

Estudio ambiental sobre el riesgo ecológico que representa el plomo presente en el suelo

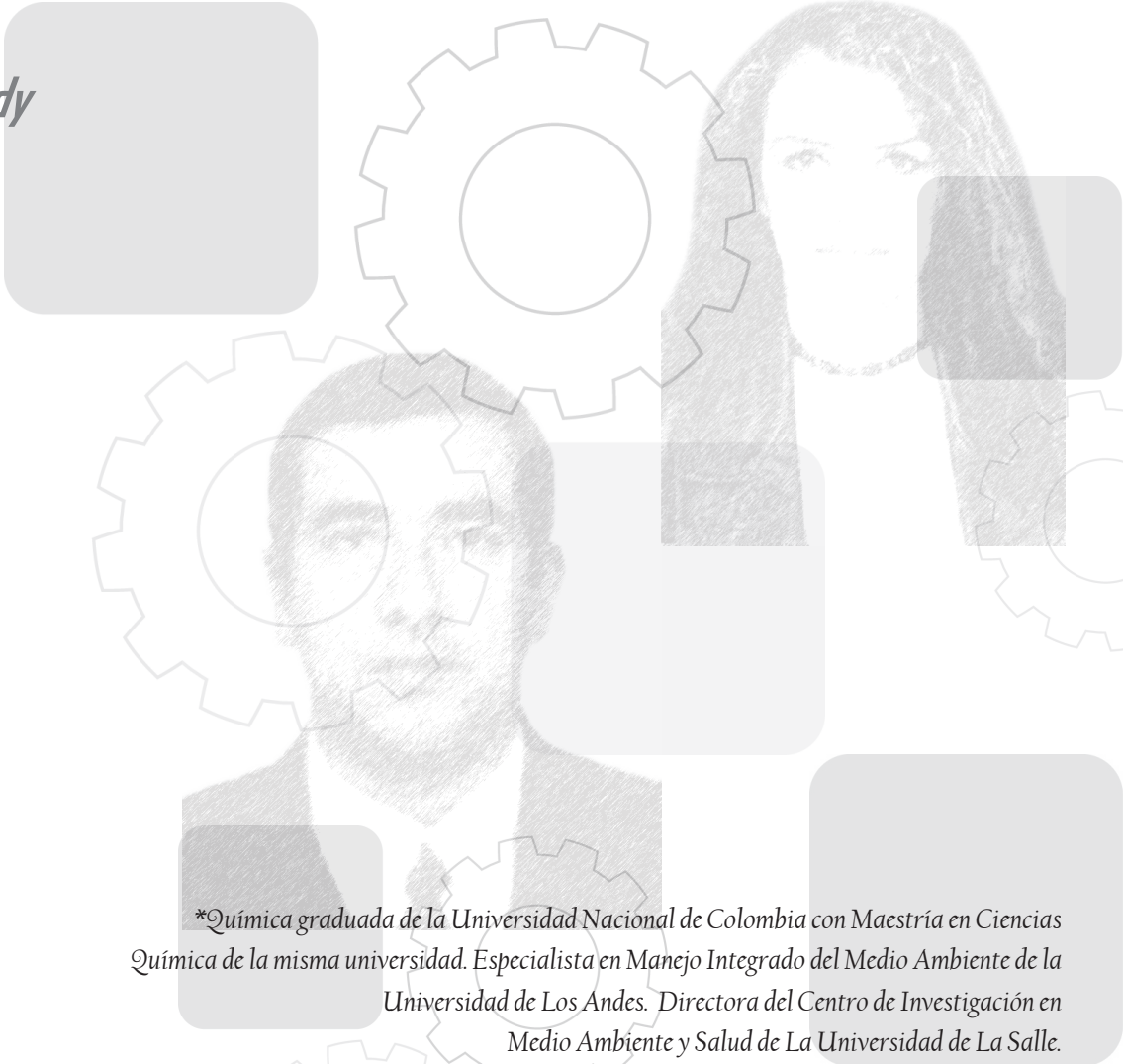
FECHA DE RECEPCIÓN: 18 de febrero
FECHA DE APROBACIÓN: 12 de abril
pp. 66-75

Maritza Reyes Guzmán *
Gerardo Avendaño Prieto**

*Environmental study
on ecological lead
risks in soils*

*Étude du risque
environnemental
que représente le
plomb présent
dans les sols.*

*Estudo ambiental
sobre o risco
ecológico
representado pelo
chumbo presente
no solo*



*Química graduada de la Universidad Nacional de Colombia con Maestría en Ciencias Químicas de la misma universidad. Especialista en Manejo Integrado del Medio Ambiente de la Universidad de Los Andes. Directora del Centro de Investigación en Medio Ambiente y Salud de La Universidad de La Salle.

** Director del grupo de investigación ONTARE, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad EAN. Postdoctor en Control Estadístico de Procesos SPC Penn State University (State College Estados Unidos). Ph.D. Universidad Politécnica de Valencia (Valencia - España,). Especialista en Métodos Estadísticos avanzados para la Mejora de la Productividad y la calidad Universidad Politécnica de Valencia (Valencia España). Especialista en Ingeniería de Producción de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Bogotá Colombia. Ingeniero Químico Universidad Nacional de Colombia

RESUMEN

En el contexto de la Ingeniería Ambiental es bien conocido que el plomo es un metal altamente tóxico que genera problemas graves para la salud humana. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, indica que una cantidad de 15 μg de plomo por litro, es preocupante, porque puede causar daño en el cerebro y el sistema nervioso. En algunos suelos de la Sabana de Bogotá, se han encontrado concentraciones altas de plomo, que en algunos casos superan los promedios mundiales. Este trabajo estudia qué parte del plomo contenido en el suelo podría introducirse en la cadena alimenticia, existiendo un riesgo ecológico potencial para el normal desarrollo de la flora, la fauna y en especial para la población humana que consume productos agrícolas cultivados en estos suelos. Se midieron las concentraciones de plomo en diferentes muestras de suelo y se encontró que aproximadamente el 27% del plomo contenido en los suelos tiene el riesgo de moverse fácilmente y afectar negativamente el ecosistema.

ABSTRACT

In the field of Environmental Engineering, it is widely recognized the effects of toxic lead metal which may bring about serious problems for the human health system. The United States Environmental Agency pointed out that an amount of 15 mg of lead per liter represents a high risk which causes brain and central nervous system damages. In some plain fields of Bogota, high concentrations of lead have been found, showing high rates over world estimations. This research reveals the existence of lead fragments which can be used in the feeding chain, having a potential ecological risk for the development of flora and fauna, especially in part of the human population which consumes agricultural products grown in these soils. Different lead concentrations were measured in soil samples which show that about 27% of the lead contained has the risk of expanding easily affecting negatively the environment.

RESUMÉ

Dans le domaine de l'ingénierie de l'environnement, il est de notoriété commune que le plomb est un métal extrêmement toxique pouvant générer de sérieux problèmes pour la santé humaine. L'Agence de Protection de l'Environnement des Etats-Unis indique qu'un taux de 15 μg de plomb par litre devient préoccupant puisque cette quantité suffit à provoquer chez l'homme des dommages cérébraux et nerveux. Dans certains sols du plateau de Bogota, des concentrations élevées en plomb ont été trouvées et ce phénomène inquiète les spécialistes car dans certains cas, les résultats de l'analyse des sols montrent des taux de contamination supérieurs à la moyenne. Notre travail vise à montrer quel pourcentage de cette teneur des sols en plomb pourrait être introduit dans la chaîne alimentaire pouvant provoquer un risque écologique pour le développement normal de la faune et de la flore mais aussi et surtout de la population consommant des produits agricoles cultivés sur ces sols. Les concentrations en plomb ont été mesurées sur différents échantillons de sols et les résultats indiquent qu'environ 27 % de cette teneur en plomb présente le risque d'un déplacement aisé et d'une nuisance à l'écosystème.

RESUMO

No contexto da engenharia ambiental é bem conhecido que o chumbo é um metal altamente tóxico que gera problemas graves à saúde humana. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos indica que uma quantidade de 15 μg de chumbo por litro é preocupante, porque pode causar dano no cérebro e o sistema nervoso. Em alguns solos da Savana de Bogotá foram encontradas concentrações altas de chumbo, que em alguns casos excedem a média mundial.

Este trabalho estuda qual parte do chumbo contido no solo poderia ser introduzida na cadeia alimentar, existindo um risco ecológico potencial para o normal desenvolvimento da flora, a fauna e especialmente para a população humana que consume produtos agrícolas cultivados nestes solos. Mediram-se as concentrações de chumbo em diferentes amostras do solo e encontrou-se que aproximadamente 27% do chumbo contido nos solos tem o risco de movimentar-se facilmente e afetar o ecossistema de maneira negativa.



Palabras claves

Suelos
Plomo
Biodisponibilidad
Riesgo ecológico
Movilización
Ecosistema



Key words

Soils
Lead
Bioavailability
Ecological risks
Expansion
Ecosystem



Mots clefs

Sols
Plomb
Biodisponibilité
Risque écologique
Mobilisation
Écosystème



Palavras-chave

Solos
Chumbo
Biodisponibilidade
Risco ecológico
Mobilização
Ecosistema

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es el cimiento sobre el que ocurre un sin fin de fenómenos físicos, químicos y biológicos. Es el resultado de la constante interacción de la litósfera con la hidrósfera y la atmósfera, convirtiéndose así, en uno de los más importantes sistemas naturales encargados de mantener el ecosistema en un constante y deseable equilibrio que garantice la supervivencia de la vida en el planeta.

En contraposición al esquema tradicional de estudiar los problemas ambientales después de que ya se han dado, es de vital importancia detectar anticipadamente los riesgos potenciales, para lo cual, el primero y más importante paso es estudiar exhaustivamente el comportamiento natural del sistema; para los suelos, involucra la identificación de los residuos tóxicos acumulados, los mecanismos de acumulación y liberación de elementos contaminantes y de los factores que rápidamente pueden producir importantes cambios fisicoquímicos en el suelo.

En las dos últimas décadas se ha incrementado mundialmente las investigaciones relacionadas con el contenido de metales pesados, conocidos como contaminantes del suelo, orientadas por lo general, a la evaluación de su disposición, fuentes y al desarrollo de modelos mecánicos que permitan predecir el comportamiento de estos materiales tóxicos con las distintas fases y componentes del suelo.

El propósito de numerosos estudios ha estado enfocado en identificar cuál es realmente la fracción biodisponible o movilizable del contenido total de metales pesados en el suelo, que bajo ciertas condiciones químicas y físicas puede introducirse dentro de la cadena alimenticia o lixivarse hacia diversas fuentes de agua. Es así, como en los estudios geoquímicos ha ganado notable importancia la determinación tanto del contenido de metales fácilmente extractables en suelos y sedimentos, como los mecanismos responsables de su movilización.

Las fuentes antropogénicas de las que provienen los metales pesados contenidos en la capa superficial del suelo, están dadas por deposiciones atmosféricas, escorrentía de aguas

contaminadas, riego con aguas residuales, acumulación de desechos y basuras y el uso inadecuado en la agricultura de fertilizantes, plaguicidas y productos similares. Debido a su fuerte sorción a la materia sólida, estos elementos se acumulan fácilmente y muchas veces sus niveles tóxicos son alcanzados y en algunos casos excedidos.

Como resultado, la función protectora del suelo puede verse sobrepasada provocando la liberación de iones metálicos hacia la solución del suelo, alterando directamente el normal metabolismo de plantas y organismos, o migración hacia corrientes de aguas subterráneas y superficiales desequilibrando al ecosistema en general. Es así como la acumulación gradual de metales pesados constituye de por sí un serio problema, puesto que una inesperada y rápida movilización de los metales acumulados podría producir un desastre ambiental, (Finzgar y Lestan, 2007).

La concentración de metales pesados en el suelo depende básicamente de la forma en que estos elementos se muevan dentro del sistema natural. Los mecanismos de movilidad, transporte y distribución están íntimamente ligados con la forma química y con las interacciones fisicoquímicas que estos metales sostengan con las demás especies del medio. Estos mecanismos básicamente son: procesos de dilución, adsorción, precipitación, oclusión, migración, acomplejamiento, difusión en los minerales, unión con constituyentes orgánicos, absorción por la microbiota y volatilización, entre otros (Paradelo, et al, 2011).

La distribución de varias formas de metales pesados en el suelo depende de la interacción que éstos sostengan con las distintas fases del suelo, como son los minerales de arcilla, óxidos de Fe, Mn, Al y carbonatos. Sin embargo, los factores que tiene influencia significativa son el pH del suelo, la calidad y en menor grado el contenido de materia orgánica. La dificultad de los estudios geoquímicos radica en que la asociación metal-materia orgánica es compleja, considerando que los metales no necesariamente permanecen fijos, sino que también pueden ser removilizados por una nueva suspensión física, removilización geoquímica de

materia orgánica, disolución de óxidos de Fe-Mn, biometilación y otros procesos biológicos dependientes de las condiciones del medio (Rodríguez, et al., 2009).

Debido al enorme deterioro que en los últimos años han sufrido los suelos de Colombia y considerando la relevancia que tiene a nivel nacional la región geográfica de la Sabana de Bogotá, como una de las zonas más pobladas del país, donde el suelo ha sufrido importantes cambios en sus propiedades como consecuencia del crecimiento no controlado de la zona urbana, de la industrialización, de la contaminación del río Bogotá, del aprovechamiento agrícola no planificado, de la variación en el régimen de lluvias y del pésimo manejo de desechos tóxicos, junto con los escasos mecanismos de control ambiental, se ha venido desarrollando una serie de estudios orientados a evaluar la contaminación por metales pesados en estos suelos.

Estudios relacionados con la determinación de nivelesseudototales y extractables de metales pesados, arrojaron resultados preocupantes en cuanto a que se encontraron contenidos de Pb, que superan los promedios mundiales; esto deja ver que existe un riesgo ecológico potencial para el normal desarrollo de la flora, la fauna y la población humana que consume productos agrícolas cultivados en estos suelos.

Teniendo en cuenta que más importante que el contenido total oseudototal de los metales pesados en suelos, es la identificación de las formas químicas (especiación) de esos metales, este trabajo hace una aproximación al problema asociado al contenido de Pb biodisponible que podría mobilizarse para introducirse en la cadena alimenticia y afectar a plantas y organismos.



p.212



2. METODOLOGÍA

Se estudiaron 17 puntos de muestreo de suelos de la Sabana de Bogotá pertenecientes a las Asociaciones Río Bogotá-Nemocón. Se tomaron muestras por cada horizonte que se encontraba diferenciado por color y textura, hasta llegar al horizonte C, o bien hasta encontrar el nivel freático.

Las muestras se recolectaron usando un barreno manual tipo Auger.

Según el Manual de Métodos del Laboratorio del IGAC (1990), las muestras de suelos se secaron a temperatura ambiente, se trituraron en mortero de porcelana, se tamizaron en malla 10 y se almacenaron. Cada muestra de suelo para análisis se tamizó en malla 80 para la posterior determinación de los contenidos de Pbseudototales,

los asociados a la fracción orgánica y los asociados a la fracción movilizable.

Se utilizó un diseño estadístico aleatorio, estratificado, anidado, desbalanceado, en cuatro niveles, recomendado por su eficiencia para estudios geoquímicos ambientales regionales y globales, con el fin de garantizar confiabilidad de los resultados.

2.1 Caracterización fisicoquímica del suelo

El pH se midió haciendo mezcla de suelo-agua en proporción 1:1 (P/V). La capacidad de intercambio iónico, CIC, se determinó por tratamiento con acetato de amonio 1,0 N a pH 7,0, lavados con etanol al 95%, NaCl al 10%, adición de formaldehído neutro y titulación con solución de NaOH 0,1N.



2.2 Determinación de carbono orgánico total del suelo

Usando el método de Walckley-Black, se pesaron de 0,1 a 0,5 g de suelo, se transfirieron a un erlenmeyer en el que se adicionaron 10 mL de $K_2Cr_2O_7$ 1,0 N y 20 mL de H_2SO_4 concentrado. Después de dejar en reposo y enfriar hasta temperatura ambiente, se agregaron 200 mL de H_2O destilada y 10 mL de H_3PO_4 al 85% (P/V); posteriormente se cuantificó la materia orgánica oxidada mediante titulación con solución de $Fe(SO_4)_2(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$ 1,0 N y ortofenantrolina como indicador.

2.3 Determinación del contenidoseudototal de plomo en el suelo

Se pesaron 0,5g de suelo y se trataron con 10ml de agua regia (mezcla de HNO_3 concentrado y HCl concentrado, en proporción 3:1), durante 24 horas, con agitación constante, posteriormente se centrifugaron y filtraron. En el extracto de cada muestra se determinó el contenido de Pb por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito.

2.4 Determinación del contenido de plomo asociado a la fracción orgánica del suelo

Se pesaron 5,0 g de suelo, se adicionaron 50 ml de una solución de mezcla de $Na_4P_2O_7$ 0,1 M y $NaOH$ 0,5M. Se agitó vigorosamente, se centrifugó y se filtró al vacío con membrana. En el extracto de cada muestra se determinó el carbono orgánico mediante el Método de Walckley-Black, por oxidación con $K_2Cr_2O_7$ 1,0 N en medio ácido y posterior titulación con solución ferrosa de la misma manera como se cuantificó el carbono orgánico total. Se cuantificaron los contenidos de Pb en las muestras por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito.



2.5 Determinación del contenido de plomo que fácilmente puede mobilizarse en el suelo

De acuerdo con Räisänen, et al. (1992), se usó el método de Lakanen-Erviö, en el que se pesaron 2,0 g de suelo, se adicionaron 20 mL de solución del extractante ácido etilendiamino tetraacético, sal disódica (EDTA) 0,02M en mezcla con acetato de amonio (AcA) 0,01M a pH 4,5 con agitación constante, posteriormente se centrifugaron y filtraron. En el extracto de cada muestra se determinó el contenido de Pb por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito.



LA RED POSTAL DE COLOMBIA

www.4-72.com.co

▶ Línea de Atención al Cliente Nacional 01 8000 111210 ◀

3. RESULTADOS

Los suelos de la serie Río Bogotá, que está situada en el plano de inundación del río, son suelos moderadamente profundos, limitados por la presencia de horizontes ricos en arcilla muy fina y nivel freático fluctuante, inundables en épocas de invierno. La serie Nemocón presenta suelos mal drenados con un primer horizonte de textura arcillosa. Debajo existe una capa formada por abundante material orgánico, parcialmente descompuesto, de color oscuro y saturado de agua con espesor mayor a un metro, luego aparece una arcilla de aspecto gleizado.

La mayoría de los suelos estudiados tienen una acidez comprendida entre muy ácida y débilmente ácida, según Tabla de Troug, reportada por Fassbender, (1982), con un valor promedio de todos los puntos de pH 5,62; aunque Stevenson (1982), indica que valores bajos de pH son propios de suelos ricos en materia orgánica, en estos suelos no se observó correlación estadísticamente significativa entre estos dos parámetros.

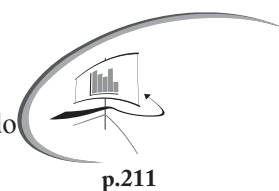
En general, los suelos tienen valores altos de CIC, con valores 21,0 hasta 49,0 cmol (+)/Kg de suelo, de acuerdo con ICA (1992), valores mayores a 20 cmol (+)/Kg de suelo, son considerados altos, esto se debe posiblemente a la influencia de una mayor proporción de arcillas del tipo 2:1 en sus estructuras y al contenido de sustancia húmicas, lo que supone una buena capacidad de retención de metales pesados en el suelo. Rashid, (1971), citado por Forstner y Wittman, (1979), encontró que 1/3 parte de la capacidad total de enlace de los elementos con la materia orgánica se debe a la CIC y las 2/3 partes restantes depende de las posiciones disponibles que existan como sitios de complejación. Se encontró que la CIC de los suelos está directamente relacionada con el contenido de materia orgánica, obteniéndose un coeficiente de correlación de

Spearman de 0,600**, altamente significativo; por esta razón, los horizontes A, donde se concentra la mayor cantidad de materia orgánica, que disminuye con la profundidad en el perfil del suelo, tienen mayor CIC.

Los suelos estudiados presentan altos (mayor a 10%), medios (de 5 a 10%) y bajos (menor al 5%) contenidos de materia orgánica, de acuerdo con la clasificación del ICA (1992).

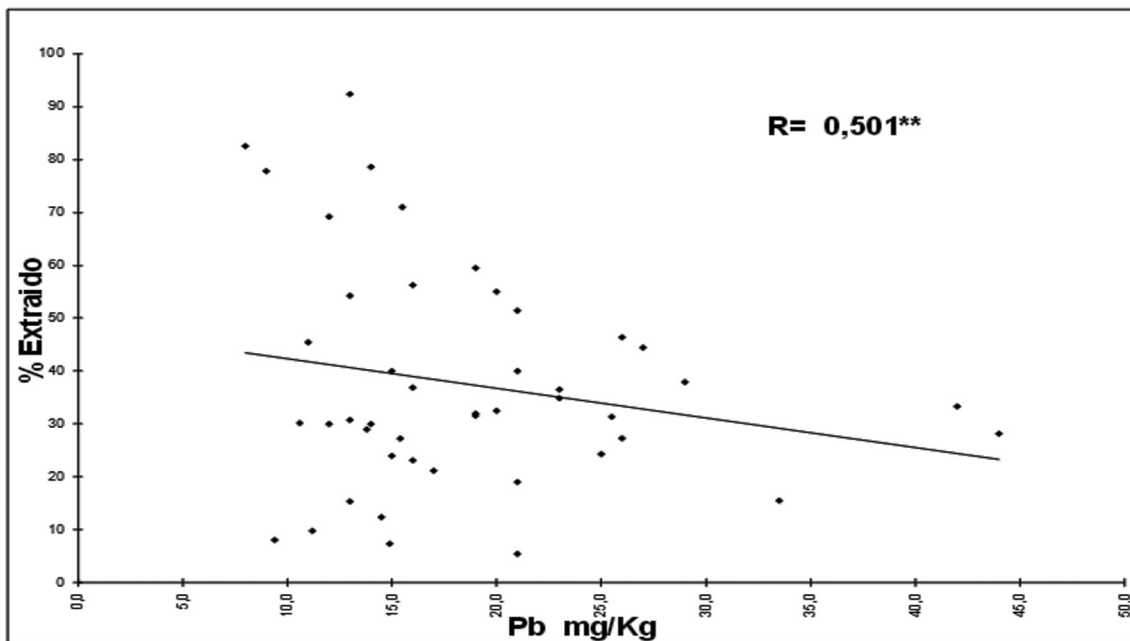
Los resultados sobre la determinación del carbono orgánico extraído con pirofosfato alcalino y el porcentaje de su extracción respecto al carbono orgánico total, indican que la mezcla de pirofosfato de sodio 0,1M e hidróxido de sodio 0,5M a pH 12,3 en relación suelo:extractante 1:10, es un buen extractante de la fracción orgánica, puesto que el contenido de carbono extraído respecto al contenido de carbono orgánico total presenta un coeficiente de correlación de 0,985**, altamente significativo y una eficiencia de extracción del 53% al 97%, con un promedio de 77,5% incluyendo todas las muestras. La alta eficiencia de la extracción indica que una gran proporción de materia orgánica está representada por ácidos orgánicos solubles que forman complejos móviles (Muhammad, et al., 2011).

En el ataque ácido de los suelos con agua regia se determinó que el contenido seudototal de Pb está entre 8,00 y 44,00 mg/kg, con un promedio de 18,61 mg/kg incluyendo todas las muestras.



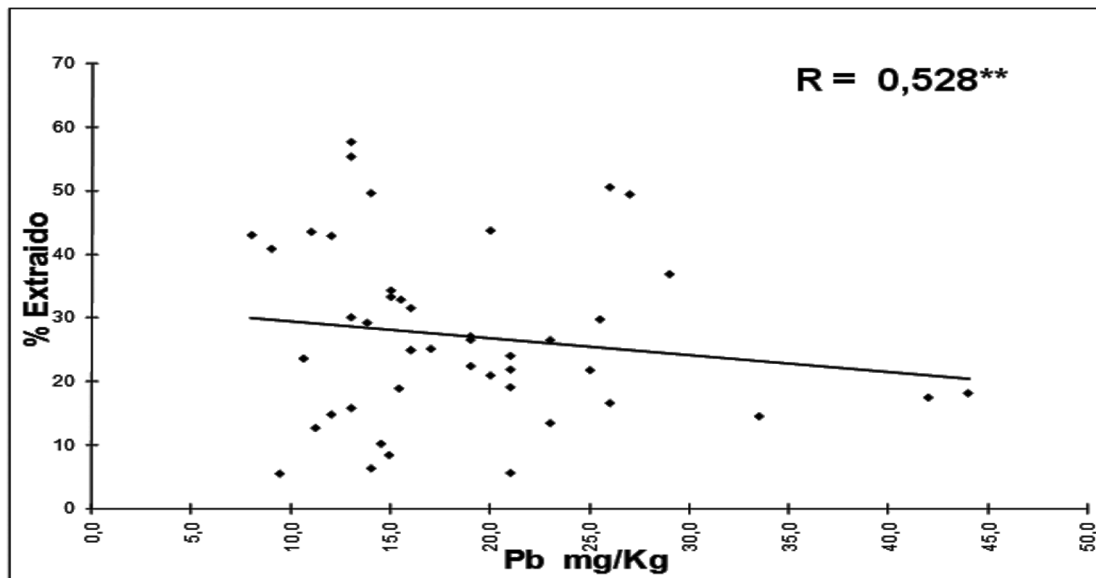
En la fracción orgánica extraída con pirofosfato alcalino se determinó que el contenido de Pb extraído varía entre 0,76 y 14,00 mg/kg con un promedio de 6,65 mg/kg incluyendo todas las muestras.

Figura 1. Cantidad de Pb extraído con pirofosfato alcalino respecto a su contenido pseudototal



Fuente. Los autores

Figura 2. Cantidad de Pb extraído con EDTA-AcA, respecto a su contenido pseudototal



Fuente. Los autores.

El porcentaje de extracción de Pb usando pirofosfato alcalino tiene un promedio de 30%. Esto se puede correlacionar con el estudio de Matamoros, et al. (1998), donde las primeras fracciones extraídas por el Método Tessier representan un 30% del contenido de los metales y el 70% queda en la fracción residual. Lo anterior indica que el pirofosfato extrae la fracción intercambiable, la enlazada a carbonatos

y la unida a óxidos de Fe y Mn que puede en parte incluir los compuestos organo-metálicos con Fe y Mn.

En la extracción de Pb asociado a la fracción movilizable por el método de Lakanen-Erviö, usando mezcla de EDTA 0,02M y $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 0,01M, en relación suelo: extractante 1:10, a pH 4,5, se determinó que el contenido

de Pb está entre 0,52 y 13,35 mg/kg con un promedio de 4,90 mg/kg incluyendo todas las muestras.

Con base en estos resultados y como se observa en las figuras 1 y 2, entre mayor es el contenido seudototal de Pb, menor es el porcentaje de extracción. Esto indicaría que cuando los niveles de Pb son altos, existe una fracción importante que se encuentra formando especies no extraíbles o resistentes, a pesar de que las características del ecosistema han cambiado, este hecho se venía evidenciando en el estudio de Matamoros, et al. (1998) sobre suelos de la Sabana de Bogotá y en el que mediante extracción secuencial de Tessier obtuvieron porcentajes altos de

metales en la fase residual de los suelos. En consecuencia, no se lograron correlaciones significativas entre la cantidad de Pb extraído en la fracción orgánica con el porcentaje de carbono orgánico total ni con el carbono extraído con pirofosfato. En la mayoría de los suelos, los mayores porcentajes de extracción de Pb se presentan en el horizonte A.

En la tabla 1, se indica el porcentaje de extracción promedio de la fracción movilizable y la fracción orgánica con respecto al contenido seudototal de Pb, además se muestran los coeficientes de correlación de las extracciones de las fracciones orgánica y movilizable también respecto al contenido seudototal.

Tabla 1. Comparación de la eficiencia de la extracción de Pb en la fracción movilizable y la fracción orgánica respecto de los contenidos seudototales

Fracción movilizable (Extracción con EDTA-AcA)			Fracción orgánica (Extracción con Pirofosfato Alcalino)		
Rango de extracción %	Promedio extraído	Coef. Correlación	Rango de extracción %	Promedio extraído	Coef. Correlación
5,6 - 58	27,18%	0,528**	5,5 - 92	37,54%	0,501**

** Estadísticamente significativo

Fuente. Los autores.

Según la tabla 1, el porcentaje de extracción de Pb con EDTA-AcA es alto, con un promedio del 27%, indicando que estas proporción de Pb se encuentran en los suelos de la Sabana en forma movilizable y por consiguiente disponible (Krishnamurti, et al, 1995; Zemberyova, et al, 2007; Paradelo, et al, 2011; Finzgar y Lestan, 2007), con el consecuente riesgo de que entren en la cadena a través de las plantas o de las aguas, llegando hasta la población humana.

Los complejos que forma el Pb^{+2} con EDTA presentan una constante de estabilidad del orden de $K_{est}: 1,1 \times 10^{18}$. Comparando este valor con las constantes de estabilidad de otros metales como $Cu^{+2}: 6,3 \times 10^{18}$, $Ni^{+2}: 4,2 \times 10^{18}$, y $Cd^{+2}: 2,9 \times 10^{16}$, (Skoog y West, 1983), se observa que el Pb forma complejos relativamente poco estables de los que podrían ser formados a partir de otros metales como el Ni y el Cd (Paradelo, et al., 2011; Zemberyova, et al, 2007; Finzgar y Lestan, 2007).

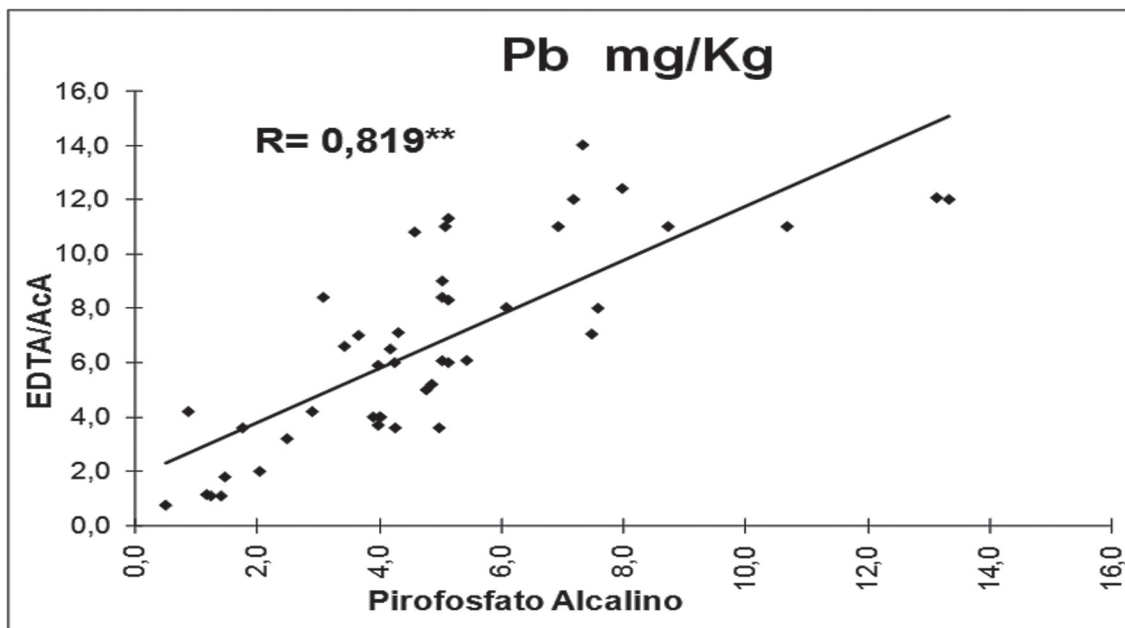
Por otra parte, según la tabla 1, en la extracción de la fracción orgánica con pirofosfato alcalino podría decirse que el Pb tiene tendencia a formar complejos organometálicos en los suelos estudiados. Esto confirma las características organofílicas del Pb reportadas en varios estudios (Taylor, et al., 2010; Rodríguez, et al., 2009, Hargitai, 1994).

En la tabla 1, se observa un mayor porcentaje de extracción de Pb con el pirofosfato alcalino que con el EDTA-AcA, esto ocurre porque el pirofosfato alcalino extrae además de las fracciones más lábiles, consideradas como movilizables y que son extraídas por el EDTA-AcA, la fracción de metales que se encuentra formando complejos organo-metálicos.

Como se muestra en la figura 3, se obtuvo un coeficiente de correlación significativo, 0,819**, entre el contenido de Pb extraído en la fracción orgánica con pirofosfato alcalino y la movilizable con EDTA-AcA.



Figura 3. Relación entre el contenido de Pb asociado a la fracción orgánica y el contenido de Pb asociado a la fracción movilizable



Fuente. Los autores.

Esta alta correlación y el comportamiento comparativo de los dos extractantes, indican que una alta proporción de los complejos organo-metálicos se encuentra en forma movilizable, lo cual indicaría una alta biodisponibilidad de Pb. Esto implicaría que el Pb unido a complejos organo-metálicos no estuviera fuertemente retenido, lo cual coincide con lo mencionado en otros estudios (Muhammad, et al., 2011; Adriano, 1994), en cuanto a que la retención de metales disminuye a valores bajos de pH, con lo que a mayor acidez del suelo se debilitaría la absorción de

metales en las superficies de los minerales disminuyendo la capacidad de intercambio de la materia orgánica.

Lo anterior también coincide con lo reportado por Davis et al, citado por Senesi (1994), en cuanto a que la capacidad de retención de metales por parte de las sustancias húmicas varía con la cantidad de metal unido, por ejemplo, la fuerza de unión del Zn^{+2} y Cu^{+2} aumenta al disminuir la cantidad de metal disponible. Por lo tanto, podría decirse que en los suelos estudiados, los niveles de Pb son tales que no alcanzarían a ser retenidos por las sustancias húmicas.

4. CONCLUSIONES

Se encontró que el porcentaje de plomo asociado a la materia orgánica del suelo fue del 37,5% y el porcentaje de plomo que puede estar fácilmente biodisponible para las plantas fue del 27,2%, del total de plomo presente en el suelo. Estos porcentajes de extracción y la alta correlación encontrada entre estas dos extracciones, indican que en

los suelos estudiados el plomo tiene alta tendencia a formar compuestos químicos que fácilmente pueden introducirse en la cadena alimenticia, afectando la flora, la fauna y constituyéndose en un riesgo potencial para la salud de la población humana.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano, D.C., Elrashidi, M.A. (1994). *Interactions of Contaminants with Soil Components and Enviromental Restoration*. 15th World Congress of Soil Science. México. 3a.
- Fassbender, H.W. (1982). *Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 179.
- Finzgar, N., Lestan, D. (2007). *Multi-step leaching of Pb and Zn contaminated soils with EDTA*. Chemosphere 66. 824–832
- Forstner, U., Wittman, G.T.W. (1979). *Metal Poluttion in the Acuatic Enviroment*. Alemania: Springer.202-260.
- Hargitai, L. (1994). *The Role of Hydrophility and Organophility in the Movement of Toxic Elements in Soil*, 5th Word Congress of Soil Science: Commission II: Symposia; Vol 3a; Acapulco, México.
- ICA. (1992). *Fertilización en diversos cultivos*. Manual de Asistencia Técnica No. 25. Centro de Investigaciones, Tibaitatá. Instituto Colombiano Agropecuario. Nov.19-24.
- IGAC. (1990). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. 5 ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá.
- Krishnamurti, P.M, Huang, K. C. J, Van Rees, L. M, Kozak, K., Rostad, H. P. (1995). *Speciation of Particulate-Bound Cadmium of Soils and Its Bioavailability*. Analyst. March 120: 659-665.
- Matamoros, A., Vargas O, Mejia, L. (1998). *Especiación química y movilidad de los elementos Pb, Ni, Cr, Cu, Cd, Co y V en tres suelos agrícolas de la Sabana de Bogotá*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Paradelo, R., Villada A., Barral, M.T. (2011). *Reduction of the short-term availability of copper, lead and zinc in a contaminated soil amended with municipal solid waste compost*. Journal of Hazardous Materials 188 98–104
- Räisänen, M, Hämäläinen, L, Westerberg, L. (1992). *Selective Extraction and Determination of Metals in Organic Stream Sediments*. Analyst, March, 117: 623-628.
- Rodríguez, A., Ruiz, E., Alonso-Azcarate, J., Rincón, J.; (2009). *Heavy metal distribution and chemical speciation in tailings and soils around a Pb–Zn mine in Spain*. Journal of Environmental Management 90 1106–1116
- Said Muhammad, S.M.,Tahir, S., Sardar, K. (2011). *Heavy metal concentrations in soil and wild plants growing around Pb–Zn sulfide terrain in the Kohistan region, northern Pakistan*. Microchemical Journal 99 67–75
- Senesi, N. (1994). *Spectroscopic Studies of Metal Ion-Humic Substance Complexation in Soil*. 15th World Congress of Soil Science. México.
- Skoog, D., West, D. (1983). *Fundamentos de química analítica*. 2da. edición. Editorial Reverté S.A.
- Stevenson, F .J. Humus Chemistry. (2006). Wiley, New York. 443.
- Taylor, M., Alana K., Mackay, A., Hudson-Edwards, A., Holz, E. (2010). *Soil Cd, Cu, Pb and Zn contaminants around Mount Isa city, Queensland, Australia: Potential sources and risks to human health*. Applied Geochemistry 25 841–855
- Zemberyova, M., Bartekova, J., Zavadska, M., Miriam Sisolakova, M. (2007). *Determination of bioavailable fractions of Zn, Cu, Ni, Pb and Cd in soils and sludges by atomic absorption spectrometry*. Talanta 71 1661–1668.

