

CONTENIDO DE METALES PESADOS EN SUELOS SUPERFICIALES DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Ofelia Morton-Bermea

*Instituto de Geofísica, UNAM. Circuito Exterior Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F.
E-mail: omorton@geofisica.unam.mx*

INTRODUCCIÓN

La calidad de vida del ser humano depende de la calidad de su medio ambiente: suelo, agua y aire no contaminados para desarrollarse sanamente, pero la negligencia humana ha dado lugar a que los procesos tecnológicos contaminen con metales tóxicos. Para conocer el grado de contaminación es importante primero conocer los ciclos y reservas naturales para evaluar el impacto por elevación de las concentraciones de metales en el ambiente.

El ser humano ha hecho uso sistemático y organizado de los recursos naturales desde la revolución neolítica: la extracción de metales minerales se inició hace más de 4000 años en pequeñas porciones y hasta que estuvieron disponibles los combustibles fósiles hubo un crecimiento exponencial en el crecimiento y procesamiento de los recursos minerales. Lo anterior aumentó la contaminación de suelos, agua y aire.

La Ciudad de México es una de las regiones más pobladas de la Tierra con más de 20 millones de habitantes en un área aproximada de 1000 km², ésto ha ocasionado un incremento en los niveles de contaminantes ambientales, producto de las emisiones y desechos industriales no controlados, así como de los desechos domésticos aunado a que 4 millones de automóviles que circulan en la Ciudad han aumentado la concentración de metales pesados con el subsecuente deterioro de la calidad ambiental.

CONCENTRACIONES NATURALES DE LOS ELEMENTOS

La abundancia natural de los elementos químicos en la superficie de la tierra está relacionada con:

- 1) La síntesis de los elementos en las estrellas.
- 2) La separación de la corteza continental y de la atmósfera del manto de la Tierra durante la historia geológica.

- 3) La transformación de la corteza de la Tierra por la interacción entre agua, roca y atmósfera.

Una razón importante para conocer las concentraciones naturales de los elementos pesados en muestras ambientales es proveer de una referencia verdadera que estime la dimensión de la contaminación. Sin embargo, estas concentraciones son difíciles de obtener porque los niveles naturales difícilmente son encontrados en zonas naturales expuestas. Es necesario extrapolar las concentraciones naturales por otros métodos, y los resultados no deberían ser confundidos con los valores naturales. Una alternativa es determinar los valores en zonas totalmente remotas como la Antártica (valores remotos). Otra alternativa es medir los niveles en muestras no expuestas a contaminación antropogénica, por ejemplo, profundidad del suelo (valores de base o valores antiguos).

¿CUÁLES SON LOS CONTAMINANTES TÓXICOS?

La tabla periódica de los elementos químicos resume sus características químicas. Los metales considerados como contaminantes en muestras ambientales se localizan en la tabla periódica principalmente en los bloques *d* y *p*. Los elementos del bloque *d* son los elementos de transición (que en su estructura atómica ocupan orbitales *d*). En este grupo quedan incluidos los metales nobles. Los elementos del bloque *p* son elementos que ocupan orbitales *p* y por lo mismo tienen características metálicas, que incluyen a los metales pesados considerados tóxicos.

Los metales pesados considerados tóxicos cumplen los siguientes criterios:

- Son relativamente abundantes en la corteza continental.
- Son extraídos y usados en procesos industriales.
- Son tóxicos al ser humano.
- Causan perturbaciones a los ciclos biogeoquímicos.

La magnitud de la perturbación a los ciclos biogeoquímicos por los elementos considerados tóxicos se evalúa en diferentes parámetros:

- ¿En qué escala se perturba el ciclo biogeoquímico?
- ¿Es el elemento móvil un proceso geoquímico?
- ¿Por qué medios contamina el metal y cuáles son los daños a la salud humana?

BIOINDICADORES PARA EL MONITOREO DE METALES PESADOS EN EL AMBIENTE

Los indicadores ambientales son adecuados tanto para la observación a largo plazo de los ecosistemas como para el planeamiento y control de los efectos antropogénicos. En los últimos años los indicadores biológicos se han aplicado para el aseguramiento de la calidad de suelos, agua, aire, etc.

Una bioindicación es una respuesta sensitiva cuantitativamente medible en objetos biológicos o sistemas a influencias antropogénicas en el medio ambiente. Un bioindicador puede ser de naturaleza óptica, química y de naturaleza físico-bioquímica. Los indicadores ópticos muestran la reducción en el crecimiento de una especie, la decoloración y el cambio en la abundancia y/o comportamiento de los seres vivos. Los indicadores físico-químicos muestran, por ejemplo, la reducción de la actividad enzimática o la inhibición de algunas funciones fisiológicas. Los biomonitores sensitivos son utilizados en ecosistemas acuáticos como indicadores de estrés por contaminación.

Los sistemas de monitoreo se pueden dividir en 2 categorías: las pruebas ecológicas y las pruebas de toxicidad.

- Las pruebas ecológicas usan pruebas basadas en las comunidades biológicas, diversidad numérica, etc. Las comparaciones entre las áreas afectadas y las de control, las pruebas ecológicas pueden expresar la salud del agua expuesta a contaminación.
- Las pruebas de toxicidad, como su nombre lo indica, se aplican para conocer la toxicidad general de efluentes introducidos al ecosistema.

Los biomonitores de acumulación representan el tipo de indicadores que ha sido estudiado más extensamente. La acumulación de elementos pesados ha sido observada en muchas partes de los ecosistemas. Los más estudiados han sido Cu (cobre), Pb (plomo), Cd (cadmio), Hg (mercurio), Zn (zinc) y As (arsénico).

DIFERENCIA ENTRE CONCENTRACIONES DE METAL ESENCIAL Y METAL TÓXICO

El conocimiento de la química de los metales es muy completo, el problema es la poca información que se tiene acerca de la bioquímica y de sus efectos combinados con la nutrición y la toxicidad. Se tienen realmente pocos datos de la interacción de

metales en humanos. La mayoría de las conclusiones se tiene por extrapolación. Todas las especies dependen de la presencia de metales en su dieta para mantenerse vivos y para reproducirse. En la Tabla I se muestran los principales elementos considerados como esenciales y tóxicos. El que un elemento sea considerado esencial o no depende de su participación en las reacciones bioquímicas. En este caso, el término esencial se aplica cuando un déficit medible en la dieta reduce el crecimiento y la vitalidad en un grado reproducible. Si aplicamos esta definición es posible que elementos reconocidos como tóxicos como As, Cd, Pb, sean necesarios en cantidades mínimas para el funcionamiento del metabolismo. Los elementos traza ocupan sólo el 0.012% del peso del cuerpo (8.6 g), pero esta fracción tiene una función muy importante. Las funciones bioquímicamente importantes de los metales tóxicos en el cuerpo humano se expresan en la Tabla II.

Metales esenciales	Metales tóxicos
Zinc	Cadmio
Hierro	Níquel
Manganese	Plomo
Cobre	Aluminio
Cobalto	Arsénico
	Mercurio

Tabla I. Metales esenciales y metales tóxicos.

DETERMINACIÓN DE LOS METALES PESADOS EN MUESTRAS DE SUELO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

El alto grado de crecimiento industrial y de urbanización en la Ciudad de México la han convertido, como ya se mencionó, en una de las regiones más altamente pobladas de la Tierra provocando un deterioro en la calidad del medio ambiente urbano y en la calidad de vida. Situaciones similares, relacionadas al impacto antropogénico debido a un desarrollo industrial y urbano rápido, han sido reportados en diversas partes del mundo, evaluado en términos del contenido de contaminantes metálicos. La complejidad de los ciclos geoquímicos en el ambiente, es tal que hace muy difícil reconocer las fuentes de contaminación, sin embargo, es fácil reconocer el aporte de emisiones vehiculares en la contaminación de suelos expuestos a diferentes intensidades de tránsito vehicular, como en el área metropolitana de la Ciudad de México, que fueron muestreados durante el año 2000. Éstas muestras presentaron plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn) y cadmio (Cd). El trabajo analítico se realizó en el Laboratorio ICP-MS del Instituto de Geofísica de la UNAM. Los contenidos de metales se muestran en la Tabla III.

La comparación de los contenidos de metales con respecto a los valores base dan por resultado que todas las muestras analizadas están contaminadas. En todas las muestras, el Pb es el metal que presenta los mayores índices de acumulación (en un rango entre 240 y 1570 mg/k), el Zn muestra valores de hasta 741.7 mg/k y el

Substancia	Órgano crítico	Efecto crítico
Cadmio	Pulmón Riñón	Cáncer de pulmón Mayor excreción urinaria de proteínas de bajo peso molecular
Plomo	Pulmón Sistema nervioso periférico	Enfisema, leves cambios funcionales Menor velocidad de conducción del impulso nervioso en las fibras
Mercurio	Sistema nervioso central Riñón	Descenso del Cl y otros efectos sutiles; temblor mercurial (dedos, labios, párpados). Proteinuria
Manganeso	Sistema nervioso central Pulmón	Deterioro de funciones psicomotoras Síntomas respiratorios

Tabla II. Efectos de algunos metales tóxicos en el ser humano.

Cu entre 40.2 y 120.4 mg/k. Las concentraciones más altas de Pb, Zn y Cu están relacionadas con suelos expuestos a condiciones de tránsito pesadas.

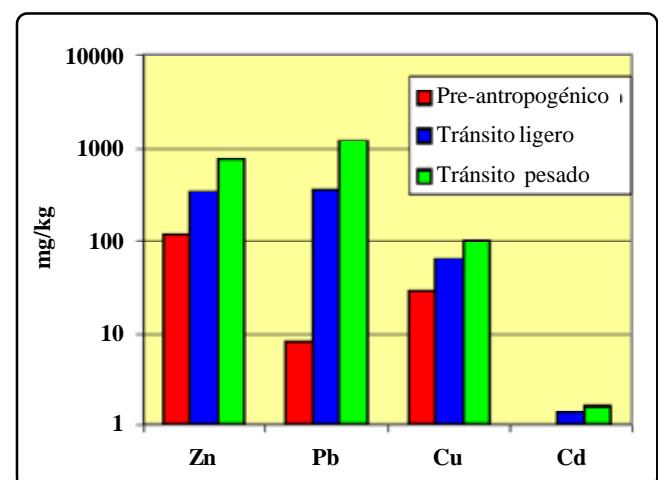
La baja contribución antropogénica del Cd en suelos urbanos, es independiente de las condiciones vehiculares, ya que las concentraciones de este elemento no muestran cambios significativos bajo diferentes condiciones de tránsito.

Las altas concentraciones de Pb en los suelos analizados se puede atribuir principalmente al uso de gasolina con contenido de plomo. Las concentraciones de Pb, Zn, Cu y Cd son más altas que las reportadas en las zonas urbanas de otras partes del mundo. El análisis de estos resultados muestra la preocupante situación ambiental en áreas urbanas de la Ciudad de México, la cual tiende a empeorar si no se toman las medidas de control

necesarias para evitar la contaminación del suelo. A pesar de que en el año 1998 se retiró del mercado en México la gasolina con plomo, el contenido acumulado a lo largo de los años lo clasifican como el contaminante metálico más abundante en suelos urbanos de la Ciudad de México.

	Zn	Pb	Cu	Cd
Pre-antropogénico	114.50	8.10	28.90	1.00
Tránsito ligero	335.50	354.10	61.70	1.40
Tránsito pesado	741.70	1188.90	98.20	1.60

Tabla III. Contenidos de metales.



Gráfica 1. Concentraciones de metales pesados en suelos urbanos expuestos a diferentes tipos de tránsito en la Ciudad de México