
Determinación de las concentraciones de Fe, Mn y Mg en suelo urbano: Ciudad de Chihuahua, México

J.A. Alcalá^{1*}, M. Sosa², M. Moreno⁴, J.C. Rodríguez¹, C. Quintana², C. Terrazas³, M. Vargas³, O. Rivero³, C. Villar¹ y A. Hernández¹

¹Profesor-Investigador. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Km. 14.5 Carretera San Luis-Matehuala Apdo. Postal 32 CP 78321. Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

²Profesor-Investigador. Departamento de Recursos Naturales. Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua.

³Estudiante de Ingeniería en Ecología. Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua.

⁴CIMAV Centro de Investigación de Materiales Avanzados.

Recibido 12 Febrero 2009, Revisado 14 Abril 2009, Aceptado 23 Mayo 2009

Determination of Fe, Mn and Mg concentrations in an urban soil: Chihuahua City, México

Abstract

The study of the urban soil becomes necessary when is recognized by its impact to the human health and as indicator of environmental quality. The Fe, Mn and Mg soil concentrations were evaluated under five trees species are developed of the City of Chihuahua, México. The samplings were carried out during the autumn 2006 and spring 2007 seasons. The main type land use of the city were considered as commercial and service area, mixed industry, heavy industry, low and middle class residential areas. Applying the technique described as ICP (spectrometer with inductively coupled optical plasma) the Fe, Mn and Mg concentrations were determined. With a General Linear Analysis interactions between species, type of land use and season were tested with respect to the quantity of these elements in the soil. They were opposing significant associations between the Fe and the type of land use ($p < 0.052$) and this way with relationship to the season ($p < 0.052$). In the case of the Mg significant interactions were presented with the season-type of land use ($p < 0.010$) and season-species ($p < 0.017$). With the Mn the relationship among the season-type of land use ($p < 0.029$) it was significant. The levels of Fe were up to 300 mg kg^{-1} , which is considered as critical level for toxicity in soil. With these results be contributed for the urban environmental politics and the necessity of continuing studying this urban resource that provides information about the environmental quality.

Keywords: urban development, pollution, urban soil, heavy metals.

Resumen

El estudio del suelo urbano se hace necesario por su impacto en la salud humana y como indicador de calidad ambiental. Fueron evaluadas las concentraciones de Fe, Mn y Mg en suelo urbano sobre el cual se desarrollan árboles de cinco especies arbóreas en la Ciudad de Chihuahua. Los muestreos se realizaron durante las temporadas de otoño 2006 y primavera 2007 considerando los principales usos de suelo de la ciudad, como son: el comercial y servicio, industria mixta, industria pesada, residencial clase media-alta y residencial popular. Aplicando la Técnica ICP descrita como espectrometría óptica con plasma acoplado inductivamente, fueron determinadas las concentraciones de estos minerales. Con un análisis General Lineal se probaron las interacciones entre especie, tipo de uso de suelo y la temporada con respecto a la cantidad de estos minerales en el suelo. Fueron encontradas asociaciones significativas entre el Fe y el tipo de uso de suelo ($p < 0.052$) así como con la temporada ($p < 0.052$). En el caso del Mg se presentaron interacciones significativas con la temporada-tipo de uso de suelo ($p < 0.010$) y temporada-especie ($p < 0.017$). En relación al Mn fue significativa la asociación entre la temporada-tipo de uso de suelo ($p < 0.029$). Se encontraron niveles de Fe mayores a 300 mg kg^{-1} considerados como nivel crítico para toxicidad en suelo. Con estos resultados se aportan elementos

* Autor de correspondencia

E-mail: jorge.alcala@uaslp.mx; Tel: + 52-444 8524060

para la política ambiental urbana y la necesidad de continuar estudiando este recurso urbano que proporciona información sobre la calidad ambiental.

Palabras clave: desarrollo urbano, contaminación, suelo urbano, metales pesados.

Introducción

El estudio del suelo a nivel urbano es indispensable para conocer los efectos de la contaminación ambiental. Kaye *et al.* (2006) consideran que es necesario comprender que la apertura de las áreas urbanas y el crecimiento de la población dan origen a la investigación ecológica para conocer sus impactos y cambios en el ambiente buscando alternativas para la regeneración urbana y funcionalidad de la estructura del ecosistema. Para Escobar (2006) en el conocimiento de la calidad ambiental, el suelo es un elemento importante para los sistemas urbanos. En este aspecto CONAFOVI (2005) establece que los suelos urbanos no tienen un perfil natural, debido a que en las ciudades queda compactado y contaminado con desperdicios de la construcción y en donde los árboles del sitio quedan expuestos a esas condiciones. Ortiz *et al.*, (2007) lo definen como un elemento frágil del medio ambiente al que se le confiere la capacidad para desarrollar una serie de funciones esenciales en la naturaleza de carácter medioambiental, ecológico, económico, social y cultural. Es por eso que la opinión pública debe preocuparse y establecer políticas ambientales de actuación que garanticen la protección y conservación de los suelos. Los metales pesados están presentes de forma natural en los suelos, pero en los últimos años las actividades industriales y la deposición de residuos tóxicos de todo tipo han contribuido a la acumulación de estos elementos en el medio ambiente (Llugany *et al.*, 2007). Existe un gran número de sitios en el mundo que se contaminan, tomando interés aquellos en donde la presencia de metales pesados es resultado de las actividades humanas (Lombi *et al.*, 2001; Gil *et al.*, 2002). Algunos minerales como el Fe y el Mn se encuentran dentro del grupo de metales pesados que están constituidos con una densidad mayor a 5 g cm^{-3} siendo esenciales para los organismos en pequeñas cantidades, convirtiéndose en nocivos cuando se presentan en concentraciones elevadas, ya que existe un riesgo por su lixiviación, absorción por las plantas y el paso a la cadena trófica (Ortiz *et*

al., 2007; Carpena y Pilar, 2007). Ante esto se señala que los óxidos e hidróxidos de Fe y Mn juegan un papel en la retención de metales pesados debido a su capacidad de inmovilización especialmente el Pb y Cu (Sierra, 2006). En el caso del Mg se considera dentro de los macronutrientes y ocupa para las especies vegetativas el centro de la molécula de la clorofila y es esencial para la fotosíntesis. Para Steiner (1980) las condiciones de suelo en las áreas urbanas tienen efectos en el desarrollo de la vegetación, debido a la toxicidad química que pueda derivarse por la influencia del tráfico vehicular y los procesos industriales. En caso de determinarse la presencia en el ambiente de estos elementos deben ejecutarse los programas para identificar los niveles elevados de elementos tóxicos y para minimizar su efecto en el ecosistema (Adout *et al.*, 2007). El interés de estudiar la presencia de estos elementos en la ciudad de Chihuahua, se fundamenta en que la salud del suelo urbano como indicador puede estar asociada a través del tiempo a los efectos del crecimiento urbano. En la ciudad convergen áreas de carácter comercial y de servicios, industrial y residencial, además del equipamiento, granjas, vialidades y otras que pueden originar la disponibilidad en el ambiente de estos elementos que pueden considerarse a niveles tóxicos, pues en estudios atmosféricos se ha determinado en la composición de partículas la presencia de metales pesados entre ellos el Fe (Campos *et al.*, 2007). Resulta también de interés que en los programas de reforestación como parte de la mitigación de la contaminación se desconoce de las condiciones del suelo urbano que de alguna forma puede incidir en el desarrollo de las especies y reducir su capacidad restauración ambiental. Por tal motivo fue desarrollado un estudio para determinar las concentraciones de Fe, Mn y Mg en suelo donde se desarrollan cinco especies arbóreas para su consideración como un posible indicador calidad ambiental de la ciudad de Chihuahua.

Material y Métodos

El estudio se desarrolló en la zona urbana del Municipio de Chihuahua ubicado conforme al INEGI (2007) en las coordenadas 28°38' Latitud Norte y 106° 04' Longitud Oeste. Para la toma de muestras de suelo, la ciudad fue dividida en cinco sitios de muestreo conforme a los usos de suelo dominantes: comercial y servicio (sitio 1), industria mixta (sitio 2), industria pesada (sitio 3), residencial modalidad media-alta (sitio 4) y residencial modalidad popular (sitio 5) (Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población Chihuahua, 2001; Subdirección de Catastro, 2004) (Fig. 1). De estos sitios fueron tomadas 50 muestras de suelo a una profundidad aproximada de 10 cm. Los suelos pertenecieron a lugares donde están ubicados árboles de cinco especies con mayor representatividad urbana como son: Lila (*Melia azedarach*), Fresno (*Fraxinus spp.*), Ciprés (*Cupressus arizonica*), Moro (*Morus spp.*) y Sicomoro (*Platanus occidentalis*). Fue considerado que los sitios estuvieran ubicados en la alineación o área perimetral de la cuadra colindante a una calle o

avenida principal. Estas fueron tomadas considerando la especie, el tipo de uso de suelo y las temporadas de otoño del 2006 y primavera del 2007. En la determinación de concentraciones de los minerales se preparó una muestra de suelo secándolo a temperatura ambiente por 3 días, después se tamizó en una malla de 2 mm y se tomó la cantidad de 0.5 g misma que se le agregó una mezcla de HNO₃ y HCl en proporción de 1:3. Se dejó en un vial de teflón de microondas por dos horas a 60° C pasándolo a un digestor de microondas diluyéndose el extracto líquido con agua tridestilada para el análisis de Fe, Mn y Mg a través de la técnica ICP (Inductively Coupled Plasma) o bien conocida como espectrometría óptica con plasma acoplado inductivamente empleada por Puga (2006) marca Termo Jarell Ash modelo IRIS AP DUO reportando las concentraciones en mg kg⁻¹. Para el análisis se utilizó el paquete estadístico Minitiab®, diseñando un Modelo con Proc GLM fijando un $\alpha \leq 0.10$, con el cual se probaron las interacciones entre los factores sitio, especie, temporada con respecto a las concentraciones de estos elementos.

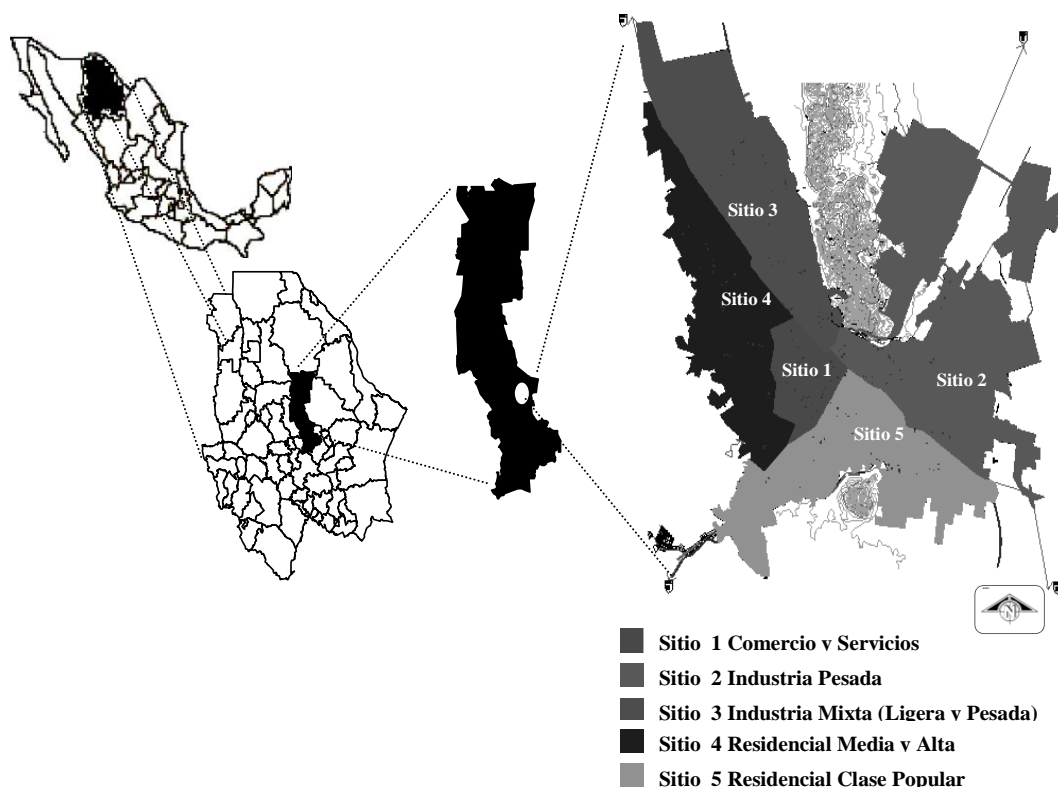


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo basado en el Plano General de la ciudad de Chihuahua (Subdirección de Catastro, 2004).

Resultados

De los análisis realizados se presentaron asociaciones significativas entre las concentraciones de Fe con respecto al factor denominado tipo de uso de suelo, así como con la temporada, ambas con $p < 0.052$. Para el primero de los casos, el tipo de uso de suelo que concentró la mayor cantidad promedio fue la zona de la industria pesada con $9683 \pm 1166.8 \text{ mg kg}^{-1}$, además la zona residencial modalidad popular presentó la menor cantidad con $5333 \pm 1166.8 \text{ mg kg}^{-1}$ (Fig. 2). Con respecto al efecto de la temporada, la estación de primavera concentró la mayor cantidad de Fe con $8659 \pm 738 \text{ mg kg}^{-1}$ y en otoño con $6469 \pm 738 \text{ mg kg}^{-1}$

¹ (Fig. 3). En relación al Mn solo hubo efecto de la interacción entre la temporada-tipo de uso de suelo ($p < 0.029$), en donde la zona de la industria pesada obtuvo la mayor concentración con $370.3 \pm 37.82 \text{ mg kg}^{-1}$ y la zona residencial modalidad media-alta obtuvo la menor cantidad en esa misma temporada con $179.2 \pm 37.82 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabla 1). En relación al Mg se presentaron interacciones significativas con respecto a la temporada-tipo de uso de suelo ($p < 0.010$) y temporada-especie ($p < 0.017$). En cuanto a la relación entre los factores temporada-tipo de uso de suelo se observó que la zona de comercio y servicios obtuvo la mayor concentración en la temporada de primavera con $1799.1 \pm 132.1 \text{ mg kg}^{-1}$ y la más baja fue de

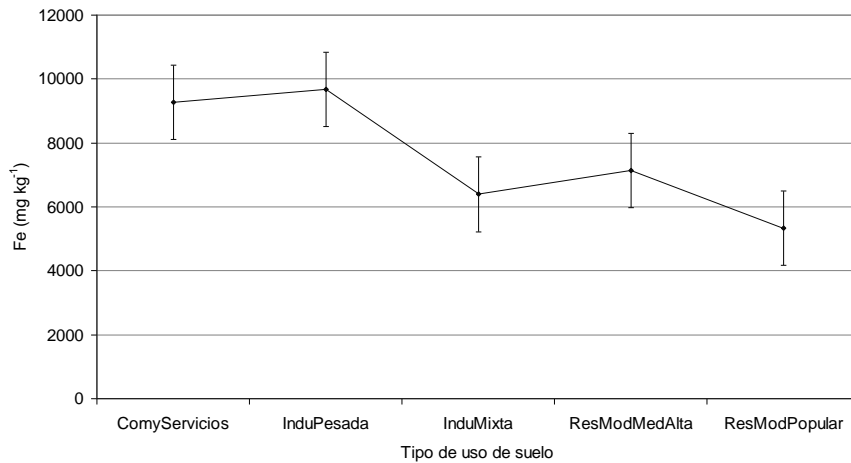


Figura 2. Concentración de Fe en suelo urbano resultante de la asociación con el Tipo de uso de suelo ($\pm E.E.$).

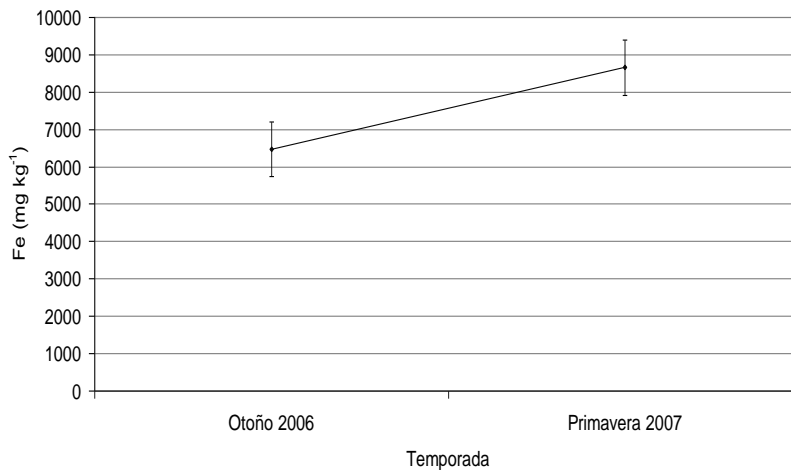


Figura 3. Concentración de Fe en suelo urbano resultante de la asociación con la Temporada ($\pm E.E.$).

885.3±132.1 mg kg⁻¹ en la zona de la industria pesada en esa misma temporada. En la temporada de otoño, destacan los valores obtenidos en muestras de suelo de la zona residencial modalidad cuya concentración fue de 1611.1±132.1 mg kg⁻¹ (Tabla 1). Con respecto a la relación significativa de la temporada-especie y las concentraciones de Mg los suelos tomados en árboles, se observó que aquellos pertenecientes al moro obtuvieron la mayor concentración durante el otoño con 1629.9±132.1 mg kg⁻¹ y los suelos de fresno fueron los que obtuvieron la menor cantidad de este elemento con 1135.5±132.1 mg kg⁻¹ observándose que fue en esa misma temporada. En el caso de la primavera destacan las concentraciones en los suelos de árboles de sicomoro donde obtuvieron en promedio 1612.6±132.1 mg kg⁻¹ y en esa misma

temporada las concentraciones obtenidas en suelos de árboles de moro con 1153.5±132.1 mg kg⁻¹ (Fig. 4).

Discusión

De los resultados obtenidos se considera que la dinámica urbana incide en el origen y dispersión de las partículas de Fe, Mn y Mg que se depositan en el suelo debido a relación encontrada entre el tipo de uso de suelo y la temporada. Además se considera el efecto de la posible reincorporación de minerales al suelo urbano mediante la descomposición de las hojas de los árboles, debido a que el factor especie fue también condicionante en la concentración de estos elementos en el suelo, variando a su vez según la temporada, como fue el

Tabla 1. Concentraciones de Mn y Mg en suelo urbano resultante de la interacción entre Temporada y Tipo de uso de suelo (±E.E.).

Uso de suelo	Temporada	Mn (mg kg ⁻¹)		Mg (mg kg ⁻¹)	
		Prom.	±E.E.	Prom.	±E.E.
Comercio y Servicios	Otoño	213.2	37.82	1484.1	132.1
	Primavera	276.9	37.82	1799.1	132.1
Industria Pesada	Otoño	212.3	37.82	1429.8	132.1
	Primavera	370.3	37.82	885.3	132.1
Industria Mixta	Otoño	244.5	37.82	1308.4	132.1
	Primavera	234.5	37.82	1622.4	132.1
Residencial Modalidad Media-Alta	Otoño	276.3	37.82	1611.7	132.1
	Primavera	179.2	37.82	1180	132.1
Residencial Modalidad Popular	Otoño	260.2	37.82	1398.4	132.1
	Primavera	206.2	37.82	1144.1	132.1

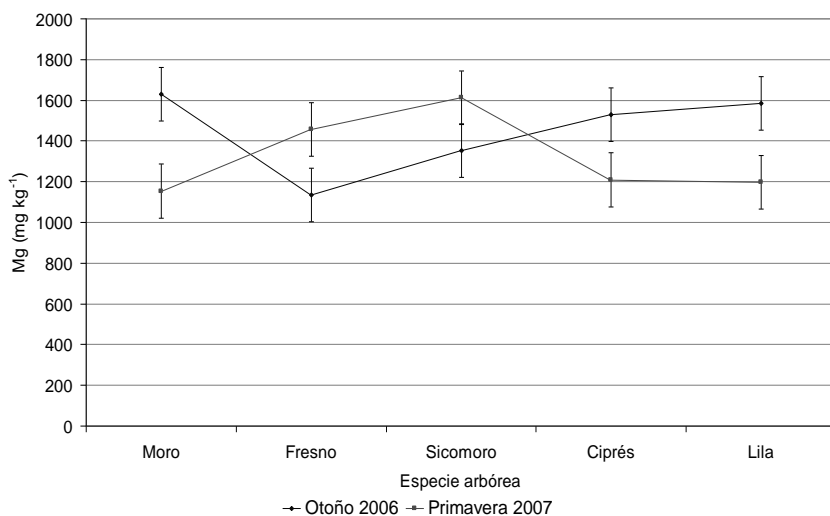


Figura 4. Concentración de Mg en suelo urbano resultante de la interacción Temporada-Especie (±E.E.).

caso del Mg. Los efectos de la temporada y el tipo de uso de suelo fueron evidentes tanto en Mn y Mg en donde existieron diferencias marcadas de las concentraciones. Para el primer caso, los valores más altos se dieron en la zona de la industria pesada y en la segunda en la zona de comercio y servicios, ambos en la temporada de primavera. Solo en el caso del Fe se presentó una asociación significativa por efecto de la temporada y el tipo de uso de suelo encontrando 4350 mg kg^{-1} de diferencia entre el área industrial que obtuvo la mayor cantidad y la zona residencial modalidad popular que obtuvo la menor concentración. En la zona de la industria pesada existen instalaciones de una industria minera sin operaciones que principalmente puede estar incidiendo en la disponibilidad de Fe en el ambiente, además del tráfico vehicular pesado e instalaciones industriales. En la literatura internacional hay escasa información acerca del comportamiento de Fe en suelos urbanos, para ello destaca el efecto del Fe y sus óxidos en la adsorción de metales pesados a partículas de suelo y con ello en la biodisponibilidad. El Fe es un elemento predominantemente de origen geogénico. En menor proporción es además producto de la actividad antropogénica (López et al., 2006). Goudot y Bertrand (1973) señalaron que los niveles de este elemento en la corteza terrestre oscilan en 42 g kg^{-1} . En este estudio se encontraron valores arriba de la concentración crítica de Fe en el suelo para que ocurra toxicidad la cual según Dobermann y Fairhurst (2000) indican que sería mayor a 300 mg kg^{-1} . La cantidad promedio reportada en suelos de un área céntrica de Buenos Aires fueron de $5294.6 \text{ mg kg}^{-1}$, teniendo una concentración mínima de 947 y máxima de 14580 mg kg^{-1} . Dobermann y Fairhurst (2000) señalan que no se han establecido niveles críticos para contenidos de Fe en el suelo, sin embargo, su toxicidad se asocia a suelos con $\text{pH} < 5.0$ (en H_2O) mismos que son susceptibles a toxicidad de Fe. De igual manera, suelos que contienen cantidades bajas de K, P, Ca y Mg son también susceptibles. Perelman et al. (2006) reportaron que la presencia de manganeso en el ambiente urbano puede deberse a instalaciones eléctricas, talleres mecánicos y tránsito vehicular. A su vez otra actividad contaminante es la disposición de residuos. En la corteza terrestre las concentraciones de este elemento según Goudot y Bertrand (1973) se presentan en el orden de 1.0 g

kg^{-1} . Los niveles naturales de manganeso en el suelo generalmente varían entre 40 y 900 ppm (ATSDR, 2000). En este sentido para este estudio la mayor cantidad de Mn fue de 370.3 mg kg^{-1} , concentración que entraría en este rango. Asimismo uno de los agentes potencialmente contaminantes del suelo están fundamentalmente asociados a residuos derivados de actividades industriales, mineras, agrícolas y ganaderas (Ortiz et al., 2007). Las variaciones además pueden ser de 1 mg kg^{-1} hasta 7000 mg kg^{-1} dependiendo de la localización geográfica y el origen de la contaminación (Galvao y Corey, 1987). Oviasogie et al. (2007) encontraron en cinco sitios concentraciones de Fe que oscilaron de 96 a 745 mg kg^{-1} y de Mn de 12 hasta 354 mg kg^{-1} . Asimismo un rango de 141.60 a 842.0 mg kg^{-1} de contenidos de Mn fueron encontrados en suelos regados con aguas residuales urbanas (García-Díaz y Méndez-Romero, 2003). Ramírez-Correa et al. (2007) encontraron niveles de Fe con valores que oscilaron entre 43.20 , 70.00 y 98.78 mg kg^{-1} en suelos de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill y Cham), pino patula (*Pinus patula* Schltldl) y roble (*Quercus humboldtii* Bonpl). Asimismo encontraron niveles de Mn en el orden de 1.70 , 1.56 y 1.36 mg kg^{-1} respectivamente en suelos de estos mismos árboles. En el caso de la interacción entre la temporada-especie manifestada con el Mg da evidencia para hacer notorio que el suelo obtenido de las especies juega un rol en las concentraciones aun y cuando estas oscilaron entre 1000 a 1600 mg kg^{-1} . Goudot y Bertrand (1973) reportan que en la corteza terrestre la presencia de Mg es en proporción de 23.5 g kg^{-1} . López et al. (2006) señalan que en las ciudades, la construcción de edificios y caminos aportan materiales, alteran las características físicas y químicas de los suelos, modifican la secuencia de capas y perfiles, disminuyen la estructura, aumenta la compactación y producen cambios en la capacidad de intercambio iónica. Con respecto al Mg en la interacción de la temporada-tipo uso de suelo se observa una diferencia de 913.8 mg kg^{-1} de las concentraciones encontradas en la zona de comercio y de servicios con respecto a la distancia entre la zona de la industria pesada que fue la que obtuvo la menor concentración, ambas en la temporada de primavera. Con el efecto de la temporada-especie prácticamente los suelos de todos los árboles oscilaron de 1935.5 a $1629.9 \text{ mg kg}^{-1}$. Destaca que

de las concentraciones más altas que fueron entre el moro en otoño y el sicomoro en primavera solo la diferencia entre estos fue de 17.3 mg kg⁻¹. En general los suelos en los ambientes urbanos tienden a tener varias características inciden limitar o contribuir en el crecimiento de árboles. Asimismo son bajos en fertilidad debido a un la pérdida de materia orgánica o disturbio del perfil del suelo. Los metales pesados son depositados del tráfico vehicular y los procesos industriales pueden estar presentes y pueden poder la causa las toxicidades químicas, además la infraestructura como el pavimento son otras causas de contaminación (Steiner, 1980). Al determinarse la presencia en el ambiente deben de estos elementos como es el caso de los niveles de Fe, ejecutarse los programas para identificar los niveles elevados de elementos tóxicos y para minimizar su efecto en el ecosistema (Adout et al., 2007).

Conclusiones

Se demuestra que la presencia de Fe, Mn y Mg en suelos de la ciudad de Chihuahua puede estar influenciada en algún momento por los factores temporada, especie arbórea y el tipo de uso de suelo, así como la posible asociación entre estos. La zona de la industria pesada resultó la de mayor concentración de Fe y Mn. En el caso del Fe se evidencian niveles considerados para efectos de toxicidad en suelo. En cierta forma la dinámica urbana, industrial y el tránsito vehicular pueden ser algunos de los agentes generadores que hacen disponible en el ambiente estos minerales. En el caso de la planeación urbana puede tomarse en cuenta que el estudio del suelo proporciona información que puede ser indicadora de la calidad ambiental presente en la zona urbana.

Agradecimientos

Al programa de apoyo de Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del Estado de Chihuahua.

Bibliografía

Adout, A., Hawlena, D., Maman, R., Paz-Tal, O. y Karpas, Z., 2007. Determination of trace elements in pigeon and raven feathers by ICPMS. *International Journal of Mass Spectrometry* 267 (2007):109-116.

ATSDR, 2000. Manganese CAS#: 7439-96-5. Resumen de salud Pública. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. Servicio de Salud Pública. Agencia para

Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.

Campos, A., Alcaraz, G.I., Herrera, E.F., Sosa, M., Jiménez, J., Delgado, M., Ramírez, E. y Puga, S., 2007. Análisis temporal de las concentraciones, distribución de tamaño y morfología de partículas suspendidas menores a 10 micras en la ciudad de Chihuahua, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3 (1): 44-5.

Carpeta, R.O. y Pilar, M.B., 2007. Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente* 16(2).

CONAFOVI, 2005. Guía para el diseño de áreas verdes en desarrollos habitacionales. Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda. Primera edición. México. Pp 136

Dobermann, A., y T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient disorders & Nutrient management. Potash and Phosphate Institute and International Rice Research Institute.

Escobar, L., 2006. Indicadores sintéticos de calidad ambiental. Un modelo general para grandes zonas urbanas. *Revista Eure. Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos Regionales*. Vol. XXXII. Número 96. Chile.

Galvao, L.A.C. y G. Corey. 1987. Manganese. Serie Vigilancia 6. Centro Panamericano de Ecología y Salud. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Metepec, México.

García-Díaz, J.C. y F. Méndez-Romero. 2003. Aplicación del análisis multivariante al Estudio del comportamiento de suelos de Cultivo regados con aguas residuales Urbanas no depuradas. 27 Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa Lleida, 8-11 de abril.

Gil, C., Ramos-Miras, J. y Boluda, R., 2002. Niveles Estándar de Cu, Zn y Co y Evaluación de la Contaminación en los suelos de los invernaderos de la comarca del poniente (Almería, España). *Edafología*, Vol. 9 (3):283-294.

Goudot, A. y Bertrand, D., 1973. Los oligoelementos. Que sais-je. No. 88 Oikos-tau, S.A. Ediciones. España.

INEGI, 2007. Anuario Estadístico del Estado de Chihuahua. Tomo I. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Impreso en México.

Kaye, J.P., Groffman, P.M., Grimm, N.B., Baker, L.A. y Pouyat, R.V., 2006. A distinct urban biogeochemistry?. *Review. TRENDS in Ecology and Evolution* Vol.21 No. 4 April.

López, S., Perelman, P., Rivera, M., Castro, M.A. y Fagg, A., 2006. Características del suelo y concentración de Metales a lo largo de un gradiente de Urbanización en Buenos Aires, Argentina. *Multequina* 15:69-80.

Llugany, M., Tolrà, R., Poschnrieder, C. y J. Barceló., 2007. Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre?. *Ecosistemas* 16 (2):4-9. May.

Lombi, E., Zhao, F.J., Dunham, S.J. y McGrath, S.P., 2001. Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soils: Natural Hyperaccumulation versus Chemically Enhanced Phytoextraction. *J. Environ. Qual.* 30:1919-1926.

Oviasogie, P.O., Oshodi, A.A. y Omoruyi, E., 2007. Levels of essential micronutrients in soils and growing plants around refuse dumpsites in Akure, Nigeria. *International Journal of Physical Sciences* Vol. 2 (7):159-162

Ortiz, B.I., Sanz, J.G., Dorado, M.V. y Villar, S.F., 2007. Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Informe de Vigilancia Tecnológica. Universidad de Alcalá. Dirección General de Universidades e Investigación. España.

Perelman, P.E., Castro, M.A., Navarro, L.E., Rechi, M., Arriaga, M., López, S., Martínez Carretero, E. y Faggi, A., 2006.

- Análisis multielemental de la corteza del fresno (*Fraxinus pennsylvanica*) a lo largo de un gradiente urbano-periurbano con la metrópolis de Buenos Aires. *Revista del Museo de Ciencias Naturales*. 8(2):231-236.
- Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población Chihuahua, 2000. Segunda Actualización. Ayuntamiento de Chihuahua 1998–2001. Secretaría de Desarrollo Social. Gobierno del Estado de Chihuahua. Chihuahua. México.
- Puga, S., 2006. Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelo y vegetación provocada por la industria minera en San Francisco del Oro, Chih. Tesis de Disertación Doctoral, Facultad de Zootecnia, Secretaría de Investigación y Posgrado. Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih. Junio.
- Ramírez-Correa, J.A., C. M. Zapata-Duque, C.M., León-Peláez, J.L. y M.I. González-Hernández, 2007. Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montados andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia*. May, Vol. 32, Número 5.
- Sierra, R.V. 2005. Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Plomo por Actividad Industrial. Tesis. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. División de Ingeniería Departamento de Ciencias del Suelo. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre.
- Sierra, M.A., 2005. Niveles de metales pesados y elementos asociados en suelos de la provincia de Almería. Parámetros que los afectan y riesgos de contaminación. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. España.
- Steiner, K.C., 1980. Developing Tree Varieties for Urban Soil Stresses. School of Forest Resources. The Pennsylvania State University. Alliance (METRIA) Proc.
- Subdirección de Catastro, 2004. Plano General de la Ciudad de Chihuahua. Departamento Técnico, Municipio de Chihuahua, México.