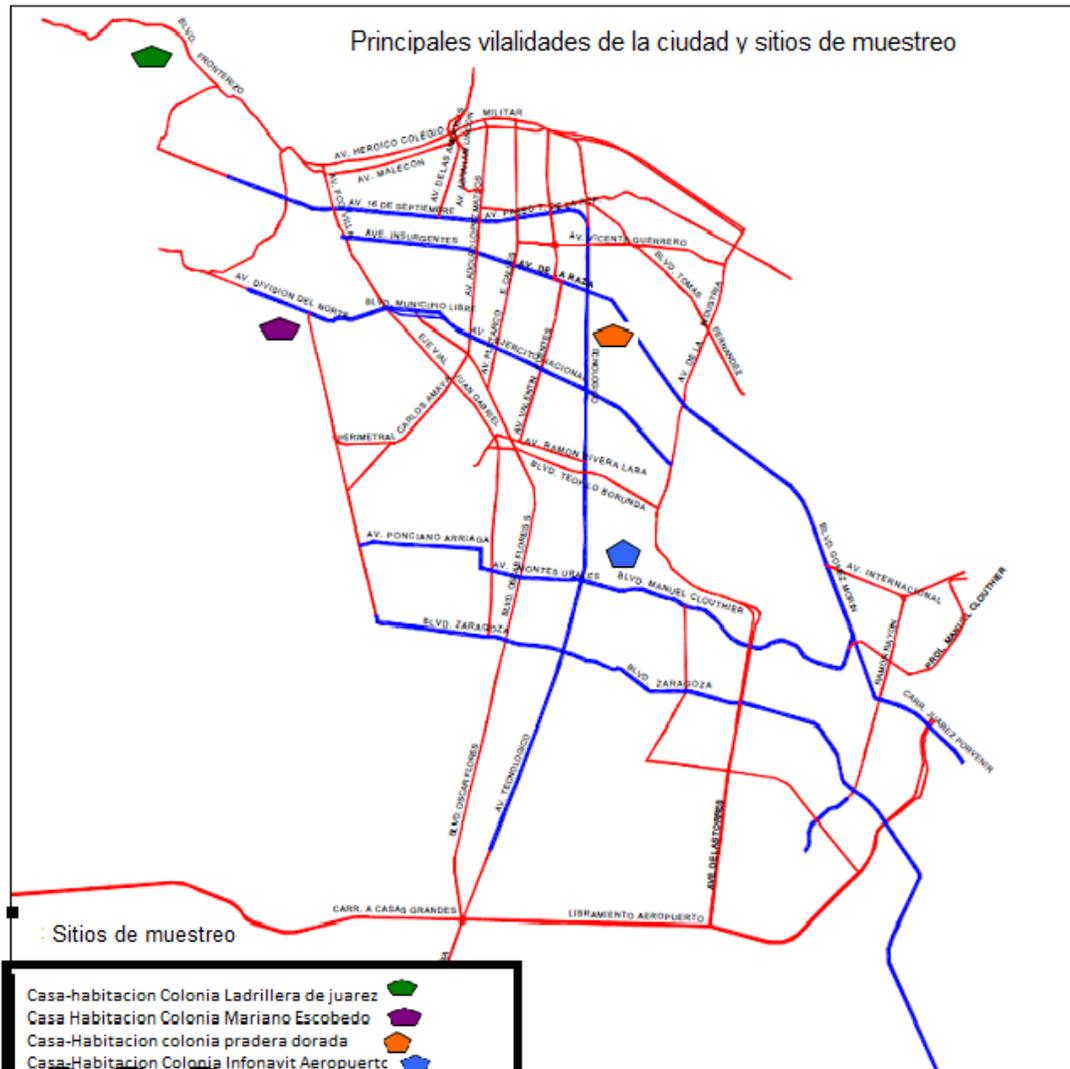
Para la obtención de las muestras de suelo superficial urbano de Ciudad Juárez se utilizaron escobas, recogedores y bolsas herméticas de plástico (Family Values®, de 946 mL). Para el proceso de homogeneización de las muestras se empleó un mortero, una balanza analítica (Ohaus, modelo Adventurer), pesa sustancias, espátula y sobres de papel de papel pequeños. Para la elaboración de muestras compuestas se requirió de nuevo un pesasustancias, mortero y espátula, además de bolsas herméticas (Family Values®, de 946 mL).

Para el proceso de digestión de las muestras de suelo superficial, se utilizaron vasos de precipitado de 150 mL, pipetas de 5 mL, una campana de extracción de humos (Fisher Hamilton L.L.C), vidrios de reloj, cinco platinas (CIMAREC 2, Corning PC-35, Fisher Scientific, PYRO-MAGNESTIR), termómetro, embudos, papel filtro Whatman No. 41, matraces volumétricos de 50 mL y envases de plástico con tapa. Además, se utilizaron los siguientes reactivos: ácido nítrico concentrado suprapuro (ARISTAR® ULTRA y J.T. BAKER), ácido clorhídrico concentrado suprapuro (ARISTAR® ULTRA) y agua tri-destilada.

Para el análisis de los analitos de estudio (Cd, Cr, Pb y As) contenidos en las

muestras de suelo superficial, se utilizó un espectrómetro de emisión con plasma de acoplamiento inductivo (Perkin Elmer, Optima 4300 DV). Además de la utilización de estándares de cromo, cadmio plomo y arsénico para la preparación de la curva de calibración y agua 4+4 que consistió en una preparación de agua tridestilada con 40 mL de ácido nítrico y 40 mL de ácido clorhídrico.

Para la obtención de las muestras de suelo superficial, se realizó el muestreo durante 12 meses comenzando a partir de agosto de 2010 y finalizando en el mes de agosto de 2011. Para ello, se eligieron cuatro casas habitación perteneciente a la zona urbana de Ciudad Juárez, Chihuahua; la primera en la colonia "Ladrillera de Juárez" (LJ) (latitud: 31° 77' 3" y longitud: -106° 52' 621" ), la segunda en la colonia "Infonavit Aeropuerto" (IA) (latitud: 31° 40' 8" y longitud: -106 ° 24 ' 28"), la tercera en la colonia "Pradera Dorada" (PD) (latitud: 31° 41' 52" y longitud: -106 ° 25 ' 15) y la cuarta en la colonia "Mariano Escobedo" (ME) (latitud: 31° 72' 19" y longitud: -106 ° 49' 95"). En la Figura 1 se observan las principales vialidades de la ciudad incluyendo los 4 sitios de muestreo ya mencionados.



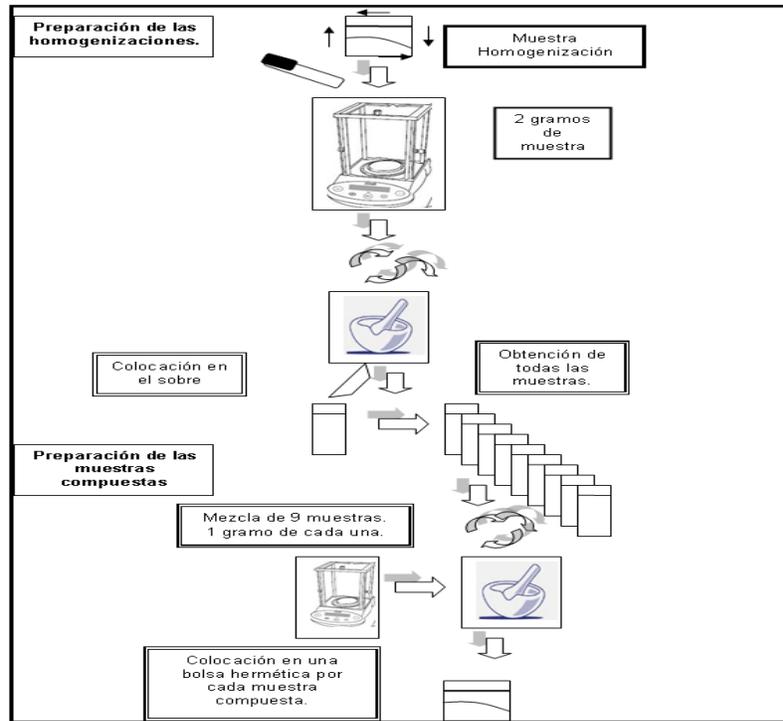
**Figura 1.** Principales vialidades de ciudad Juárez y los sitios de muestreo utilizados. Fuente: Programa de Gestión de Calidad del Aire en Ciudad Juárez, 1998-2002.

La toma de muestra de suelo superficial se realizó tomando una cantidad de suelo superficial (aprox. 5.0 g) cada tres días utilizando una escoba y un recogedor por cada sitio de muestreo. Cada una de las muestras se depositó en una bolsa hermética de plástico. Después, cada una de las bolsas se rotuló con la dirección del domicilio donde se recolectó y con la fecha en que se tomó. Finalmente, las muestras se guardaron para después ser homogenizadas. Las muestras se llevaron al laboratorio donde se

homogenizaron de la siguiente manera: Se pesaron dos gramos de cada muestra y se colocaron en un mortero donde se procedió a moler dicha muestra. Después, cada muestra se colocó en un pequeño sobre y se rotuló con la fecha y lugar de procedencia. Al concluir con el proceso de homogenizado de cada una de las muestras, se procedió a realizar muestras compuestas para reducir significativamente el número de muestras obtenidas durante el año. Esto se realizó mezclando 1 g de cada nueve muestras.

Después de ello, se homogeneizaron de nuevo en el mortero y se depositó dicho conjunto en una bolsa hermética etiquetada con todas las fechas de las que procedía cada

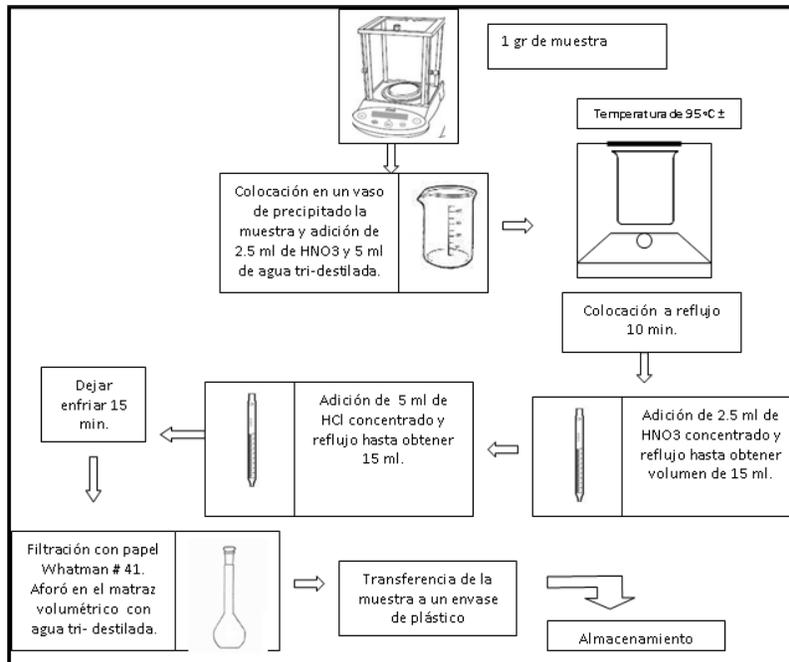
una de las muestras. En la Figura 2 se presenta un diagrama que describe la metodología realizada.



**Figura 2.** Diagrama de la homogenización y preparación de muestras compuestas.

Las muestras de suelo superficial se digirieron en base al método 3050B de la EPA (USEPA, 2002) con algunas modificaciones. Primeramente se tomó un gramo de muestra, la cual se colocó en un vaso de precipitado junto con 2.5 mL de ácido nítrico concentrado y 5 mL de agua tridestilada. Después de esto, se sometió a reflujo por 10 minutos para después agregar 2.5 mL de ácido nítrico concentrado y 20 mL de agua tridestilada; toda la solución se mantuvo en reflujo hasta que el volumen

total llegó a 15 mL. Luego, se adicionaron 5 mL de ácido clorhídrico concentrado y se continuó con el reflujo hasta obtener nuevamente un volumen de 15 mL. Una vez ocurrido lo anterior, se dejó enfriar durante 15 minutos y se filtró con papel Whatman No. 41, el filtrado se recibió en un matraz volumétrico de 50 mL y se aforó con agua tridestilada. Por último, la muestra obtenida se transfirió a un envase de plástico y se almacenó en frío para su posterior análisis (Figura 3).



**Figura 3.** Diagrama de la digestión de las muestras de suelo superficial.

Para el análisis de los analitos de estudio (Cd, Cr, Pb y As) en las digestiones, se utilizó espectroscopia de Emisión por Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP por sus siglas en inglés). Dicho análisis se llevó

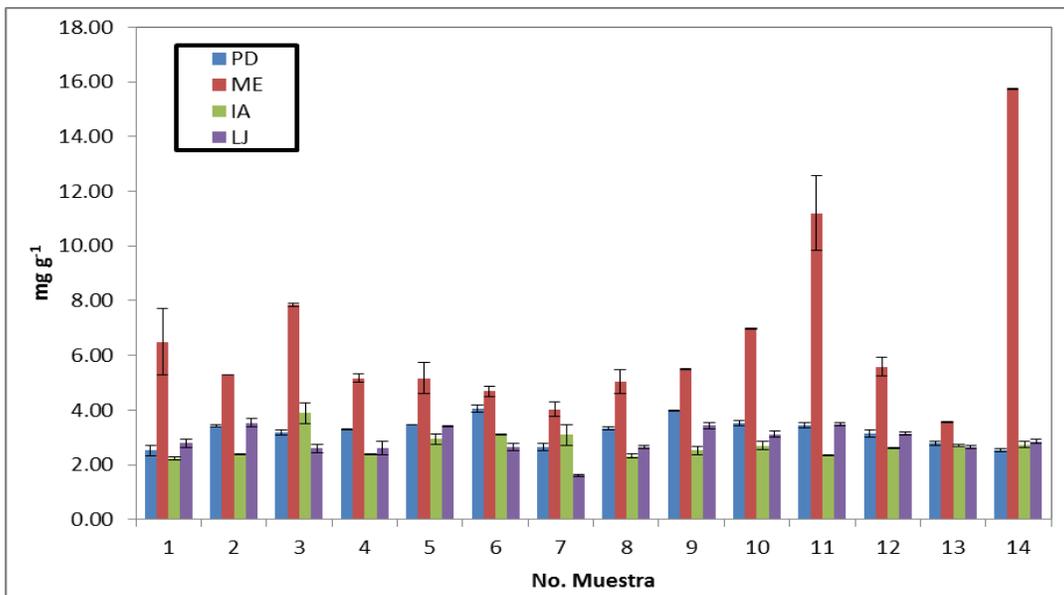
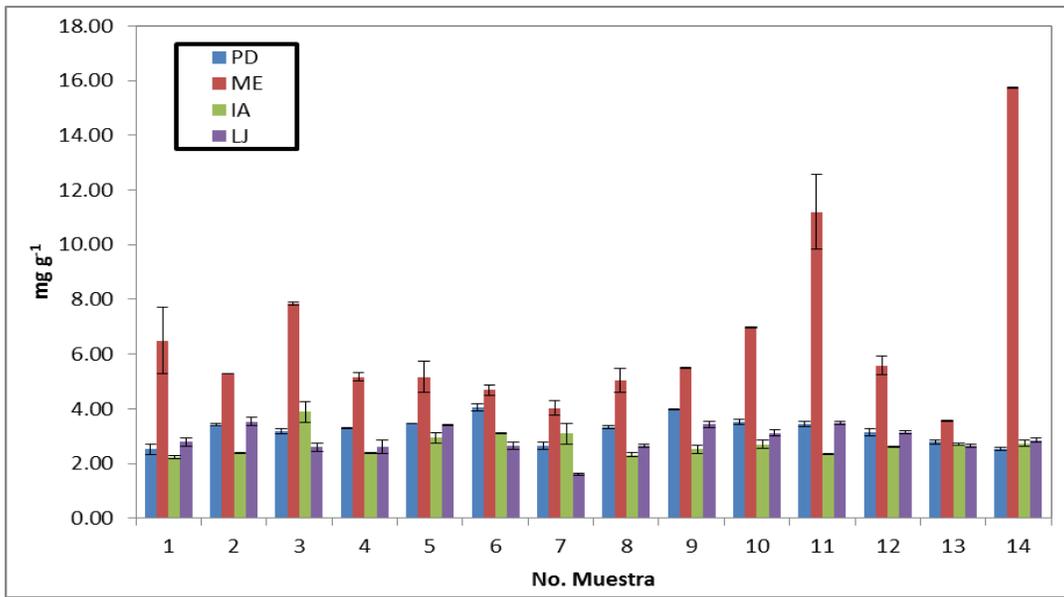
a cabo en el laboratorio de calidad de agua de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

### Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos ( $\text{mg L}^{-1}$ ) fueron transformados a  $\text{mg kg}^{-1}$  determinando la cantidad de Cd, Cr, Pb y As contenida en 0.05 L (volumen de cada muestra). Una vez obtenido esto, se determinó el contenido total por kilogramo de suelo superficial urbano. A partir de lo anterior se realizó un promedio de la concentración de cada elemento de estudio encontrada en las muestras compuestas, se

calculó la desviación estándar y el error promedio de las todas las muestras. Así mismo, se llevó a cabo un análisis de varianza para cada colonia (Cuadro 1-4).

Utilizando los promedios de cada una de las muestras, se realizó una gráfica donde se representaron los valores de cadmio (Figura 4), cromo (Figura 5), plomo (Figura 6) y arsénico (Figura 7) de todas las casas junto con el error típico..



**Figura4** . Promedios de contenido de cadmio obtenidos por muestra en suelos superficiales urbanos (PD: Pradera Dorada, ME: Mariano Escobedo, IA: Infonavit Aeropuerto y LJ: Ladrillera de Juárez).

Tomando en cuenta la totalidad de las casas-habitación que abarcó el presente

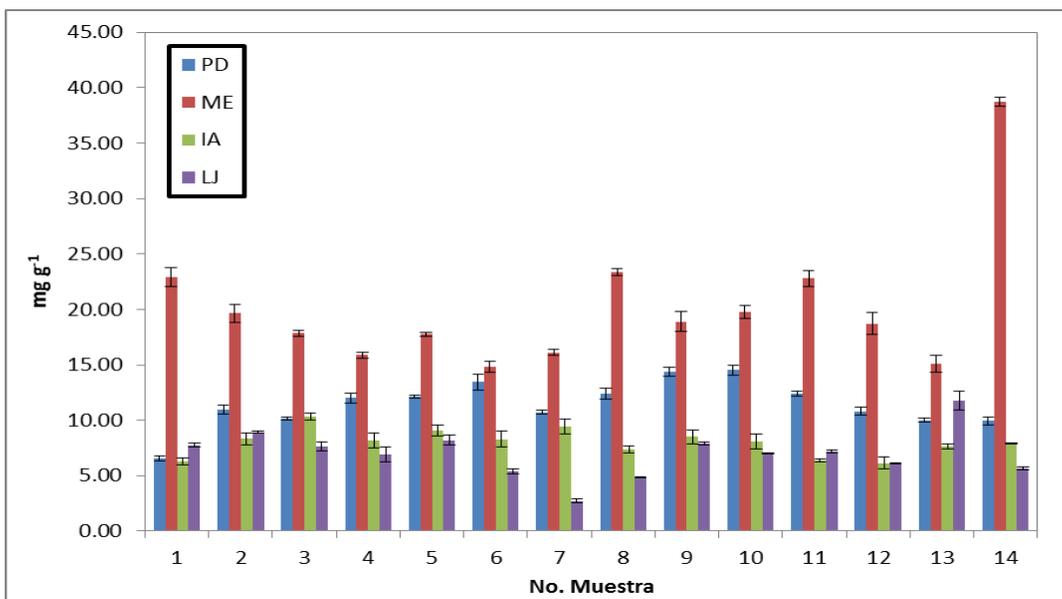
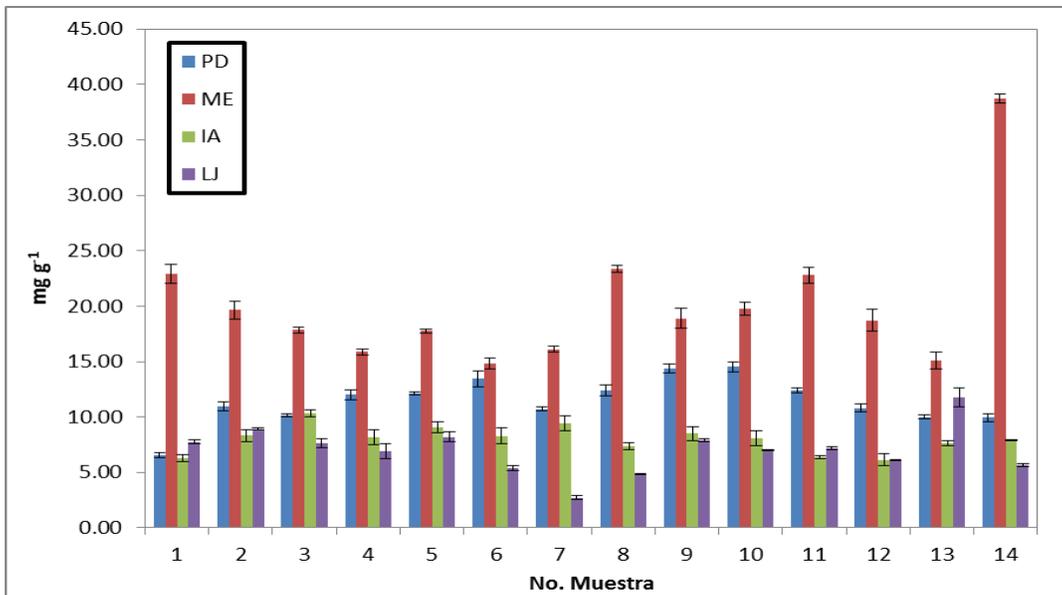
estudio, se obtuvo el análisis de varianza para cada uno de los analitos.

Cuadro 1. Análisis de Varianza de los valores de cadmio en casas habitación en conjunto (PD, ME, IA y LJ) de la zona urbana de Ciudad Juárez.

Variable dependiente: cadmio					
Fuente	DF	suma de cuadrados	cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	55	860.04786	15.637234	60.49	<.0001
Error	112	28.953333	0.2585119		
Total correcto	167	889.00119			
	R-cuadrado	Coeficiente de Variación	Raíz MSE	Media	
	0.967432	13.18994	0.508441	3.854762	
Fuente	DF	Anova SS	cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Muestra	13	108.43536	8.3411813	32.27	<.0001
Casa	3	423.61726	141.20575	546.23	<.0001
Muestra*Casa	39	327.99524	8.4101343	32.53	<.0001

Cuadro 2. Análisis de Varianza de los valores de cromo en casas habitación en conjunto (PD, ME, IA y LJ) de la zona urbana de Ciudad Juárez.

Variable dependiente: cromo					
Fuente	DF	suma de cuadrados	cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	55	10324.491	187.71801	326.22	<.0001
Error	112	64.44896	0.57544		
Total correcto	167	10388.94			
	R-cuadrado	Coeficiente de Variación	Raíz MSE	Media	
	0.993796	7.631268	0.758576	9.940363	
Fuente	DF	Anova SS	cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Muestra	13	320.5085	24.6545	42.84	<.0001
Casa	3	8680.4792	2893.4931	5028.34	<.0001
Muestra*Casa	39	1323.503	33.935975	58.97	<.0001



**Figura 5.** Promedios de contenido de cromo obtenidos por muestra en suelos superficiales urbanos (PD: Pradera Dorada, ME: Mariano Escobedo, IA: Infonavit Aeropuerto y LJ: Ladrillera de Juárez).

Con los valores obtenidos después del análisis de las muestras por ICP se obtuvo la concentración ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en suelo superficial, todos los análisis fueron realizados por triplicado, así mismo, se obtuvo la desviación estándar y con ello se calculó el error típico, que indica la variación que se presenta en una misma

muestra, para ello, se dividió la desviación estándar entre la raíz cuadrada de tres, (tres repeticiones de cada muestra). De esta forma se puede conocer de manera preliminar la diferencia existente en una misma muestra.

Los resultados iniciales obtenidos de la casa-habitación de PD indican que la

concentración más alta de cadmio se presentó en el periodo del 13 de enero al 6 de febrero de 2011, con un promedio de concentración de  $4.05 \text{ mg kg}^{-1}$ , lo cual está fuertemente relacionado con la temporada de vientos intensos en la ciudad, y donde por ende el arrastre de partículas se ve incrementado. Por otra parte, en el sitio de muestreo de ME la mayor concentración de cadmio se presentó hasta el final del muestreo, del 18 al 28 de agosto de 2011, con una concentración de  $15.73 \text{ mg kg}^{-1}$ , esto puede atribuirse a que en este periodo las lluvias fueron escasas por lo que el contenido de partículas puede incrementarse ya que no se da el lavado de suelos. Lo anterior fue diferente a las muestras obtenidas de IA y LJ, que presentaron altas concentraciones al principio del estudio; IA presentó una concentración de cadmio mayor en el periodo del 22 de octubre al 15 de noviembre de 2010 ( $88 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y LJ en el periodo del 24 de septiembre al 18 de octubre de 2010 ( $3.53 \text{ mg kg}^{-1}$ ). A pesar de que estas concentraciones se presentaron un año antes que las ya mencionadas de ME, se observa que también la época en la que fueron tomadas estas muestras no se presentaron lluvias, por lo que al igual que en ME no hubo lavado de suelo a causa de la precipitación pluvial.

En el caso del cromo, la casa de PD presentó una mayor concentración en el periodo del 2 al 26 de mayo de 2011, ( $14.51 \text{ mg kg}^{-1}$ ), en este periodo se presentaron varios días con fuertes vientos lo que pudo originar el arrastre de partículas al sitio de estudio. Por otra parte, las casas-habitación de ME e IA presentaron las concentraciones más altas en el mismo periodo en el que se presentaron las concentraciones más altas de cadmio. ME en el periodo de 18 al 28 de agosto de 2011 presentó una concentración de  $38.71 \text{ mg kg}^{-1}$  y la correspondiente a IA en el periodo del 22 de octubre al 15 de

noviembre de 2010 presentó  $10.31 \text{ mg kg}^{-1}$ , esto también está relacionado con la ausencia de lluvias en esa temporada, generando así la acumulación de cromo en el suelo. Contrariamente a lo anterior, la casa-habitación de LJ no presentó los valores más altos en el mismo periodo que el cadmio, ya que los valores mayores esta casa-habitación ( $11.76 \text{ mg kg}^{-1}$ ) fueron en el periodo del 22 de julio al 15 de agosto de 2011 donde tampoco se presentaron muchas lluvias. Con todo lo anterior se observó que al igual que los valores del cadmio, las concentraciones no son uniformes en las diferentes zonas de la ciudad.

Con respecto a los análisis de varianza, se pudo denotar que, en relación al cadmio, este mostró un efecto significativo para las muestras, casas y la interacción casas por muestras ( $p < 0.0001$ ) con un coeficiente de variación de 13.18%, el cual se puede considerar alto con respecto a la media general que fue de  $3.85 \text{ mg kg}^{-1}$  (Cuadro 1).

La comparación de promedios para cadmio indicó que de las 14 muestras, la muestra 14 de la casa-habitación de ME mostró un valor promedio significativamente superior con  $5.96 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que el resto de las muestras mostraron valores en un intervalo de 5.10 a  $2.84 \text{ mg kg}^{-1}$ .

La comparación de concentraciones promedio entre casas para la concentración de cadmio indicó que la casa-habitación de ME mostró el valor promedio significativamente superior con  $6.59 \text{ mg kg}^{-1}$  (Cuadro 1), mientras que las casas de IA y LJ mostraron el valor menor con 2.71 y  $2.89 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente.

El análisis de varianza para cromo mostró efecto significativo para las

muestras, casas y la interacción casas por muestras ( $p < 0.0001$ ) con un coeficiente de variación de 7.63%, el cual se considera aceptable (Cuadro 2).

La comparación de promedios de cromo indicó que de las 14 muestras, la muestra 14 correspondiente a la ME, mostró un valor superior ( $14.16 \text{ mg kg}^{-1}$ ), mientras que el resto de las muestras mostraron los menores promedios en un intervalo de  $10.82$  a  $8.23 \text{ mg kg}^{-1}$ .

La comparación de promedios entre suelos urbanos superficiales para la concentración de cromo indicó que la casa de ME mostró el valor promedio superior con  $20.17 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que la casa de LJ mostró el valor menor con  $0.14 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 5).

Con todo ello, se observa que las concentraciones más altas fueron las de la casa-habitación de ME, esto está relacionado con los factores que presenta esta zona de estudio, ya que existe una gran cantidad de calles sin pavimentar con lo que el movimiento continuo de vehículos desplaza diferentes partículas provenientes de los escapes de estos mismos vehículos, además, en esa zona un gran sector de la población utiliza calefacción a base de combustión de leña, se incinera basura y dicha zona se encuentra aledaña a un sector donde anteriormente existieron ladrilleras en las que las emisiones de cadmio al ambiente por el mismo proceso de la fabricación de ladrillo eran desplazadas por el viento y por consiguiente se desarrolló una distribución de estas partículas en diferentes suelos.

Por otra parte, la casa-habitación de LJ presentó los valores más bajos según el promedio obtenido para cromo y se encontró junto con la casa-habitación de IA con los valores más bajos de cadmio. Esto a pesar

de que dicha casa-habitación se encuentra aledaña a una ex-fundidora del estado norteamericano de Texas, donde uno de los metales producidos era cadmio, que al igual que en la casa-habitación de ME, dicha zona no presenta pavimentación, se incinera basura y se utiliza el mismo sistema de calefacción durante el invierno. No obstante, la casa-habitación no presentó niveles altos en ninguno de los metales analizados, hecho atribuible a que el viento ha desplazado las partículas de cadmio y cromo hacia otros sectores de la ciudad.

En la casa-habitación de PD, la relación con la época de viento es muy estrecha, ya que se observaron mayores niveles de concentración tanto de cadmio como de cromo en las épocas donde los vientos fueron más intensos. Sin embargo, estos valores no fueron muy grandes en relación con la casa-habitación de ME a pesar de que la zona en la que se encuentra esta casa-habitación es aledaña a otro sector de la ciudad donde se produce ladrillo, por lo que el arrastre de partículas por el viento no está dirigido a esta zona.

En la casa-habitación ubicada en IA, las concentraciones tampoco fueron elevadas con relación a la casa-habitación de ME. No obstante, por esta zona la influencia de actividades antropogénicas que podrían generar el aumento de concentración de cadmio y cromo, no son tan elevadas como en la zona que presentó los niveles más altos, ya que los sitios que podrían producir este efecto son talleres de carrocerías automotrices, ya que al pintar los automóviles con diferentes esmaltes y barnices podrían ocasionar que diferentes partículas se diseminen por el viento a los suelos aledaños, sin embargo este fenómeno no es representativo.

En cuanto a la normatividad ambiental, es importante mencionar que en México se carece de información relativa a la calidad de suelos en términos del contenido de metales pesados, ya que los datos disponibles corresponden a información que se genera en otros países, extrapolada a los suelos nacionales (Vázquez *et al.*, 2005). Por lo tanto, para saber si los resultados encontrados son adecuados no se cuenta con información disponible. No obstante, si son comparados con los límites máximos permisibles de la única normativa mexicana relacionada con la calidad de los suelos (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004), que establece como límite máximo permisible para suelo de uso residencial  $37 \text{ mg kg}^{-1}$  de cadmio y  $280 \text{ mg kg}^{-1}$  de cromo hexavalente, los resultados obtenidos no sobrepasan la normatividad. Esta normatividad muestra valores de concentración relativamente altos, ya que está destinada para establecer criterios de remediación de suelos contaminados con estos elementos.

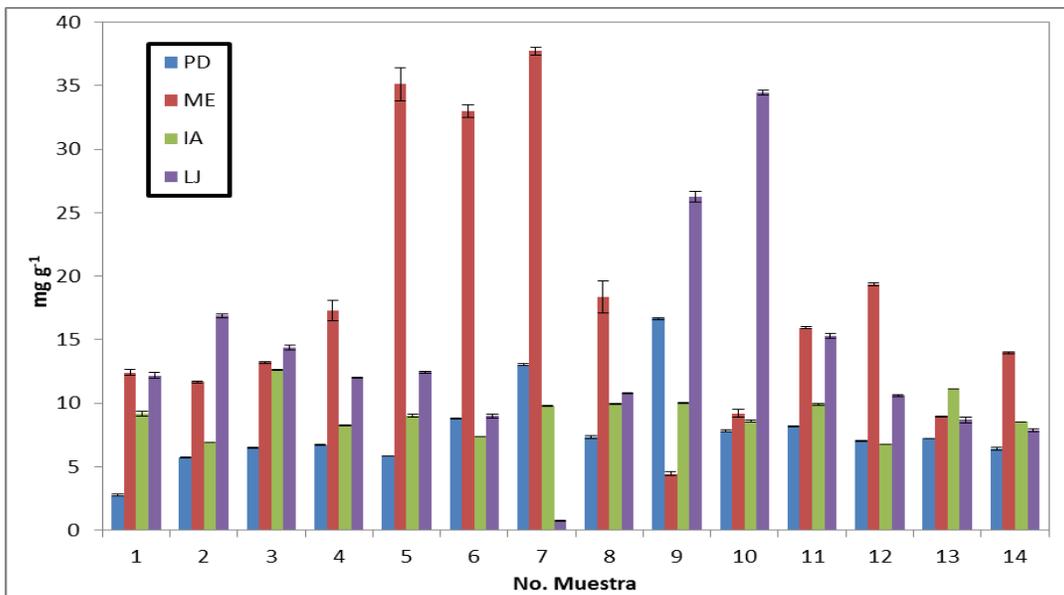
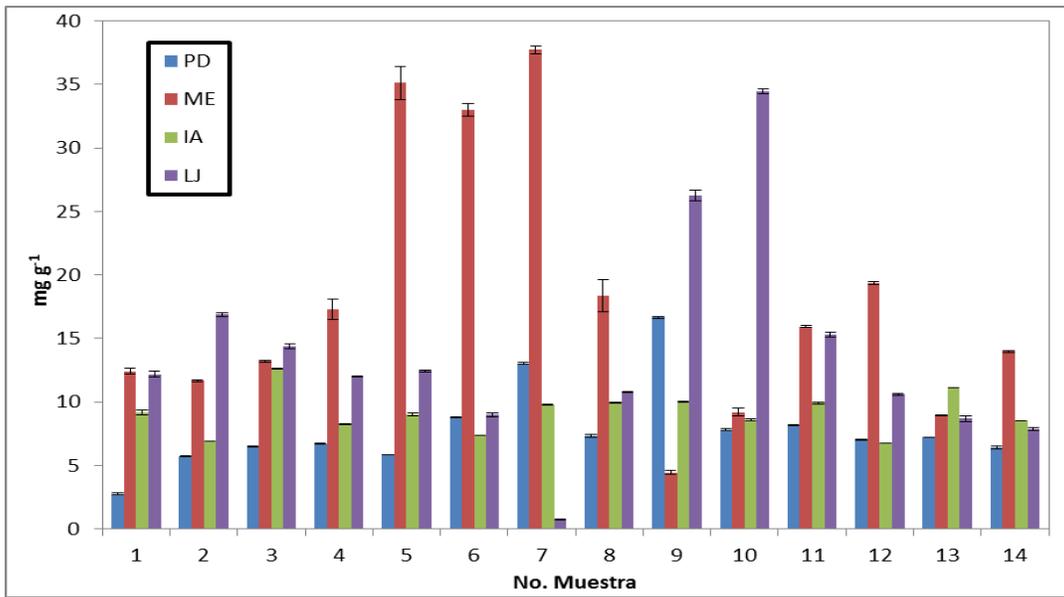
En el caso del cromo, en el presente estudio no se realizó el análisis del cromo hexavalente, ya que para ello se requieren análisis de especiación química. La normatividad mexicana solo refiere el límite máximo permisible de cromo hexavalente

debido a que es el más tóxico y por lo tanto requiere una mayor atención.

Ahora bien, si los valores obtenidos son comparados con los que reportan Mas y Azcue (1993) como concentraciones naturales de metales pesados en suelos, es decir, sin la actividad del hombre, en el caso del cadmio se sobrepasa esta concentración natural en todos los sitios de muestreo, ya que el umbral permisible es de  $0.35 \text{ mg kg}^{-1}$ . No obstante, en el caso del cromo los datos obtenidos se encuentran dentro del umbral ( $70 \text{ mg kg}^{-1}$  como límite máximo) y el valor promedio obtenido más alto fue de  $20.17 \text{ mg kg}^{-1}$  correspondiente a la casa-habitación ubicada en ME.

Así mismo, según los valores estándar de Holanda donde se consideran varios niveles, los valores obtenidos en este estudio entran en el nivel indicativo por encima del cual hay contaminación demostrable ya que estos sobrepasan  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  (Vegter, 1995) y deben considerarse de atención ya que exceden el umbral antes mencionado.

Para el caso del plomo, la Figura 6 muestra la concentración en base al promedio obtenido en las cuatro colonias así como el margen de error en cada muestra.



**Figura 6.** Promedios de contenido de plomo obtenidos por muestra en suelos superficiales urbanos (PD: Pradera Dorada, ME: Mariano Escobedo, IA: Infonavit Aeropuerto y LJ: Ladrillera de Juárez).

Cuadro 3. Análisis de Varianza de los valores de plomo en casas habitación en conjunto (PD, ME, IA y LJ) de la zona urbana de Ciudad Juárez.

Variable dependiente: plomo					
Fuente	DF	suma de cuadrados	cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	55	9918.822485	180.342227	658.10	<.0001
Error	112	30.691667	0.274033		
Total correcto	167	9949.514152			
	R-cuadrado	Coefficiente de Variación	Raíz MSE	Media	
	0.996915	4.310072	0.523481	12.14554	

Fuente	DF	Anova SS	cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Muestra	13	902.526027	69.425079	253.35	<.0001
Casa	3	2640.347068	880.115689	3211.72	<.0001
Muestra*Casa	39	6375.949390	163.485882	596.59	<.0001

Los promedios de concentración de plomo más bajos fueron los provenientes de PD (valor máximo obtenido para esa colonia = 15.6 mg kg<sup>-1</sup>). Por otro lado, las concentraciones de plomo más elevadas pertenecieron a las muestras provenientes de ME (37.733 mg kg<sup>-1</sup>).

En la colonia IA, las concentraciones más altas se presentaron entre 11.13 y 12.63 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que para la colonia LJ los valores más altos fueron se ubicaron entre 26.66 y 15.33 mg kg<sup>-1</sup>.

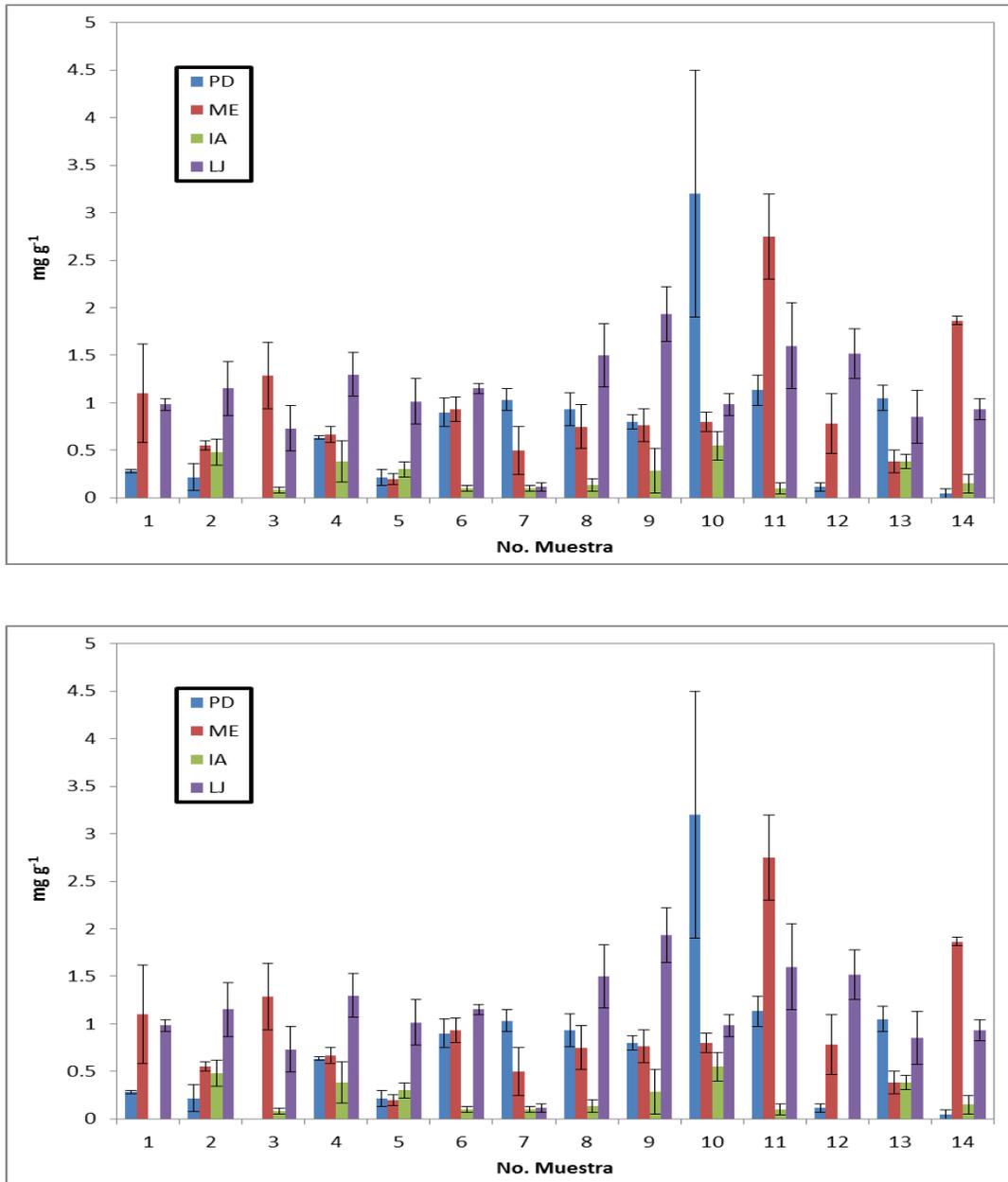
El análisis de varianza para plomo (Cuadro 3) indica efecto significativo para las muestras, casas y la interacción casas por muestras (p<0.0001) con un coeficiente de variación de 4.31%, el cual se considera bajo.

La comparación de promedios para la concentración de plomo indica que de las 14 muestras, tres de ellas mostraron valores promedio superiores significativamente con 15.6, 15.3 y 15.0 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que las muestras los menores valores promedios fueron 9.19, 9.12 y 8.99 mg kg<sup>-1</sup>.

La comparación de promedios entre casas para la concentración de plomo indica que la casa de la colonia ME mostró el valor promedio superior significativamente con 17.90 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que la casa de la colonia PD mostró el valor menor con 7.86 mg kg<sup>-1</sup>.

En la Figura 7 se muestran las concentraciones de arsénico observadas en las muestras de suelo provenientes de las cuatro colonias. Así mismo, se muestran los

Análisis de Varianza efectuados para el arsénico en las casa habitación (Cuadro 4).



**Figura 7.** Promedios de contenido de arsénico obtenidos por muestra en suelos superficiales urbanos (PD: Pradera Dorada, ME: Mariano Escobedo, IA: Infonavit Aeropuerto y LJ: Ladrillera de Juárez).

Cuadro 4. Análisis de Varianza de los valores de arsénico en casas habitación en conjunto (PD, ME, IA y LJ) de la zona urbana de Ciudad Juárez.

Variable dependiente: arsénico					
Fuente	DF	suma de cuadrados	cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	55	71.27665179	1.29593912	6.49	<.0001
Error	112	22.36833333	0.19971726		
Total correcto	167	93.64498512			
	R-cuadrado	Coefficiente de Variación	Raíz MSE	Media	
	0.761137	58.58662	0.446897	0.762798	

Fuente	DF	Anova SS	cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Muestra	13	14.22394345	1.09414950	5.48	<.0001
Casa	3	19.53087798	6.51029266	32.60	<.0001
Muestra*Casa	39	37.52183036	0.96209821	4.82	<.0001

En lo que respecta al arsénico, los promedios más altos se encontraron en PD y ME con 3.20 y 2.75 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente. Los valores más altos de la colonia LJ fueron del orden de 1.6 a 1.5 mg kg<sup>-1</sup>. Por último, los promedios más bajos correspondieron a IA, donde el valor más alto fue de 0.4833 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que en varias muestras la concentración de arsénico no fue detectable.

El análisis de varianza para arsénico también mostro efecto significativo para las muestras, casas y la interacción casas por muestras (p<0.0001) con un coeficiente de variación de 58.51% (Cuadro 4), el cual se considera muy alto.

La comparación de promedios de arsénico indica que de las 14 muestras analizadas, dos de ellas mostraron valores promedio significativamente superiores

(1.40 y 1.38 mg kg<sup>-1</sup>), mientras que las demás muestras mostraron promedios menores en el rango de 0.77 a 0.43 mg kg<sup>-1</sup>.

La comparación de promedios entre casas para la concentración de arsénico indica que las colonias LJ y ME mostraron los valores promedios significativamente superiores con 1.13 y 0.95 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente, mientras que IA mostró el valor menor con 0.22 mg kg<sup>-1</sup>.

Una vez conocidos los datos de las concentraciones, el siguiente paso fue compararlos con los límites establecidos de contaminantes del suelo. Sin embargo, es necesario mencionar que en México se carece de información referente a la calidad de suelos en términos del contenido de metales pesados. Los datos disponibles corresponden a información generada en otros países, extrapolada a los suelos

nacionales. De manera que, cuando se trata de diagnosticar el grado de acumulación de los elementos traza en los suelos de México, se usan estos datos como criterios de comparación. Más aún, si se quisiera recomendar o regular el uso racional de residuos contaminantes y mantener un mínimo riesgo de exposición, el primer problema que se enfrenta es la ausencia de límites permisibles de concentración en suelos (Alarcón, 2005).

Según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, los máximos valores permisibles de plomo y arsénico son 5600 y 960 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente. A partir de esto se puede concluir que las concentraciones de plomo y arsénico no representan mayor problema, ya que se

encuentran muy por debajo del valor establecido en la norma. Sin embargo, es necesario recordar que esta norma oficial mexicana fue escrita para determinar las concentraciones de remediación en suelos contaminados, en los que se espera cantidades muy elevadas de estos elementos, por lo que no se puede considerar que los elementos se encuentren de forma natural.

Según Mas y Azcue (1993), los límites permisibles para las concentraciones naturales de arsénico y plomo en suelos son de 6 y 35 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente; en base a ello se puede concluir que el arsénico se encuentra muy por debajo del límite, mientras que el plomo se encuentra ligeramente por encima de este.

## Conclusiones

Se pudo observar que las concentraciones más altas reportadas en los cuatro sitios de la ciudad de cadmio y cromo, se encuentran en la casa-habitación de ME, por lo que, este es el sitio con mayor acumulación de estos metales.

Con lo que respecta al cumplimiento de diferentes normativas, las concentraciones de Cd y Cr en los suelos analizados se encuentran muy por debajo de los niveles que marca la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que se utilizan como criterio para la remediación de sitios contaminados. Siguiendo esta normatividad, los suelos analizados no requieren ser saneados. De hecho, en el caso del cromo, en todas las muestras tomadas se tienen valores que se encuentran dentro de lo normal en concentraciones naturales, por lo que, en relación a la concentración de cromo los suelos analizados presentan niveles que no ponen en riesgo la salud de la población.

En los valores obtenidos de cadmio, a diferencia del cromo, se observó que estos presentaron una concentración superior a lo contiene un suelo de manera natural. Además, estas concentraciones sobrepasaron los valores estándar establecidos para otros países, por lo que estos suelos ya pueden ser considerados como contaminados. No obstante, estos valores no alcanzan los niveles necesarios para considerar tomar medidas de remediación, pero si es importante que se tome en cuenta para evitar problemas de salud en la población.

Así mismo, se debe poner especial atención a la zona de la colonia ME, ya que en este sector de la ciudad el promedio de concentración de cadmio fue más elevado.

La casa de ME mostró tener el mayor promedio de concentraciones de plomo con 17.90 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que la casa de PD mostró el menor promedio con 7.86 mg kg<sup>-1</sup>.

1. En cuanto al arsénico, los promedios mayores de concentración se encontraron en las casas de LJ y ME, con 1.13 y 0.95 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente, dichos valores no sobrepasan los límites máximos permitidos

por la normatividad mexicana, pero en el caso particular del plomo, se encuentra en concentraciones ligeramente mayores a las presentes en un medio natural.

## Referencias

Alarcón A. y col., Límites permisibles de acumulación de cadmio, níquel y plomo en suelos del valle del mezquital, Hidalgo. *Terra Latinoamericana*, Vol. 23, Núm. 4, 2005.

INEGI. Anuario Estadístico, datos nacionales. [En línea] México: 2005. <http://www.inegi.org.mx/> (consulta: 3 de enero de 2011).

Huertos, E.M.; y Romero, A.B. Conferencia: Contaminación de suelos por metales pesados. (macla. n° 10. noviembre-08) Universidad de Sevilla. España. 22 p.

Martín-Gil J et al, Estudio por microscopía electrónica y microanálisis de las uñas de un intoxicado por arsénico. XVIII Congreso de la SEQC, Puerto de la Cruz, Tenerife, 1999.

Mas A.; y Azcue J.M. 1993. Metales en Sistemas Biológicos. Ed. PPU. 324 p.

Norma-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. Diario Oficial, Segunda edición. 8 p.

Novotny, V. "Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters". *Heavy Metals*. 1995. 33(52). 412-427.

Plant, J.; Smith, D.; Smith, B.; y Williams, L. "Environmental geochemistry at the global scale". *Applied Geochemistry*. 2001. 1 p.

Ramírez A. 2002. "Toxicología del cadmio conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos". *Anuales*

de la facultad de medicina: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 1025 (5583). 2-4.

RESA. Procesos medioambientales y energéticos. [En línea] España: 2005. <http://www.resa-bcn.com>. (Consulta: 15 de enero de 2011).

Rodríguez, M.R. Aportaciones al conocimiento del estado medioambiental de hidrosistemas de interés internacional situado en Castilla La Mancha. Tesis doctoral. Universidad de Castilla La Mancha. Castilla La Mancha. 2000. 13 p.

Seoanez, C.M. Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias. 1ª edición. Editorial Mundi Prensa Libros. México, D.F. 2003. 332 p.

Torri, S.I; y Lavado R.S. 2002. Distribución y Disponibilidad de Elementos Potencialmente Tóxicos en Suelos Representativos de la Provincia de Buenos Aires Enmendados con Biosólidos. Universidad de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo* 20 (2) 2002. 18 p.

USEPA, (2002) Method of EPA <http://www.epa.gov/SW-846/under/html>

Vázquez, A. A; Lenom, J. C; Carrillo, R. G; Zamudio, B.G; Álvarez, E. S; y Castellanos, J.R. 2005. "Límites Permisibles de Acumulación de Cadmio, Níquel y Plomo en Suelos deL Valle del Mezquital, Hidalgo". *TERRA Latinoamericana*, Vol. 23, Núm. 4, octubre-diciembre, 2005, pp. 447-455. Universidad Autónoma Chapingo, México. 447 p.

Vegter J.J.; 1995. Soil Protection in the Netherlands. En *Heavy Metals*. Salomons W., Förstner U. y Mader