

CARACTERIZACIÓN DE METALES TÓXICOS EN POLVOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Julio FLORES¹, Mabel VACA², Raymundo LÓPEZ² y Manuel BARCELÓ³

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, ¹Departamento de Ciencias Básicas y ²Departamento de Energía, Av. San Pablo 180, Del. Azcapotzalco, 02200 México D.F. Correo electrónico: jfr@hp9000a1.uam.mx
³Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Química, Depto. de Química Analítica, Calle 41 n° 421 Exterrenos del Fénix, Mérida 97150 Yucatán

(Recibido marzo 1998, aceptado agosto 1998)

Palabras clave: polvos, zonas urbanas, metales tóxicos, especiación de metales

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la caracterización de algunos metales tóxicos asociados a polvos colectados en dos sitios de la Ciudad de México con diferente intensidad de tráfico. Para realizar este estudio se determinaron las concentraciones totales de plomo, cobre y manganeso. Éstas fueron superiores a las naturales de suelos no contaminados y a los valores límites establecidos en Holanda para uso de suelos. También se llevó a cabo la separación granulométrica y se midieron las concentraciones de estos metales por clase granulométrica. Los resultados mostraron que más del 50 % de las partículas tienen tamaños menores a 0.250 mm y en ellas se encuentran las cantidades más elevadas de plomo, cobre y manganeso. También se caracterizaron los metales evaluando su movilidad con un esquema de especiación de extracciones consecutivas. Se encontró que el plomo es el metal más móvil y que más del 60 % del plomo total es susceptible de liberarse en medio ligeramente ácido, en el caso del manganeso un poco más del 25 % se liberaría por la misma razón y casi todo el cobre se movilizaría en condiciones oxidantes.

ABSTRACT

A study on toxic heavy metals found in dust collected in two sites with different traffic affluence in Mexico City is reported. The total amount of lead, copper and manganese were determined. These concentrations were higher than normal concentrations found in non-polluted soils and also higher than the limit values given in Holland for soil usage. Granulometric separation of dusts was also performed and heavy metals concentration was determined by granulometric class. More than 50% of the measured dust particles had diameters > 0.250 mm and they contained the highest concentrations of lead, copper and manganese. Using a speciation scheme of consecutive extractions, metals mobility was assessed. Lead was observed as the most mobile metal, more than 60% of the total lead concentration and more than 25% of the total manganese concentration could be dissolved in a slightly acid medium; almost 100% of the total copper amount was mobile in oxidant conditions.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales tóxicos en zonas urbanas es una gran preocupación de las autoridades sanitarias debido a la elevada toxicidad y persistencia de estos agentes. El plomo es un elemento tóxico no esencial con capacidad de bioacumulación que afecta prácticamente a todos los órganos y sistemas del organismo; los más sensibles al metal son: el nervioso (especialmente en niños), el hematopoyético y el cardiovascular (ATSDR 1993). El cobre es tóxico para el alga *Scenedesmus quadricada*, la bacteria *Klebsiella aerogenes* y el anfipodo *Hyallela azteca* (Morrison 1990). El manganeso puede afectar el sistema nervioso central y al sistema respiratorio (Galvão y Corey 1987).

La contaminación por metales tóxicos se ha incrementado en zonas urbanas debido, entre otras causas, al alto aforo vehicular que caracteriza estas zonas. Los automóviles emiten cantidades importantes de metales tóxicos en forma de partículas por los escapes, también por la corrosión de las piezas metálicas de los mismos, la degradación de las llantas y las fugas del aceite de los frenos. Otras fuentes de metales tóxicos en las zonas urbanas son: la erosión de la capa de recubrimiento de las calles y avenidas, la desintegración de los materiales de construcción por la acción de la lluvia y el viento, las emisiones de las chimeneas de las industrias, panaderías, tortillerías, baños públicos, hoteles y hospitales.

La mayor proporción de estos metales queda depositada en

las calles o en forma de aerosoles atmosféricos. En zonas urbanas se han medido elevados niveles de plomo, zinc, cadmio y cobre en aerosoles (Salazar *et al.* 1990) y en lluvia "seca" (Garnaud 1994). Se han determinado altas concentraciones de plomo, cinc, cadmio y cobre en polvos depositados en calles, avenidas y estacionamientos (Harrison *et al.* 1981, Hamilton *et al.* 1984, Beckwith *et al.* 1986).

El estudio de polvos es particularmente importante en la Ciudad de México, debido a la gran cantidad de vehículos de motor que circulan diariamente, al mal estado en que se encuentran las avenidas y a la forma y al tipo de material utilizado para reparar el pavimento de las calles. Por otro lado, en tiempo de secas, el viento suspende una cantidad importante de polvo que puede ser tragado o respirado por los ciudadanos o bien contaminar los alimentos que se consumen en la calle. En tiempo de lluvias, estos polvos son arrastrados por el agua hacia al drenaje en donde posiblemente se depositan o mezclan con las aguas residuales y de esta forma terminan en los campos de riego o en las estaciones de tratamiento, en donde pueden causar contaminación de suelos y productos agrícolas o bien perturbar el funcionamiento de las plantas de tratamiento.

METODOLOGIA

Se determinó la concentración de plomo, cobre y manganeso totales contenida en los polvos de una avenida con tránsito intenso (sitios de estudio) y un lugar residencial (sitio de referencia); se determinó la distribución granulométrica de las mues-

TABLA I. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

	Eje	Referencia
Autos/hora	2479	35
Microbuses/hora	295	0
Autobuses/hora	297	1
Motocicletas/hora	10	1
Bicicletas	1	7
Uso del suelo	tránsito, habitacional	
Flora	eucaliptos, cedros, fresnos	

tras y los niveles de concentración de plomo, cobre y manganeso por tamaño de partícula. Se aplicó un esquema de especiación (extracciones sucesivas) en 6 etapas o fracciones a sólidos colectados en el norte de la Ciudad de México con el propósito de determinar el perfil de movilidad de cada metal.

Sitio de estudio y muestreo

Los sitios de estudio (Fig. 1) se encuentran localizados en la Delegación Azcapotzalco en el norte de la Ciudad de México (entre paréntesis se encuentra el nombre que identifica a cada sitio): las cuatro esquinas del cruce del eje 5 norte y la avenida San Pablo (1, 2, 3 y 4) y como sitios de referencia dos puntos de la calle Potrero del Llano en el tramo comprendido entre las calles Miguel Lerdo de Tejada y Faja de Oro (muestras de referencia identificadas como A y B). En la tabla I se presentan las características del aforo vehicular de cada sitio.

Se llevaron a cabo dos campañas de muestreo: 15 de mayo y 27 de junio de 1994. Las muestras fueron colectadas utilizando una aspiradora de mano y transportadas al laboratorio en bolsas de polietileno, fueron tamizadas en malla de 1 mm para eliminar

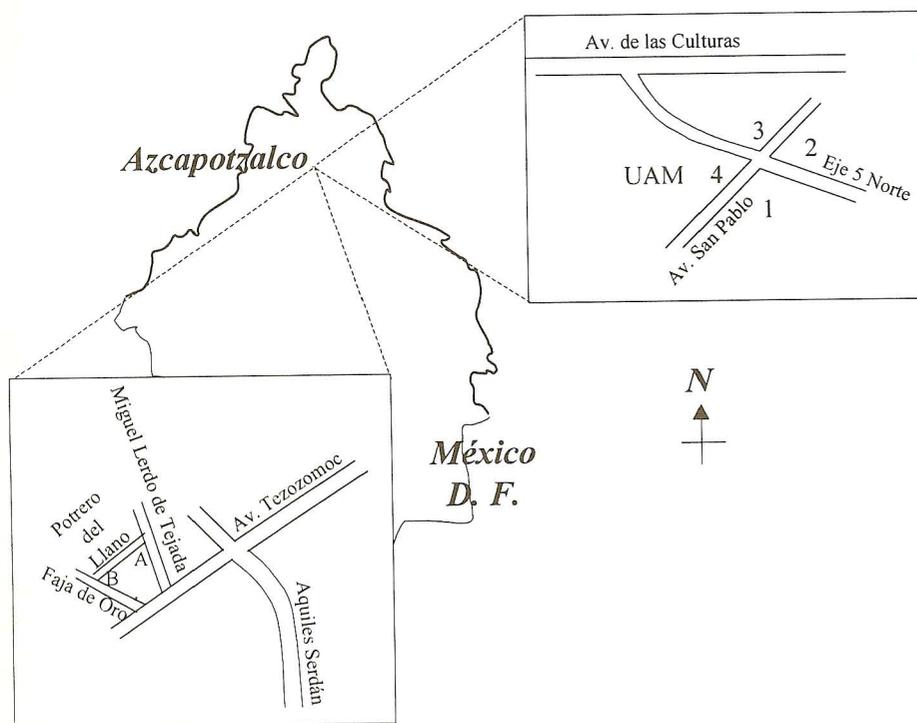


Fig. 1. Localización de los sitios de muestreo

las macropartículas, secadas a 100 °C durante 3 horas y guardadas a 4 °C hasta antes de tratarlas y analizarlas.

Limpieza de material y preparación de muestras

Todo el material fue lavado de acuerdo con el método reportado por Flores (1988). Se emplearon reactivos Merck suprapuros y agua destilada y deionizada. Para la extracción de los metales se procedió a una digestión con HNO₃-HClO₄ conforme al método descrito por Flores y Thévenot (1988).

Determinación de la distribución granulométrica

Después de colectar las muestras se procedió a tamizarlas (tamizador portátil Sieve Shaker, modelo RX-24) con una malla de 1.13 mm, por media hora, con objeto de homogeneizarlas. Posteriormente, se tamizaron 150 g de muestra seca en mallas de 0.42, 0.25 y 0.074 mm.

Esquema de especiación

Se utilizó el esquema de especiación descrito por Flores (1992), el cual se resume en la tabla II.

TABLA II. ESQUEMA DE ESPECIACIÓN

Fración (símbolo)	Reactivos
Hidrosoluble (HIDRO)	Agua a pH 7
Intercambiable (INTER)	NH ₄ Ac a pH 7*
Acido-soluble (AS)	NaAc a pH 5 con ácido acético
Reducible (RED)	NH ₂ OH en ácido acético al 25 %
Oxidable (OXI)	H ₂ O ₂ /HNO ₃ /NHAc
Residual (RES)	HNO ₃ /HClO ₄

*Ac = acetato

Análisis de las muestras

Se determinaron las concentraciones de plomo, cobre y manganeso por espectroscopia de absorción atómica (espectrofotómetro Varian Spectra 20), por el método de flama y utilizando curvas de calibración. En la tabla III se muestran los límites de detección experimentales y las incertidumbres analíticas. Todas las muestras se trataron por duplicado.

TABLA III. LÍMITES DE DETECCIÓN E INCERTIDUMBRES ANALÍTICAS

Metal	Límite de detección (mg/L)	Incertidumbre analítica (%)
Plomo	0.1	1.07
Cobre	0.03	0.60
Manganeso	0.02	1.63

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Metales Totales

En la tabla IV se presentan los resultados obtenidos de plomo, cobre y manganeso totales en las dos campañas de muestreo.

En el caso del plomo, al comparar los resultados entre los sitios de referencia (A y B) y los de estudio, se observa una diferencia muy clara, con valores más altos de los sitios de estudio que en los de referencia, sobre todo en el primer muestreo.

TABLA IV. METALES TOTALES EN POLVOS URBANOS EN LA DELEGACIÓN AZCAPOTZALCO DURANTE LA CAMPAÑA DE 1994 (mg/kg m.s.)

Sitio	Plomo		Cobre		Manganeso	
	Mayo 16	Junio 27	Mayo 16	Junio 27	Mayo 16	Junio 24
A	466± 56	384± 46	133± 17	119± 16	232± 10	192± 9
B	456± 55	320± 38	95± 14	132± 18	282± 4	174± 3
1	684± 12	390± 5	203± 7	349± 12	195± 14	166± 12
2	586± 7	402± 5	165± 5	147± 4	306± 15	186± 9
3	578± 46	525± 42	201± 12	110± 7	219± 1	228± 3
4	803± 61	645± 45	102± 9	87± 7	227± 8	229± 8

Esta diferencia, probablemente, se debe a la intensidad del tráfico entre los dos sitios. Con respecto al cobre y al manganeso las diferencias son menos claras.

Entre el primero y el segundo muestreo hay algunos eventos pluviales que probablemente ocasionaron cambios en la concentración de los metales. En el segundo muestreo se aprecia una disminución de los niveles de plomo, lo que sustenta la importancia de las condiciones climáticas. Posiblemente durante las lluvias las partículas más pequeñas, que son las más concentradas en metal, fueron arrastradas por el agua. Por otro lado, la acidez de las aguas de lluvia en la ciudad de México pudo haber solubilizado parte del plomo asociado a los sólidos.

En México no existen ni criterios ni normas de control de metales tóxicos en suelos o polvos. Sin embargo, para tener una idea de la magnitud de la contaminación por estos metales se pueden comparar los valores obtenidos con los límites establecidos o propuestos en otros países. Por ejemplo, se aprecia que en el caso del plomo se pueden encontrar valores superiores al límite de seguridad (600 mg/kg) para suelos recomendado por Madhavan *et al.* (1989). También se pueden comparar los resultados con los límites máximos establecidos como valores guías y normas de calidad de suelos establecidos en Holanda (Ministry of Housing 1991) y con los de calidad ambiental de los usos del suelo establecidos en Canadá (Canadian Council of Ministers of the Environment 1991). Estos valores se encuentran indicados en la tabla V.

Si se comparan los valores propuestos en Holanda con los resultados obtenidos se observa que tanto en los sitios de estudio como en los de referencia se debería realizar un estudio epidemiológico, y en los primeros se requerirá la restauración

TABLA V. CRITERIOS DE CALIDAD DEL SUELO EN HOLANDA Y CANADÁ

Sitio	Criterio	Plomo	Cobre
Holanda	B	150	100
	C	600	500
	STV	85	36
Canadá	F	25	30
	R	500	150

(B) para concentraciones superiores a estos límites se sugiere realizar un estudio epidemiológico, (C) límite para efectuar la remediación del suelo contaminado, (STV) las concentraciones deseadas o admisibles en el suelo, (F) concentraciones naturales en suelos no contaminados, (R) valores máximos permitidos para los suelos de uso residencial

ambiental. Por otro lado, estos valores son muy superiores a los límites máximos admisibles en suelos establecidos en Holanda. Al comparar los resultados obtenidos con los criterios de Canadá se observa que todos los valores de este estudio son superiores a las concentraciones naturales en suelos no contaminados; los del primer muestreo, tanto para el cobre como para el plomo, son superiores a los establecidos para un uso de tipo residencial del suelo.

Reparto granulométrico

En la **tabla VI** se presentan los resultados obtenidos de la distribución granulométrica de las muestras estudiadas, notándose una tendencia a aumentar la proporción de partículas grandes (>0.42 mm) en el segundo muestreo y la disminución de partículas más finas. Entre 50 y 60 % de las partículas en todas los casos tienen un tamaño inferior a 0.25 mm; éstas son las susceptibles de ser arrastradas por las aguas de lluvia (Ellis y Revitt 1982).

En la **figura 2** se observa la repartición granulométrica de plomo y cobre. Para el plomo se aprecian en el primer muestreo concentraciones más elevadas con respecto al segundo. En los sitios de referencia y estudio se observa que las partículas más concentradas (800 mg/kg m.s.) son las de tamaño inferior a 0.42

mm y mayores de 0.074 mm, lo que significa que una proporción importante de partículas podría ser arrastrada por la lluvia. Al comparar los resultados de los sitios de referencia de las dos campañas se observa que las concentraciones no varían salvo para las partículas más grandes que presentan concentraciones mayores en la segunda campaña. En ésta se nota una disminución de las concentraciones de todas las partículas; esto es especialmente notable con las partículas más grandes en los sitios de estudio.

TABLA VI. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA EN PORCENTAJE POR TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN mm

Fechas	Sitios	T>0.42	0.42>T>0.25	0.25>T>0.074	0.074>T
16-V-94	A	18.8	10.83	39.3	30.9
	B	17.7	7.90	33.9	40.4
	1	40.2	14.30	35.1	10.4
	2	20.8	12.6	44.7	21.9
	3	36.4	15.6	37.1	10.8
27-VI-94	4	21.9	13.5	45.7	18.9
	A	23.1	12.4	38.4	26.1
	B	22.8	12.3	38.4	26.5
	1	21.6	11.1	40.6	22.8
	2	22.5	13.8	19.9	43.8
	3	31.3	13.4	39.3	15.9
	4	34.4	15.1	39.3	11.1

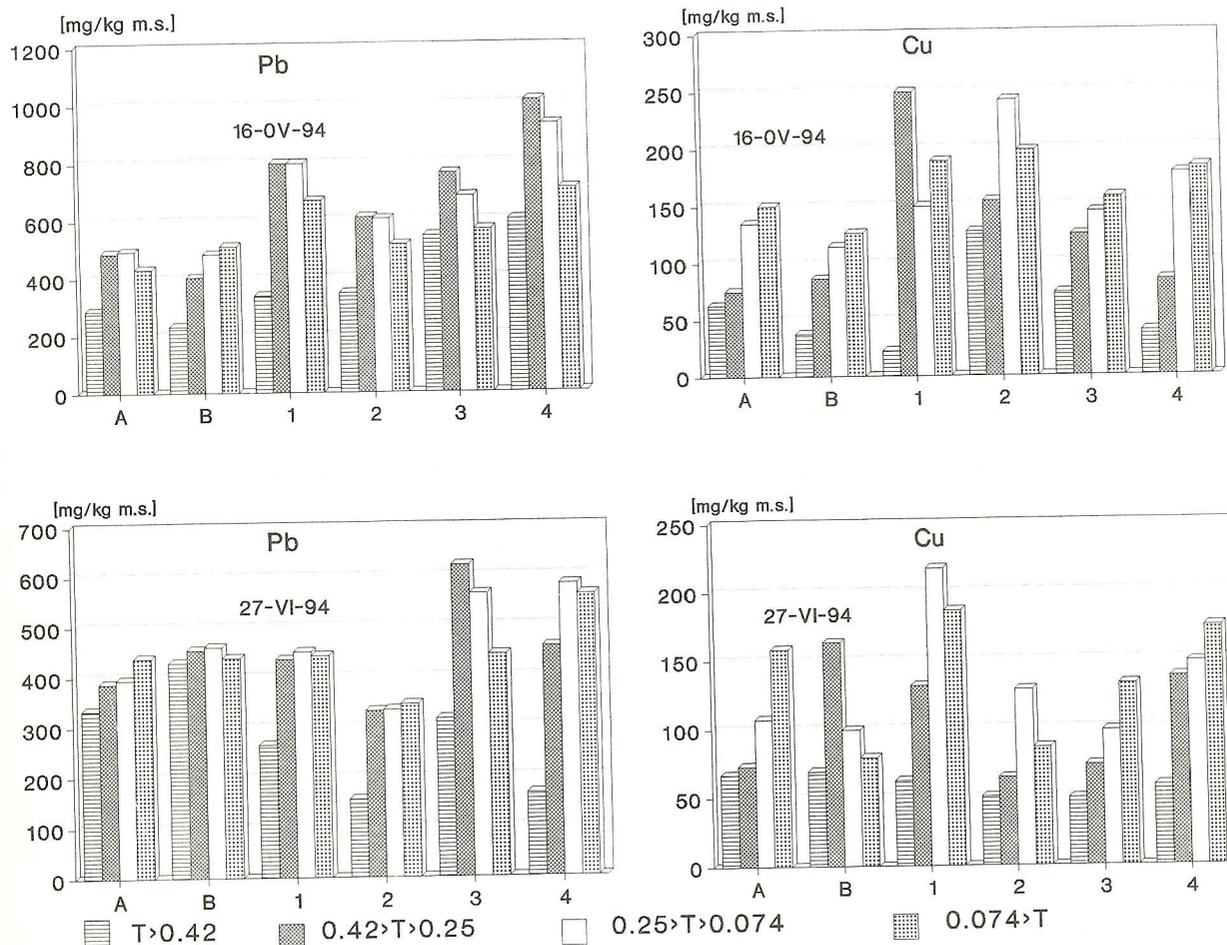


Fig. 2. Distribución granulométrica de plomo y cobre (mg/kg m.s.)

Estos resultados muestran la importancia que tiene la manera de limpiar las calles. El método tradicional utilizado en la Delegación Azcapotzalco y en la mayor parte del país se resume al uso de escoba para llevar a cabo esta operación; sin embargo esta forma sólo recoge las macropartículas y no tiene efecto alguno sobre los polvos, por lo que éstos se acumulan y dispersan representando un peligro sobre la salud. El riesgo es mayor si se considera que una gran parte de la población consume alimentos en la calle que se pueden contaminar con partículas de estos polvos.

En el caso del cobre, también se observa la disminución de las concentraciones de las partículas, aunque de menor importancia que en el caso del plomo. Las partículas más concentradas tienen tamaño inferior a 0.25 μm y es notable la de las partículas más pequeñas (inferiores a 0.074 μm). En el caso de las partículas grandes se observa que tanto en los sitios de referencia como en los de estudio y en ambas campañas, las concentraciones de cobre no cambian y se sitúan alrededor de 50 mg/kg m.s. Se nota la tendencia a aumentar la concentración de cobre a medida que disminuye el tamaño de la partícula.

Especiación de plomo, cobre y manganeso

Es importante señalar que el esquema de especiación utilizado en este trabajo tiene como propósito determinar el perfil de movilidad del plomo, cobre y manganeso en los polvos, con diferentes reactivos. Los resultados del estudio de especiación

también sirven para evaluar el riesgo de liberación de los metales particulados bajo el efecto del contacto de los sólidos con el agua (fracción hidrosoluble), del cambio de la fuerza iónica del medio, en el caso que el sólido se encuentre en un medio acuoso rico en cationes metálicos como calcio, sodio, magnesio, etcétera (fracción intercambiable), de la acidez (fracción ácido-soluble), del potencial de reducción provocado por medios anóxicos (fracción reducible) y un medio oxidante (fracción oxidable). En este esquema se incluye la proporción de metal que en condiciones ambientales no se moviliza (fracción residual).

Plomo

En la figura 3 se presentan los resultados obtenidos para el plomo en las dos campañas de muestreo. Al comparar las dos gráficas se observan ciertas diferencias en los perfiles de especiación entre los sitios de estudio y de referencia ya que existe la tendencia de aumentar la proporción de plomo en las fracciones intercambiable y ácido soluble en los sitios de estudio, que probablemente se deba a la intensidad del tráfico, lo que significa que en estos sitios existe el riesgo de que se libere más del 60 % del plomo total bajo el efecto de la acidez, por ejemplo con la lluvia ácida. En la segunda campaña se observa la disminución casi de la mitad de la fracción residual. El perfil de especiación de estas muestras es muy similar al descrito por Flores (1992) para sólidos depositados en el periférico de París.

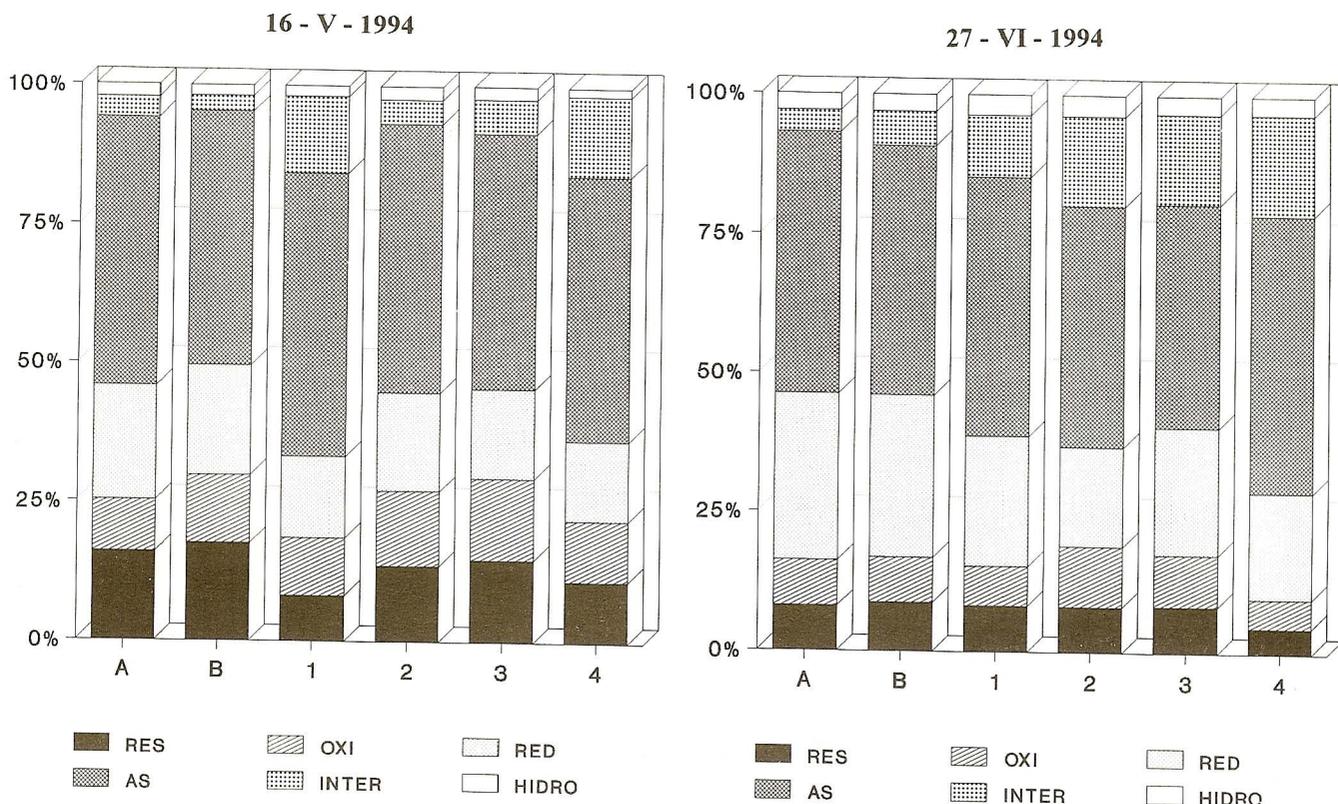


Fig. 3. Especiación de plomo en polvos urbanos

Cobre

En la **figura 4** se muestran los resultados obtenidos para este metal. Las diferencias entre los sitios de estudio y de referencia son menos evidentes, con ligero aumento de la fracción intercambiable en los sitios de estudio en la segunda campaña. En todas las muestras se observa que el cobre se encuentra principalmente en la fracción oxidable; este mismo comportamiento ha sido reportado por Roulier (1991) en sedimentos de río y por Harrison (1981) en muestras de suelo. Esto podría explicarse por la gran afinidad que presenta el cobre para formar complejos con la materia orgánica. De hecho la fracción oxidable es un indicativo del contenido del metal en la fracción orgánica de las muestras. Como en el caso del plomo, se observa una proporción más importante de cobre residual en la primera campaña.

Manganeso

Este elemento ha sido poco estudiado en México, a pesar de haberse demostrado que es un metal tóxico (Galvão y Corey 1987). En la **figura 5** se muestran los resultados de la especiación de este metal, obtenidos en las dos campañas. En la primera el perfil de especiación muestra que el manganeso se encuentra distribuido principalmente en las fracciones ácido-soluble, reductora y residual. A diferencia del cobre, el manganeso casi no se encuentra en la fracción oxidable. No se observan diferencias importantes entre los sitios de referencia y los sitios de estudio. En la segunda campaña hay un cambio notable en el

perfil de especiación, el aumento de la proporción de manganeso en la fracción intercambiable y reducible y la disminución importante de la fracción residual. Estos datos muestran que alrededor del 40 % del manganeso se podría movilizar por un efecto de acidificación y más del 60 % lo haría en condiciones reductoras.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de plomo y cobre totales disminuyeron en el segundo muestreo debido probablemente a los efectos climáticos, sobre todo las lluvias.

Para el plomo total, los polvos colectados en los sitios de estudio presentan concentraciones más elevadas que en los sitios de referencia; esta diferencia es más marcada en el primer muestreo.

En el caso del cobre se observa la misma tendencia aunque es menos marcada en el segundo muestreo.

El tráfico tiene un impacto muy importante en la concentración de estos metales en los polvos, sobre todo en lo que concierne al plomo.

Los niveles de concentración de plomo indican que estos polvos están suficientemente contaminados como para efectuar un estudio epidemiológico y en algunos casos la restauración ecológica de la zona de acuerdo, por ejemplo, con la normatividad holandesa.

Los niveles de concentración de los dos metales son supe-

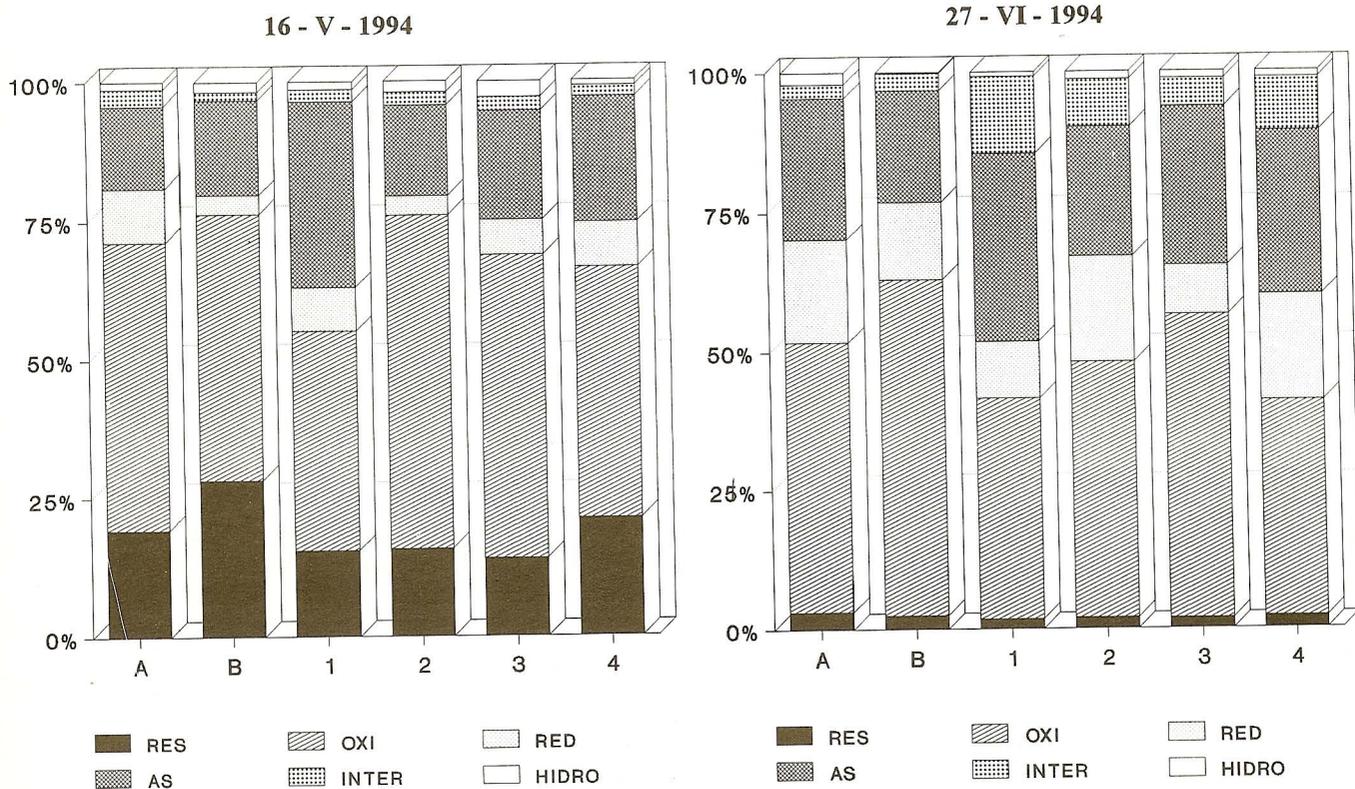


Fig. 4. Especiación de cobre en polvos urbanos

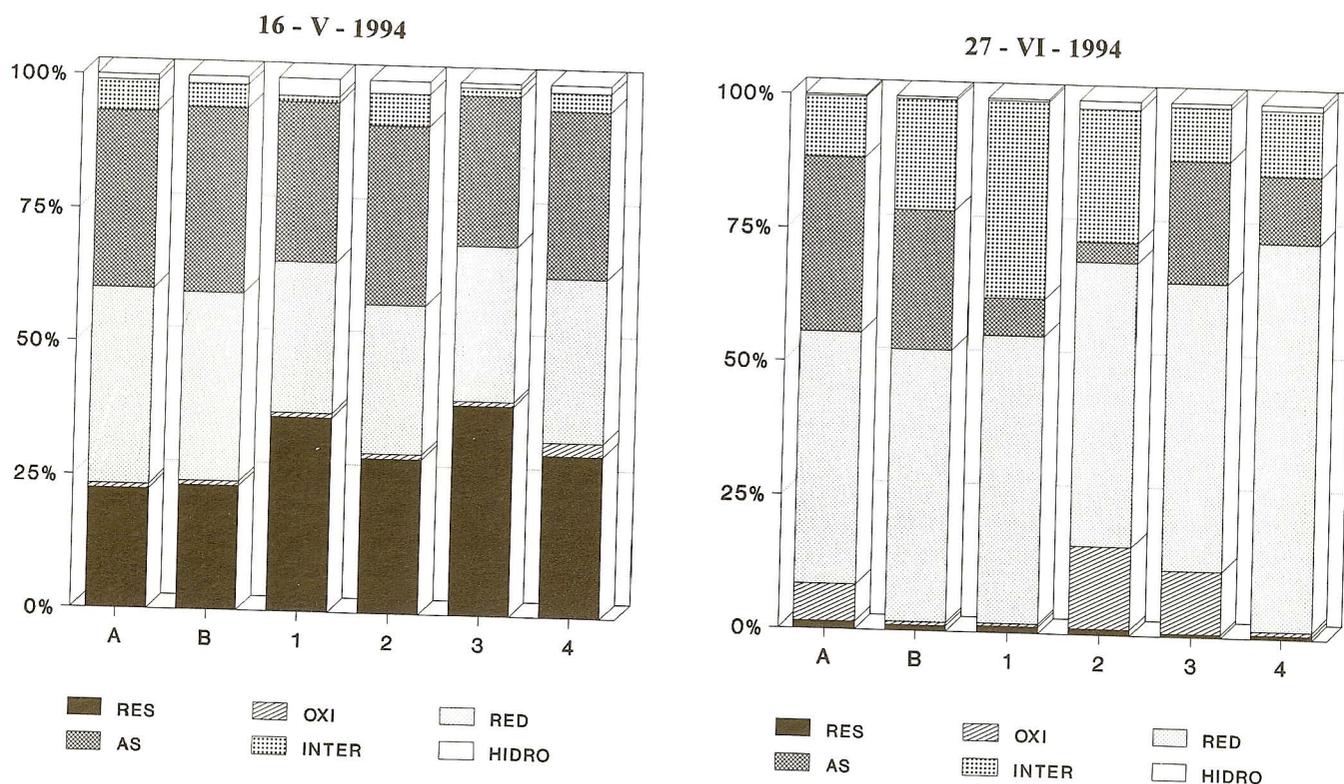


Fig. 5. Especiación de manganeso en polvos urbanos

riores a los de fondo determinados en Canadá. De acuerdo con la reglamentación de este país, las concentraciones fueron superiores a las adecuadas para zonas residenciales; esto es válido sobre todo para el plomo.

El estudio granulométrico mostró que las partículas más contaminadas son aquellas de tamaño inferior a 0.42 mm.

Los polvos urbanos representan un riesgo para la salud debido a los elevados niveles de concentración de plomo y cobre. A ello contribuye el hecho de que estos metales están concentrados en las partículas más finas, las que pueden suspenderse fácilmente y depositarse en los alimentos que se consumen en la calle o tragarse directamente.

Los polvos urbanos participan de manera importante en la contaminación de los sedimentos del drenaje debido a que las partículas más finas son las más concentradas y pueden ser acarreadas fácilmente por las aguas de lluvia.

Cada metal mostró un perfil de especiación particular. El plomo se presenta principalmente en la fracción ácido-soluble, el cobre en la oxidable y el manganeso en la reducible. Es importante señalar que los tres metales mostraron bajas proporciones en la fracción residual o estable. Esto significa un riesgo para el ambiente debido a que es susceptible la liberación de grandes cantidades de estos metales, siendo más peligroso el plomo tanto por su toxicidad como por la facilidad con que puede liberarse. Esta afirmación es válida para todas las muestras.

Estos resultados deben considerarse como preliminares, es

necesario continuar con las campañas de muestreo aplicando el esquema de especiación aquí utilizado con el fin de corroborar los resultados obtenidos y evaluar los efectos que tendrían los factores climáticos, especialmente la lluvia y los cambios de estación, en los perfiles de especiación.

También sería conveniente evaluar la movilidad efectuando experimentos en reactores, simulando con mayor precisión las condiciones ambientales, sobre todo el tiempo de liberación en condiciones ambientales reales.

Una de las incógnitas que se plantean es que si bien existe el riesgo de que los metales tóxicos se liberen de los sólidos, se desconoce bajo qué forma disuelta lo hacen. También existen los problemas de liberación-absorción. Estas dudas deberán irse resolviendo al efectuar estudios cinéticos utilizando isótopos metálicos que puedan definir su trayectoria en las transformaciones químicas ambientales.

Se recomienda estudiar en los sólidos urbanos la presencia de otros contaminantes, específicamente los hidrocarburos.

REFERENCIAS

- ATSDR (Agency for Toxic Substance and Disease Registry) (1993). *Toxicological profile for lead*. US Dept. of Health and Human Services. Atlanta, EUA.
- Beckwith P.B., Ellis J.B., Revitt D.M. y Oldfield F. (1986). Heavy

- metal and magnetic relationships for urban source sediments. *Phys. Earth Planet. Inter.* 42, 67-75.
- Canada Council of Ministers of the Environment (1991). *Interim Canadian Environment Quality Criteria for Contaminated Sites*. Report CCME EPC-C534, Winnipeg, Manitoba
- Ellis J.B. y Revitt M. (1982). Incidence of heavy metals in street surface sediments: solubility and grain size studies. *Water, Air Soil Pollut.* 17, 87-100.
- Flores J. y Thévenot (1988). Etude de spéciation chimique des métaux lourds dans les eaux pluviales: toxicité et traitabilité. Etude de faisabilité, UPVM-RESEAU-CONACyT, 84 p
- Flores J. (1992). Les métaux toxiques dans les eaux pluviales en milieu urbain: Caractéristiques physico-chimiques. Tesis de doctorado, Universidad Paris XII-Val de Marne, Francia, 229 p.
- Galvão L.A.C. y Corey G. (1987). Manganese. Serie vigilancia, 7, Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, México.
- Garnaud C.S. (1994). Les retombées atmosphériques des métaux traces. Rapport de stage de fin de maîtrise, Université Paris XII-Val de Marne, 74 p.
- Hamilton R.S., Revitt D.M. y Warren R.S. (1984). Levels and physico-chemical associations of Cd, Cu, Pb and Zn in road sediments. *Sci. Total Environ.* 33, 59-74.
- Harrison R.M., Laxen D.P.H. y Wilson S.J. (1981). Chemical associations of lead, cadmium, copper and zinc in street dusts and roadside soils. *Environ. Sci. Technol.* 15, 1378-1382.
- Madhavan S., Rosenman K.D. y Shehata T. (1989). Lead in soil: recommended maximum permissible levels. *Environ. Res.* 49, 136-142.
- Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, Directorate General for Environmental Protection (Netherlands) (1991). *Environmental Standards for soil and Water*, Leidschendam.
- Morrison G.M.P. (1985). Metal speciation in urban runoff. Tesis de Doctorado, Middlesex University, Londres. 316 p.
- Morrison G.M.P. (1990). Trace element speciation and its relationship to bioavailability and toxicity in natural waters. En: *Trace element speciation. Analytical methods and problems* (G. E. Battley, Ed.). CRC Press, Boca Ratón, Florida, Cap. 2 pp. 25-40.
- Roulier J.L. (1991). Echange de métaux entre eaux et sédiments. 1. Sédiments fluviaux: cas de la Morge (Isère). Rapport de recherche, CEMAGREF-SRETIER, 12 p.
- Salazar S., Bravo J.L. y Falcón Y. (1981). Sobre la presencia de algunos metales pesados en la atmósfera de la ciudad de México. *Geof. Int.* 20, 41-54.