

DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN CON PLOMO EN LOS SUELOS Y POLVO DE LAS CALLES DE LA CIUDAD DE MARACAY

Armando Carrasquero-Durán*

RESUMEN

En el presente trabajo se cuantificaron los niveles de Pb en suelos y polvos de las calles del casco central de la ciudad de Maracay por medio de una digestión ácida con agua regia y por espectrofotometría de absorción atómica de llama. Se tomaron 243 muestras superficiales de suelo y 36 de polvo acumulado en calles y aceras de las principales vías de comunicación de la ciudad. Los niveles de Pb total se ubicaron en el intervalo entre 33 y 11 113 $\mu\text{g g}^{-1}$ con un predominio de valores entre 2 000 y 4 000 $\mu\text{g g}^{-1}$, en general los suelos superan los valores máximos para suelos no contaminados según algunas regulaciones internacionales. Los sitios más contaminados se localizaron en avenidas como Sucre, Casanova, Fuerzas Aéreas y Constitución, lo que fue atribuido al intenso tránsito de vehículos que utilizan gasolina con plomo. Las muestras de polvo de las calles también mostraron elevadas concentraciones del metal pesado, lo cual aumenta el riesgo de exposición a la contaminación ya que este polvo puede ser arrastrado por el viento dispersando la el agente contaminante. La distribución vertical del metal pesado en los suelos refleja una alta acumulación en los estratos superficiales que es consistente con un proceso de contaminación de origen antropogénico. En general se puede afirmar que los suelos de la ciudad de Maracay están fuertemente impactados por la contaminación plúmbica cuyo origen puede asociarse con la combustión de la gasolina tratada con tetraetilo de plomo.

Palabras Clave: Plomo; contaminación; suelos; digestión ácida; polvo de las calles; Maracay.

* Profesor. Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL). Departamento de Química. Apdo. Postal 1017. Av. Las Acacias. Maracay, estado Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: agosto 23, 2005

DETERMINATION OF LEAD CONTAMINATION LEVELS IN SOILS AND DUST OF STREETS OF MARACAY

Armando Carrasquero-Durán*

SUMMARY

In this work the levels of lead in soils and street dusts taken from the urban area of Maracay city were quantified by flame atomic absorption spectrometry after and acid digestion with *aqua regia*. A total of 243 surface soil samples and 36 street dust samples of the most important avenues were taken. Lead level were in the range of 33 to 11,113 $\mu\text{g g}^{-1}$ with a prevalence of values between 2,000 and 4,000 $\mu\text{g g}^{-1}$ which are significantly higher than the accepted levels for uncontaminated soils in several international regulations. The most polluted sites were located in the Sucre, Casanova, Fuerzas Aéreas and Constitución avenues, which was attributed to the intense traffic of vehicles which used lead treated gasoline. Street dusts also showed high levels of lead pollution increasing the risks of lead exposition, because the finest polluted particles could be transported by the wind dispersing the contaminant. Vertical distribution of lead in soils reflected a high metal accumulation in the surface being consistent with a process of anthropic pollution. In general, soils of Maracay City are strongly impacted by lead pollution whose origin may be associated with the combustion of gasoline treated with lead tetraethyl.

Key Words: Lead; pollution; soils; acid digestion; street dust; Maracay.

* Profesor. Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL). Departamento de Química. Apdo. Postal 1017. Av. Las Acacias. Maracay, estado Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: agosto 23, 2005

INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento urbano de las principales ciudades venezolanas en los últimos 30 años ha provocado un incremento importante de las emisiones de plomo proveniente de la combustión de la gasolina. Por ejemplo, Fernández y Ramírez (2002), encontraron niveles de plomo en partículas depositadas en cinco túneles del área metropolitana de Caracas de 5 500 a 13 000 $\mu\text{g g}^{-1}$, lo cual fue atribuido, principalmente, al intenso tránsito de vehículos. Asimismo, Morales *et al.* (1999), señalaron que las plantas que crecen cerca de las vías de mayor circulación acumulan elevadas cantidades de plomo. Lo mismo fue señalado por Diez *et al.* (1996), quienes determinaron hasta 15 mg kg^{-1} de Pb en árboles de coníferas localizados en las principales vías de circulación de la ciudad de Mérida.

En el caso de la ciudad de Maracay, son escasos los trabajos de investigación publicados sobre el impacto de las actividades industriales y del tránsito automotor en las concentraciones de metales pesados en el ambiente y en las personas, lo que dificulta la planificación de medidas de control o remediación de aquellas zonas potencialmente contaminadas donde puede verse afectada la salud de los habitantes. No obstante, la presencia de Pb en seres humanos ha sido señalada por Almeida *et al.* (1999), quienes encontraron concentraciones promedio en muestras de sangre de niños de una escuela de Maracay de $10,5 \pm 2,5 \mu\text{g dL}^{-1}$, siendo el máximo valor permitido de $10 \mu\text{g dL}^{-1}$. En un estudio semejante, Nazila *et al.* (1998) señalaron un intervalo de valores de plomo sanguíneo de 7,8 a $15,1 \mu\text{g dL}^{-1}$ en una muestra de 180 niños, el 75% de los cuales tuvieron concentraciones superiores a la permitida.

Por otro lado Fernández *et al.* (1997), determinaron los niveles de plumbemia en diferentes grupos de personas expuestas a la contaminación con Pb debida a la recuperación manual del metal en el vertedero de San Vicente, Maracay. La concentración promedio de Pb en sangre fue de $79,7 \pm 16,1 \mu\text{g kg}^{-1}$ en las personas que recuperaban plomo, mientras que aquellos otros individuos que trabajaban recuperando otros metales, el promedio estuvo en el intervalo de $21,3 \pm 8,8 \mu\text{g kg}^{-1}$. El 100% de los recuperadores de Pb y el 8,6% de los que no trabajan con Pb presentaron niveles de plumbemia superiores a $30 \mu\text{g dL}^{-1}$. Igualmente se encontró que tanto los familiares de los recuperadores de Pb

como las familias que vivían cerca de los sitios de recuperación, presentaron niveles de Pb en sangre superiores a los $10 \mu\text{g kg}^{-1}$, siendo relevante el hecho de que dentro de este grupo se encuentra niños con edades entre 9 y 11 años.

Todd *et al.* (1996) indican que el plomo es un elemento tóxico para el sistema nervioso y reproductivo de hombres y mujeres. En el caso de los hombres, produce una disminución del número de espermatozoides y reduce la fertilidad en la mujer. En el caso de los niños, puede generar problemas de retardo mental, dificultades en el aprendizajes debido a daños del sistema nervioso (Assenato *et al.*, 1986), por esas razones, el Pb es considerado en la actualidad como el mayor contaminante químico.

El propósito de este trabajo fue el de cuantificar las concentraciones de plomo en muestras de suelos y polvo de las calles del área central de la ciudad de Maracay como un indicador del impacto ambiental producido por la combustión de la gasolina tratada con tetraetilo de plomo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los meses de junio, julio y agosto del año 2003 se realizó un muestreo intencional en las principales avenidas y calles del casco central de la ciudad. Se seleccionaron 243 puntos de muestreo correspondientes a parques, plazas públicas e islas que separan los canales de circulación de vehículos. Se tomaron muestras simples de los primeros 5 cm de profundidad con una espátula de acero inoxidable de las que se utilizan en jardinería. Se recolectaron muestras de 1 kg en bolsas plásticas que fueron trasladadas al laboratorio donde se secaron al aire por tres días. Posteriormente fueron tamizadas a 2 mm y cuarteadas hasta obtener una masa total de aproximadamente 100 g. Las muestras fueron guardadas en bolsas plásticas herméticamente cerradas.

Muestras de polvo de las calles

En las principales vías de circulación de vehículos se tomaron al azar muestras de polvo acumulado en las aceras e islas, utilizando una escobilla. Las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas y trasladadas al laboratorio donde se secaron al aire y tamizaron a $75 \mu\text{m}$.

Distribución vertical del Pb-total

Se seleccionaron tres sitios de muestreo, dos de ellos con niveles altos de Pb-total, mientras que el tercero tenía niveles bajos y cercanos a una condición no contaminada. Con un barreno se tomaron muestras a distintas profundidades con un barreno de evaluar la distribución vertical del metal pesado. Las muestras fueron tratadas en la misma forma que las superficiales.

Determinación de Pb

El Pb-total fue determinado siguiendo la metodología propuesta por Sillanpa y Janson (1992), una masa adecuada de la muestra (0,2 g aproximadamente dependiendo del contenido de Pb-total) fue colocada en un vaso precipitado de 250 ml agregando 20 ml de agua regia. Se tapó con un vidrio de reloj, colocándose en una plancha de calentamiento a 120 °C. Se dejó calentar por 2 horas, agregando agua regia para evitar el desecamiento de la muestra. Al final del período, se enfrió y filtró a un balón de 50 ml utilizando agua destilada. La fracción de Pb soluble fue extraída utilizando dos soluciones extractoras: cloruro de magnesio 1 M y acetato de amonio 3,5 M a pH 7. El procedimiento consistió en tomar muestras de 0,5 g de suelo que fueron colocadas en tubos de centrífuga de 100 ml y se agitó por 4 horas. Posteriormente las suspensiones fueron centrífugas a 3 000 g por 15 minutos y filtradas en frascos de plástico previamente enjuagados con ácido nítrico 1 m. Los patrones para las curvas de calibración fueron preparados en la misma forma que las muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinó el contenido de plomo total en tres materiales certificados de referencia (Cuadro 1) correspondientes a rocas certificadas por el US Geological Survey (SDC-1 y G-2) y a un suelo contaminado CRM 020-05 (RT-Corp USA), aplicando el mismo método para el análisis de las muestras de suelo. En todos los casos se obtienen valores que coinciden con los intervalos de confianza señalados para cada material de referencia, lo que demuestra que el método de digestión ácida utilizando agua regia y la determinación por espectrofotometría de absorción atómica empleados en este trabajo producen resultados de confiabilidad

satisfactoria. Los coeficientes de variación cercanos al 5% se obtuvieron de 10 determinaciones simultáneas del contenido de plomo, reflejando una reproducibilidad satisfactoria de la metodología analítica.

Concentración de Pb-total

En Venezuela no existen regulaciones que determinen la máxima concentración de plomo permitida en los suelos agrícolas o urbanos a partir de la cual se pudiera establecer el nivel de contaminación de un área determinada. Si se consideran válidos los valores señalados en la literatura para otros países, se puede afirmar que apenas el 24,7% de las muestras (Figura 1) presentan concentraciones del metal pesado inferiores a 500 mg g^{-1} que de acuerdo a Mellor y Bevan (1999) es el máximo permitido para suelos no contaminados de acuerdo a la legislación de Inglaterra, la cual es menos estricta que la holandesa, que establece un valor máximo de $150 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$. Tomando en cuenta este último valor como referencia, sólo el 6,6% de los sitios estudiados corresponderían a áreas no contaminadas.

CUADRO 1. Determinación de Pb en materiales certificados de referencia.

| Identificación | Valor certificado* ($\mu\text{g g}^{-1}$) | Valor encontrado* ($\mu\text{g g}^{-1}$) | CV% |
|------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----|
| SDC-1 (US Geological Survey) | $25,1 \pm 0,5$ | $24,6 \pm 1,3$ | 5,3 |
| G-2 (US Geological Survey) | $49,5 \pm 0,3$ | $51,3 \pm 2,5$ | 4,9 |
| CRM 020-050 (RT-Corp, Estados Unidos) | $5\ 111 \pm 622$ | $4\ 907 \pm 215$ | 4,4 |

* $\bar{X} \pm s$

CV% = Coeficiente de variación porcentual

$$\text{CV\%} = \frac{s}{\bar{X}} * 100$$

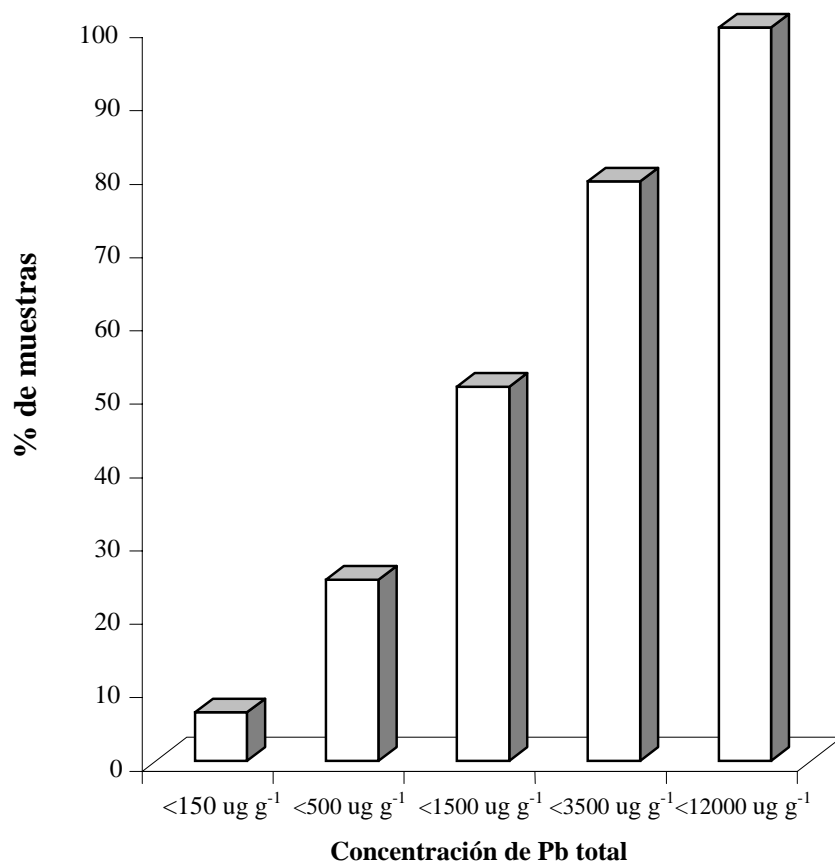


FIGURA 1. Distribución porcentual de las muestras en función a la concentración de Pb-total.

Se ha detectado un 21% de sitios de muestreo con concentraciones del metal pesado superiores a $3\,500 \mu\text{g g}^{-1}$ que constituyen sitios altamente contaminados que requerirían de estudios más profundos a fin de evaluar el impacto que pudiera tener esta contaminación sobre las personas que habitan en lugares cercanos. La presencia del plomo pudiera asociarse a la combustión de gasolina con tetraetilo de plomo, tal como lo señalaron Xiandong *et al.* (2001) en una situación semejante en suelos urbanos contaminados en Hong Kong. Así mismo, Madrid *et al.* (2002) encon-

traron que los suelos de la ciudad de Sevilla contienen niveles de Pb que superan los máximos tolerables de la Unión Europea y se asocian directamente con la densidad de tráfico automotor, alcanzando valores superiores a $5\,000\ \mu\text{g g}^{-1}$.

Según Imperato *et al.* (2003), muestras de suelos de zonas urbanas en la ciudad de Nápoles presentaron concentraciones elevadas de Pb en zonas urbanas altamente impactadas por el tránsito. De esta manera, en un estudio sobre los niveles de referencia en suelos de Sicilia, Manta *et al.* (2002) detectaron concentraciones de Pb de $22\ \mu\text{g g}^{-1}$ en suelos no contaminados de Palermo, mientras que dentro de la ciudad el contenido promedio del contaminante fue de $200\ \mu\text{g g}^{-1}$, lo que llevo a la conclusión de que el plomo es un elemento que puede ser empleado como trazador en la evaluación de la contaminación antropogénica.

La Figura 2 muestra una tendencia hacia la mayor acumulación de plomo en los suelos de las principales avenidas de la ciudad, alcanzándose valores superiores a $3\,500\ \mu\text{g g}^{-1}$. Los sitios más contaminados tienden a agruparse hacia la zona céntrica de la ciudad, principalmente en las intersecciones de las avenidas Sucre, Casanova y Las Delicias, en esta última se llegaron a cuantificar hasta $11\,133\ \mu\text{g g}^{-1}$ de Pb-total. Es importante señalar que en esas zonas de la ciudad hay una alta densidad de edificaciones destinadas a viviendas, oficinas y negocios, por lo que se puede pensar en una posible exposición de las personas a la contaminación con el metal pesado.

Las concentraciones de plomo discriminadas por avenidas (Cuadro 2) ilustran el efecto del tránsito de vehículos; por ejemplo, en todos los puntos de muestreo seleccionados en las avenidas Casanova, Constitución y Fuerzas Aéreas se tienen concentraciones superiores a los $500\ \mu\text{g g}^{-1}$. Las restantes avenidas también presentan niveles altos de contaminación, un hecho notable es que la Avenida Bolívar, la más antigua mostró un grado de contaminación menor que avenidas más recientes.

Los coeficientes de variación se ubican en el intervalo de 50 a 120%, indicando que la contaminación no se distribuye uniformemente a largo de las avenidas evaluadas. En ese sentido, la distribución espacial mostrada en la Figura 2 sugiere una acumulación del metal pesado más acentuada en la dirección noroeste. Además, hay que considerar que las

avenidas Sucre y Las Delicias son las vías de comunicación entre el norte y sur de la ciudad; mientras que la avenida Casanova comunica las zonas este y oeste, siendo es la razón de la alta densidad de flujo de vehículos.

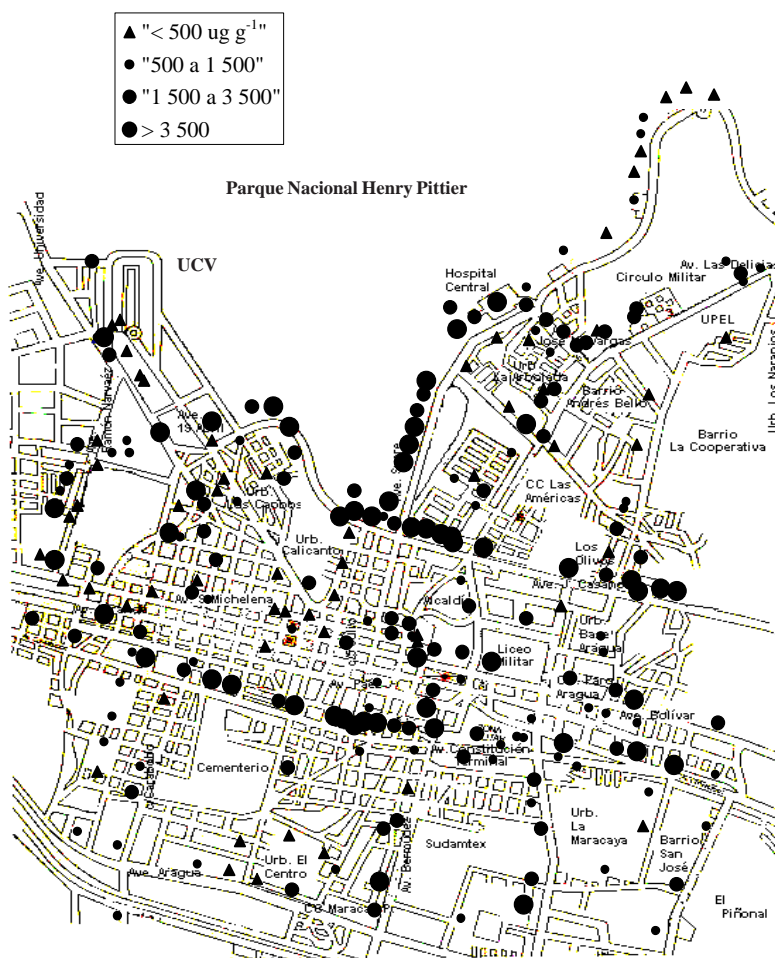


FIGURA 2. Concentraciones de Pb total en los sitios de muestreo

CUADRO 2. Contenido de plomo total promedio correspondiente a las Principales Avenidas del área estudiada.

| Avenida | Nº de Muestras | Pb promedio | Desviación Estándar | CV% | Valor máximo | Valor mínimo |
|----------------|----------------|-------------|---------------------|-------|--------------|--------------|
| Casanova | 23 | 5 141,4 | 2 392,6 | 46,5 | 11 133 | 789,9 |
| Constitución | 23 | 4 175,4 | 2 157,3 | 51,7 | 9 079,6 | 773,4 |
| Fuerzas Aéreas | 4 | 3 293,3 | 1 135,0 | 34,5 | 4 882,5 | 2 324,8 |
| Bolívar | 10 | 2 817,1 | 1 594,3 | 56,6 | 6 215,3 | 378,7 |
| Sucre | 21 | 2 393,3 | 2 192,5 | 91,6 | 6 816 | 146 |
| Bermúdez | 10 | 2 281,6 | 1 447,7 | 63,5 | 4 839 | 173,1 |
| Las Delicias | 16 | 1 818,5 | 992,6 | 54,6 | 3 658,4 | 286,8 |
| Ayacucho | 11 | 1 306,2 | 1 291,8 | 98,9 | 4 728,8 | 216 |
| Aragua | 4 | 741,4 | 901,4 | 121,6 | 2 059,7 | 37,7 |

Concentración de plomo soluble en $MgCl_2$ y acetato de amonio

El plomo extraíble con cloruro de magnesio representa la fracción del total que se encuentra disuelta en la solución del suelo y adsorbida reversiblemente en el complejo de intercambio, constituyendo la fracción de mayor disponibilidad para los seres vivos y que también podría contaminar cuerpos de agua. La Figura 3 muestra que si bien esta fracción se incrementa con el total, representa menos del 3% del plomo acumulado en los suelos, sugiriendo la presencia de formas químicas poco solubles en agua o de mecanismos de inmovilización en los suelos. Con la solución de acetato de amonio 0,5 M a pH 7 y sometida a calentamiento a 80° se buscaba disolver los sulfatos de plomo presentes (Vogel 1974). Los resultados indican (Figura 4) que más del 75% del plomo podría encontrarse bajo la forma de $PbSO_4$ lo que refuerza la idea de que el elemento contaminante proviene de la combustión de la gasolina, en la cual los compuestos sulfurados se oxidan formando sulfato que precipita como $PbSO_4$.

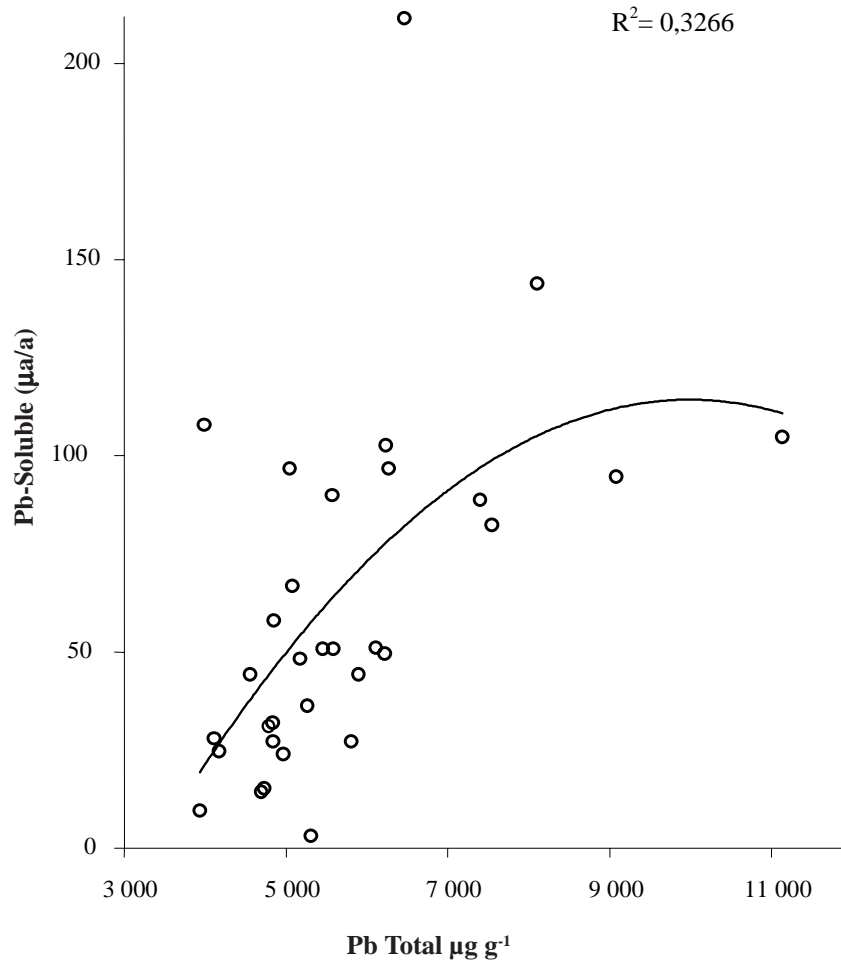


FIGURA 3. Relación entre el Pb-Soluble y el contenido total en los suelos más contaminados.

Por otro lado, la extracción con esta solución requiere de condiciones menos exigentes y peligrosas que uso el agua regia a 120 °C pudiendo sustituirla en futuros estudios para la evaluación de la contaminación en suelos.

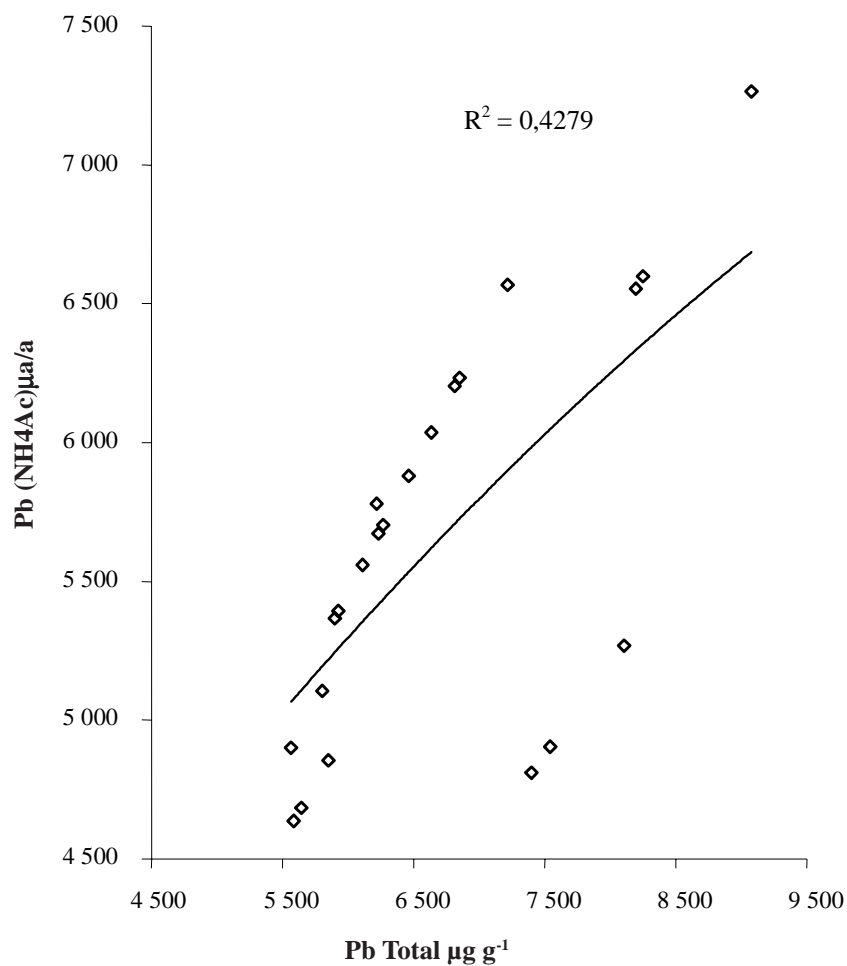


FIGURA 4. Relación entre el Pb extraído con acetato de amonio y el contenido total en los suelos más contaminados.

Plomo total en el polvo de las calles

El polvo de las calles está constituido por las partículas sólidas que escapan del sistema de combustión de los vehículos y se mezclan con las partículas finas de suelo que son arrastradas por el viento. Este polvo incluye la fracción de materiales sólidos de tamaños lo suficientemente

pequeños como para ser respirados por las personas o incluso, ingerido accidentalmente por los niños que consumen alimentos sin lavarse las manos o que juegan en las calles y se introducen las manos u objetos sucios en la boca, de allí que el Pb presente pueda ser considerado como potencialmente biodisponible. El Cuadro 3 muestra que la concentración de plomo en este material es semejante a la señalada para los suelos, es decir, valores elevados que superan los máximos permitidos en algunas legislaciones a nivel mundial. Las muestras tomadas en las vías de mayor densidad de tráfico presentaron los niveles más elevados de contaminación.

CUADRO 3. Contenido de Pb-total en las muestras de polvo de las calles.

| | |
|---------------------|----------|
| Media | 2475,4 |
| Error típico | 343,5 |
| Mediana | 2063 |
| Desviación estándar | 206,9 |
| Mínimo | 734,0 |
| Máximo | 11 493,0 |

Distribución vertical del Pb-total

Las funciones de profundidad de los sitios más contaminados (Figura 5) muestran una elevada acumulación en los primeros 20 cm, disminuyendo notablemente a medida que se alcanzan estratos más profundos, indicando de esta forma un proceso de deposición superficial de origen antropogénico. Por otro lado, el sitio menos contaminado con una concentración superficial de $158 \mu\text{g g}^{-1}$ mostró una curva semejante con los mayores niveles de Pb en el estrato más superficial acompañado de una reducción en la concentración hasta alcanzar el valor mínimo de $33 \mu\text{g g}^{-1}$ a los 50 cm, que podría estar cercano a la línea base o contenido natural de plomo en el área estudiada. De ser esto cierto, los resultados de este estudio muestran un elevado enriquecimiento de Pb en los suelos de la ciudad y por lo tanto un proceso acelerado de contaminación ambiental que podría afectar a la salud de los habitantes.

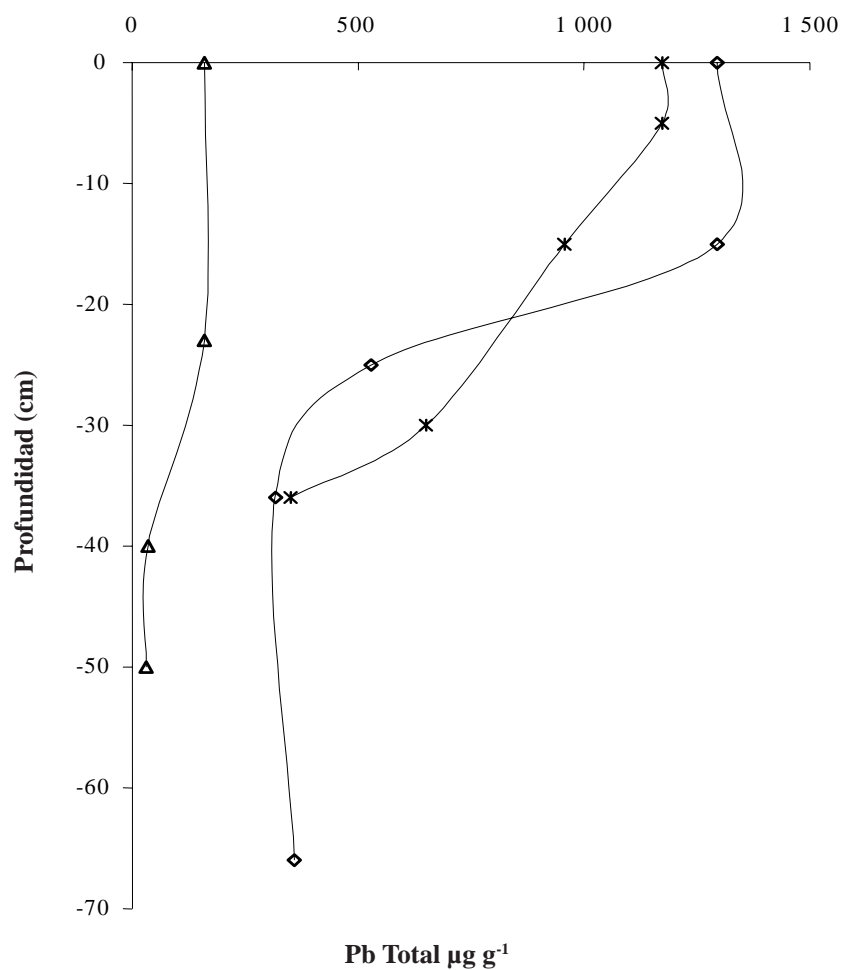


FIGURA 5. Funciones de profundidad del Pb-Total.

CONCLUSIONES

- Los niveles de contaminación con plomo en los suelos y polvo de las calles de la ciudad de Maracay son elevados, alcanzándose valores que superan los 10 000 $\mu\text{g g}^{-1}$ con una concentración promedio cercana a los 4 000 $\mu\text{g g}^{-1}$. Los sitios más contaminados coinciden

con los ejes de circulación de vehículos en las principales avenidas, lo que sugiere que el plomo cuantificado en las muestras sea el resultado de un proceso de acumulación que tiene su origen en las emisiones hacia la atmósfera del plomo proveniente de la combustión de la gasolina y que luego es depositado en los suelos donde queda retenido.

- El plomo depositado en los suelos podría estar presente bajo la forma de sales insolubles como por ejemplo el $PbSO_4$, las cuales se disuelven en una solución de acetato de amonio $3,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7, la cual podría sustituir al agua regia en la cuantificación del contenido total de Pb en los suelos.

BIBLIOGRAFÍA

ALMEIDA, D., J. ARAGUREN, Y. HERNÁNDEZ y G. ROLO. 1999. Niveles de Pb en sangre de escolares. *Acta Científica Venezolana* 50:273.

ASSENATO G., C. PACI, M. E. BASER, R. MOLININI, R. B. CANDELA, B. M. ALTAMURA y R. GIORGINO. 1986. Sperm count suppression without endocrine dysfunction in lead-exposed men. *Arch. Environment Health* 4:387-390.

DIEZ, H., Q. A. CONTRERAS, M. QUINTERO y G. SOLÓRZANO. 1996. Determinación de PB en madera en la ciudad de Mérida. *Acta Científica Venezolana* 47:294.

FERNÁNDEZ, R. y A. RAMÍREZ. 2002. Geoquímica de la contaminación urbana. *Ciencia* 10(1):94-101.

FERNÁNDEZ, M. A. RODRÍGUEZ, A. NAZILA, H. MORA, A. FERNÁNDEZ y V. LORETO. 1998. Contaminación con Pb en los recuperadores del vertedero San Vicente y de la comunidad cercana. Maracay 1996-1997. **In:** VIII Jornadas de Salud, Seguridad y Medio Ambiente. UC. Maracay.

IMPERATO, M., P. ADAMO, D. NAIMO, M. ARIENZO, D. STANZIONE and P. VIOLANTE. 2003. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy) *Environmental Pollution* 124(2):247-256.

MADRID L., E. and F. DÍAZ-BARRIENTOS. 2002. Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville Chemosphere (10):1.301-1.308.

MANTA, D. S., M. ANGELOTE, A. BELLANCA, R. NERY and M. SPROVIERI. 2002. Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy The Science of The Total Environment 300(1-3):229-243.

MELLOR, A. and J. R. BEVAN. 1999. Lead in the soil and stream sediments of an urban catchment in Tyneside UK. Water, air and soil poll. 112:327-348.

MORALES, R., M. MELO, A. LLANOS y L. MELO. 1999. Determinación de la concentración de Pb en dos tipos de plantas en distintas zonas de Caracas. Acta Científica Venezolana. 50:167.

NAZILA, A., I. MEDINA, N. FERNÁNDEZ, V. LORETO y H. MORA. 1998. Contaminación ambiental por plomo y sus efectos en la población infantil del Estado Aragua. **In:** VIII Jornadas de Salud, Seguridad y Medio Ambiente. Universidad Central. Maracay.

SILLANPA, M. and H. JANSON. 1992. Status of lead, cadmium, selenium and cobalt in soils and plants of thirty countries. Fao Soil Bulletin Nº 56. Rome. 358 p.

TODD A. C., J. G. WTMUR, J. M. MOLINE, J. H. GODBOLD, S. H. LEVIN and P. J. LANDRIGAN. 1996. Unraveling the chronic toxicity of lead: An essential priority for environmental health. Environ. Health Perspective. 104:141-146.

VOGEL, A. 1974. Química Analítica Cualitativa. 5ta edición Ed. Kapelusz S.A. Buenos Aires. 625 p.

XIANGDONG, LI, CHI-SUN POON and PUI SUM LIU. 2001. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong Applied Geochemistry 16(11-12):1.361-1.368.