



CONCENTRACIONES DE FE, MN Y MG EN MATERIAL FOLIAR DE CINCO ESPECIES ARBÓREAS INDICADORAS DE LA CONTAMINACIÓN URBANA EN LA CIUDAD DE CHIHUAHUA, MÉXICO

FE, MN AND MG CONCENTRATION IN LEAF MATERIAL OF FIVE TREE SPECIES RELATED TO ENVIRONMENTAL POLLUTION IN THE URBAN AREA OF THE CITY OF CHIHUAHUA, MEXICO

JORGE ALCALÁ¹, M. SOSA², M. MORENO³, J. C. RODRÍGUEZ¹,
C. LOREDO¹, J. L. LARA¹ Y J. TAPIA¹

jorge.alcala@uaslp.mx

¹Facultad 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

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

³CIMAV Centro de Investigación de Materiales Avanzados

RESUMEN

La estructura de las áreas verdes en las ciudades nos permite hacer análisis foliares elementales que permiten asociar su contenido mineral y relacionar su capacidad de soporte ecológico y de indicación con los niveles de la contaminación ambiental urbana. El estudio se desarrolló en la ciudad de Chihuahua para conocer la capacidad de concentración de Fe, Mn y Mg en cinco especies arbóreas, siendo evaluado el material foliar de 75 árboles durante las temporadas de otoño,

primavera y verano. Los sitios de muestreo se establecieron conforme a los usos de suelo comercial y servicios, industria mixta, industria pesada, residencial clase media-alta y residencial popular. Fue aplicada la Técnica ICP descrita como espectrometría óptica con plasma acoplado inductivamente para determinar las concentraciones de estos minerales. Con un análisis Lineal General se probaron las interacciones entre los factores especie, sitio y temporada con respecto a las concentraciones de es-

tos minerales. De los resultados destaca que con el Fe el ciprés (*Cupressus arizonica*) mantuvo en otoño y primavera las concentraciones promedio más elevadas siendo éstas de 999 mg kg^{-1} y $789.5 \pm 117.2 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente, rebasando el límite de concentración normal que oscila de 101 a 200 mg kg^{-1} . En el caso del Mn la temporada de otoño concentró la mayor cantidad con $89.45 \pm 7.5 \text{ mg kg}^{-1}$ y la especie de árbol que concentró más fue el sicomoro (*Platanus occidentalis*) con $94.14 \pm 9.7 \text{ mg kg}^{-1}$ rebasando el límite de concentración normal que oscila en 26 a 60 mg kg^{-1} . Se aporta información para ser considerada en las estrategias de mitigación de la problemática de contaminación ambiental de la ciudad de Chihuahua.

Palabras clave: Calidad ambiental, Planeación ambiental urbana, Vegetación arbórea, Uso de suelo

Abstract

The green structure in the cities allows us to make leaf elemental analyses which allow us to relate its mineral content with the urban environmental pollution. The study was developed in the city of Chihuahua to determine the capacity of concentration of Fe, Mn and Mg in five tree species. The leaf

*material of 75 trees was collected during the autumn, spring and summer seasons. The sampling sites were established according to the use of soil in commercial and services area, mixed industry, heavy industry, low and middle class residential area. The mineral concentration in the leafs was done applying the ICP technique described as optical spectrometry inductively coupled plasma. Interactions between the species, site of land use and season were tested with a General Linear analysis with respect to concentrations of each element. The most relevant results show that the cypress (*Cupressus arizonica*) maintained in autumn and spring the highest Fe concentrations averaging, 999 mg kg^{-1} and $789.5 \pm 117.2 \text{ mg kg}^{-1}$ respectively. This level surpassed the normal concentration that oscillates from 101 to 200 mg kg^{-1} . With respect to Mn, the autumn season concentrated the highest quantity with $89.45 \pm 7.5 \text{ mg kg}^{-1}$ and the sycamore (*Platanus occidentalis*) concentrated the highest quantity with $94.14 \pm 9.7 \text{ mg kg}^{-1}$ surpassing the normal limits of concentration that oscillates in 26 to 60 mg kg^{-1} . This article provides information to be considered in the strategies of mitigation of the environmental problem of the city of Chihuahua.*

Key words: Environmental quality, Urban tree vegetation, Urban development, Pollution, Soil use

INTRODUCCIÓN

Los árboles en las ciudades pueden contribuir significativamente a la salud humana y la calidad medioambiental (Nowak *et al.*, 2007). Por eso las investigaciones más recientes sobre espacios verdes han dirigido su atención hacia la relación entre el arbolado y la sostenibilidad urbana para determinar el papel de la vegetación como indicadora de las condiciones medioambientales (Vilela, 2004; Nowak *et al.*, 2006). Para Escobar (2006) en el estudio de la calidad ambiental urbana la densidad de árboles, densidad de área verde, especies vegetativas y el número de árboles sembrados, son algunos de los indicadores importantes para ser estudiados en las ciudades. No obstante se debe considerar el impacto que tienen en la mitigación de problemas como son la contaminación. Para Ortiz *et al.*, (2007) uno de los principales contaminantes ambientales son los metales pesados. Estos se presentan en una densidad mayor a 5 g/cm³, los cuales pueden convertirse en nocivos cuando se presentan concentraciones elevadas. Dentro

de este grupo de elementos se encuentran incluidos el Fe y Mn. Para Wayne (2000), tanto el Fe como el Mn están considerados dentro de los micronutrientes a los cuales se les atribuyen ciertas funciones y síntomas en las plantas. Goudot & Bertrand (1973) señalaron que el Fe se relaciona con la síntesis de la clorofila y algunos metabolismos de la planta. El Mn actúa sobre la respiración y la transpiración vegetal (Wayne, 2000; Russel & Russel, 1968). El Mg está considerado dentro de los macronutrientes y ocupa el centro de la molécula de la clorofila, siendo además esencial para la fotosíntesis (Russel & Russel, 1968). Las plantas distribuyen los metales de diferentes maneras, localizándose principalmente en las raíces y tallos (Memom *et al.*, 2001), además de las hojas. Los árboles reducen la contaminación aérea atrampando el material particulado y absorbiéndola en sus hojas (Kane & Kirwan, 2005). En el caso de las concentraciones altas en las zonas urbanas, la remoción de contaminantes varía de una ciudad a otra, ya que depende de la cantidad de contaminantes en la atmósfera, número de días presentes en las hojas de los árboles, índices de área foliar, precipitaciones y otros factores meteorológicos (Vilela, 2004). Algunas especies basan su resistencia a los metales

con la estrategia de una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea, asimismo otras prefieren acumular el metal en la parte aérea en una forma no tóxica para la planta. La exclusión es más característica de especies sensibles y tolerantes a los metales, mientras que la acumulación es más común de especies que aparecen siempre en suelos contaminados o metalíferos (Llugany *et al.*, 2007). En el uso de la vegetación urbana toma sentido el diseño y manejo, ya que se le asocia a la magnitud que puede tener como biotecnología para reducir contaminantes y traer beneficios a la salud urbana (Nowak, 2006). Algunas especies han sido estudiadas para asociar los niveles de contaminación urbana por metales pesados derivados principalmente por tránsito vehicular, emisiones industriales y domésticas, desarrollo urbano, fuentes naturales, así como la dinámica urbana, en donde se ha encontrado relación en el contenido de éstos en tallos, raíces o material foliar en especies vegetativas (Terekhina & Ufimtseva, 2006; Aksoy & Sahin, 1999; Aksoy *et al.*, 2000). En la ciudad de Chihuahua se han tenido bases para conocer la calidad del aire en donde se ha determinado la presencia de metales pesados, entre ellos el Fe (Campos *et al.*, 2007). Estas partículas

pueden estar asociadas a las concentraciones en la vegetación, dando origen a la necesidad de estudios que relacionen su capacidad como soporte ecológico, considerando que la ciudad cuenta con 365,68 hectáreas de una infraestructura verde (IMPLAN & Colegio de la Frontera Norte, 2006) la capacidad mitigadora de la contaminación y la asociación con otros servicios ambientales por parte de la vegetación, son desconocidos. En este sentido, se desarrolló un estudio para conocer la capacidad de soporte ecológico urbano determinando las concentraciones de Fe, Mn y Mg en material foliar de cinco especies arbóreas con mayor representatividad urbana, las cuales fueron distribuidas conforme a los diferentes usos de suelo que caracterizan el desarrollo urbano de la ciudad de Chihuahua.

MATERIAL Y MÉTODO

El área de estudio se localiza en la zona urbana del Municipio de Chihuahua en las coordenadas geográficas 28°38' Latitud Norte y 106°04' Longitud Oeste (INEGI, 2007). La ciudad tiene una temperatura promedio anual de 13° C. Su clima es considerado seco y con una humedad relativa promedio anual de 45% (Campos *et al.*, 2007). Según Herrera-Peraza *et al.*, (2008) el

viento promedio anual es de dirección nordeste. Asimismo, se menciona que tres sierras fundamentales influyen fuertemente en la dirección del viento superficial (Sierra de la Haciendita, al oeste de la ciudad, la Sierra de Nombre de Dios, al este y las Sierras de Pastorías y La Gloria al sur). La ciudad fue dividida en cinco sitios de muestreo conforme a los usos de

suelo dominantes: comercial y servicio, industria mixta, industria pesada, residencial media-alta y residencial popular (Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población Chihuahua, 2000; Subdirección de Catastro, 2004) (Figura 1). Fueron tomados 60 a 100 g de material foliar de ramas encontradas entre 1,60 a 3 m de altura de 75 árboles, considerando cinco especies

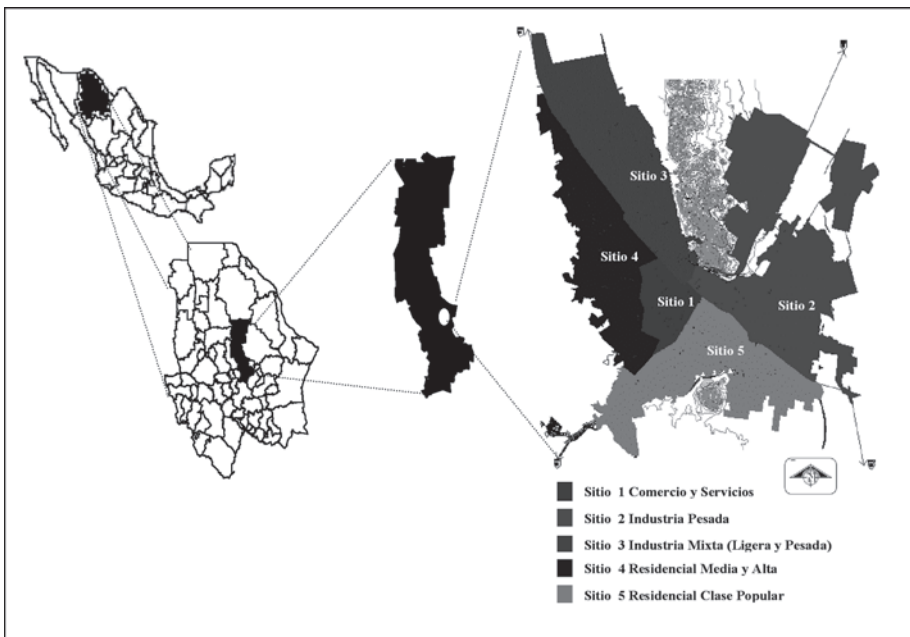


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo basada en el Plano General de la ciudad de Chihuahua (Subdirección de Catastro, 2004)

Figure 1. Location of sampling sites based on the overall plan for the city of Chihuahua (Source: Subdirección de Catastro, 2004)

arbóreas 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 árboles estuvieran ubicados en la alineación o área perimetral de la cuadra y colindante a una calle o avenida principal.

Fueron tres las muestras por cada una de las especies arbóreas mencionadas, además se tomó en cuenta su ubicación conforme al tipo de uso de suelo y su programación conforme a las temporadas de otoño de 2006, primavera y verano 2007. Para el análisis de las concentraciones de los minerales se consideró una muestra de 1 a 2 g de material pulverizado determinando la cantidad de humedad y materia seca, así como las cenizas en una mufla a una temperatura de 600 °C. Una vez obtenida las cenizas se procedió a preparar las digestiones en un vaso de precipitado de 250 ml aplicando 10 ml de HCL 1-3 y 0.5 ml de HNO₃ concentrado, poniéndola en una parrilla eléctrica y revolviéndola con una varilla de vidrio por un espacio de 15 minutos hasta alcanzar la solución óptima, para posteriormente dejarla en reposo. Fue agregada agua

tridestilada y filtrada en un matraz volumétrico aforado a 100 ml. Para determinar las concentraciones de Fe, Mn y Mg se aplicó la técnica ICP (Inductively Coupled Plasma) empleada por Puga (2006) reportando las concentraciones en mg kg⁻¹. Se diseñó un Modelo con Proc GLM fijando un $\leq 0,05$, probando las interacciones entre los factores sitio, especie, temporada con respecto a las concentraciones de estos metales.

RESULTADOS

De los análisis realizados se encontró una relación significativa entre la temporada-especie respecto a las concentraciones de Fe ($p < 0,042$). En la Figura 2 se muestra que el ciprés mantuvo en otoño y primavera las concentraciones promedio más elevadas, al compararlas con las demás especies, siendo éstas de

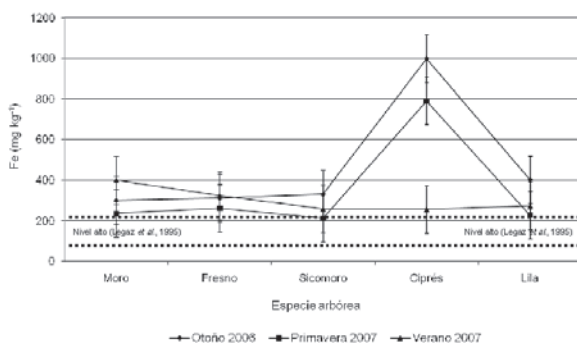


Figura 2. Concentración de Hierro en material foliar resultante de la interacción temporada-especie ($\pm$ E.E.)
Figure 2. Iron concentration associated with season-species ($\pm$ S.E.)

999 $\pm$ 117,2 mg/kg y 789,5 $\pm$ 117,2 mg kg⁻¹ respectivamente. Asimismo, con el Mn se presentaron asociaciones significativas de las concentraciones con la temporada ($p<0,006$) y la especie ($p<0,054$). Para el primero de los casos, la temporada de otoño concentró la mayor cantidad de Mn con 89,45 $\pm$ 7,5 mg kg⁻¹ (Figura 3). En el caso de la especie que mayor acumulación obtuvo de este metal fue el sicomoro con 94,14 $\pm$ 9,7 mg kg⁻¹, en donde el ciprés obtuvo la menor concentración de todas las espe-

cies, siendo de 53,03 $\pm$ 9,7 mg kg⁻¹ (Figura 4). En relación al Mg se presentaron dos asociaciones significativas. La primera corresponde al efecto de la temporada-tipo de uso de suelo ($p<0,038$) en donde la temporada de otoño presentó las concentraciones más altas en un intervalo promedio de 2337 $\pm$ 165,4 mg kg⁻¹, siendo la zona residencial popular la que obtuvo el valor más alto (2757 $\pm$ 165,4) y la que obtuvo la menor concentración fue la temporada de primavera cuyos valores oscilaron en un intervalo promedio

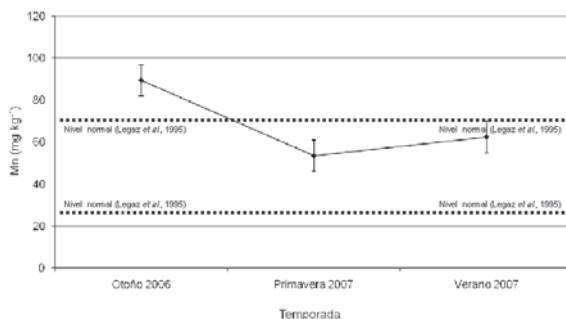


Figura 3. Concentración de Manganese resultante de la asociación con la temporada ($\pm$ E.E.)
 Figure 3. Manganese concentration associated with season ($\pm$ S.E.)

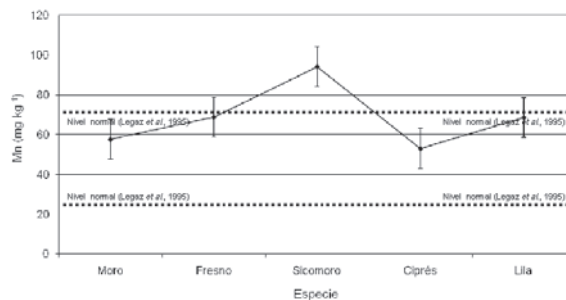


Figura 4. Concentración de Manganese resultante de la asociación con la especie ($\pm$ E.E.)
 Figure 4. Manganese concentration associated with species ($\pm$ S.E.)

de $1450 \pm 165,4$, en este caso destacó la zona residencial popular con una concentración de $1349 \pm 165,4 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 5). El segundo caso corresponde a la asociación entre la temporada-especie ($p < 0,010$) en donde la temporada de otoño presentó los valores más altos de concentración, siendo el árbol de ci-

prés como la especie con mayor capacidad de acumulación con un promedio de $3216 \pm 165,4 \text{ mg kg}^{-1}$ y en la temporada de verano, también resultó ser el ciprés, la especie con la menor concentración de Mg mismo que presentó un promedio de $1340 \pm 165,4 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 6).

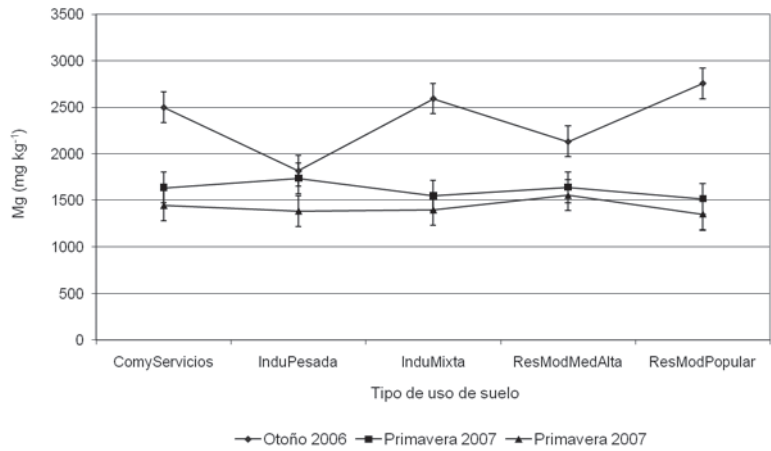


Figura 5. Concentración de Magnesio resultante de la interacción temporada-tipo de uso de suelo ($\pm E.E.$)
Figure 5. Magnesium concentration associated with season-type of land use ($\pm S.E.$)

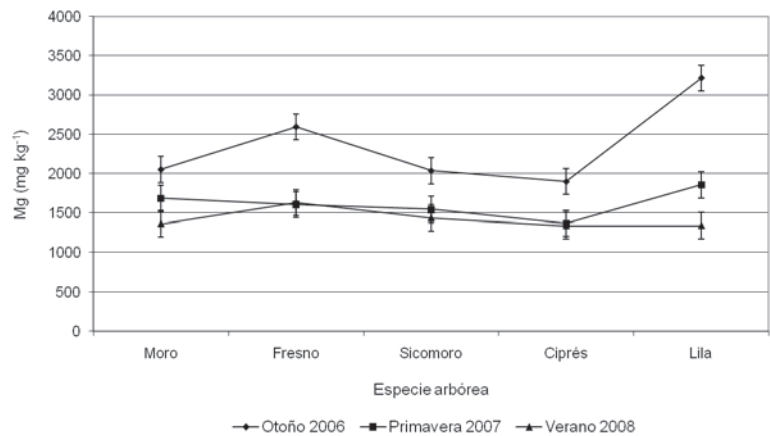


Figura 6. Concentración de Magnesio resultante de la interacción Temporada-Especie ($\pm E.E.$)
Figure 6. Magnesium concentration associated with Season-Species ($\pm S.E.$)

DISCUSIÓN

De los resultados encontrados se demuestra que los efectos de la especie, temporada y el tipo de uso de suelo además de sus posibles interacciones pueden incidir en algún momento en la capacidad de bioacumulación de Fe, Mn y Mg en las especies evaluadas. Campos *et al.*, (2007) consideraron que la distribución de partículas de algunos contaminantes en la ciudad de Chihuahua está relacionada con los fenómenos meteorológicos, tales como inversión térmica, precipitación y velocidad del viento. Para el caso del Fe y el Mg, en donde la interacción de la temporada-especie fue significativa, en esta se observó que para el Fe el ciprés demostró una tendencia mayor de la concentración en dos temporadas (otoño y primavera) con una diferencia entre las dos de 209.5 mg kg⁻¹. Es posible que una de las fuentes de obtención del Fe sea la vía estomática, pues en la ciudad de Chihuahua se han tenido bases para conocer la calidad del aire, en donde se ha determinado la presencia de metales pesados entre ellos el Fe (Campos *et al.*, 2007). En el caso del Mg, en el otoño dos especies presentaron las mayores concentraciones teniendo el fresno y la lila una diferencia entre estas de 622 mg kg⁻¹. En tanto la relación entre los factores temporada y tipo de

uso de suelo, sólo se presentó con el Mg, marcándose las concentraciones más pronunciadas en otoño dentro de un rango medio de 2287±165,4 mg kg⁻¹, y en donde los usos de suelo de la zona residencial modalidad popular y la industria pesada fueron las tendencias mayores. La dinámica urbana y las características de infraestructura de estas dos zonas en la ciudad, pueden incidir en las concentraciones de Mg en el ambiente, que hacen que los árboles estén concentrando mayores cantidades. Asimismo, es necesario considerar que en cada temporada puede variar las concentraciones debido a los procesos fisiológicos de los árboles, donde el efecto de la temporada podría ser determinante. Goudot & Bertrand (1973) reportaron que las concentraciones en especies cultivadas, el Mg tendrían alrededor de 820 mg/kg. En el caso del Fe, las concentraciones encontradas fueron mayores a las marcadas como un nivel normal, ya que para Legaz *et al.*, (1995), en un análisis foliar estaría oscilando de 61 a 100 ppm, los niveles altos de 101-200 ppm y muy altos cuando son mayores de 200 ppm. Para el Fe también se han reportado concentraciones dentro de un intervalo normal de 250 mg kg⁻¹ en *Populus deltoides* y en *Populus nigra* en un intervalo de 100 a 283 mg kg⁻¹ (Madejon, 2003).

Czarnowska & Milewska (2000) reportaron para el Fe en especies evaluadas en el área urbana promedios entre 310 mg/kg. Para Goudot & Bertrand (1973) el hierro se encuentra en los vegetales en el orden de 5 a 200 mg/kg por lo cual es otra evidencia que indica que los resultados obtenidos en este estudio demuestran que las concentraciones rebasan este rango. Cuando las concentraciones foliares son altas o excesivas de un determinado elemento, indican que está siendo absorbido en cantidades superiores a las estrictamente necesarias, ya sea por su abundante disponibilidad en el suelo en estado asimilable o por un exceso de fertilización. Adicionalmente, la acumulación excesiva de algunos elementos en los tejidos puede producir efectos tóxicos, con graves repercusiones en el desarrollo y la producción (Legaz *et al.*, 1995). La toxicidad del Fe es causada fundamentalmente por su elevada absorción, desde la solución del suelo, donde este metal se puede encontrar en altas concentraciones. El contenido de Fe en las plantas afectadas es generalmente alto, oscilando de 300–2000 mg/kg, pero el contenido crítico depende de la edad y el estado general de nutrición de la planta (Dobermann & Fairhurst, 2000). El Fe es un elemento que se encuentra en la superficie del suelo y es producto de la actividad

antropogénica, siendo algunas de las fuentes la construcciones, talleres de enderezado y pintura, herrerías, tránsito vehicular entre otros (Perelman *et al.*, 2006). Las manifestaciones por exceso se asocian a un color moteado con estado clorótico y necrótico de las hojas más bajas, además los excesos de los niveles de Fe pueden reducir la absorción de manganeso (Whipker, 1998). En el caso del Mg, Gachene & Kimaru (2003) indicaron que el magnesio es un elemento importante en la clorofila y es por consiguiente esencial en la fotosíntesis el proceso. Los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas más viejas en la última parte de la estación de crecimiento, las deficiencias pueden provocar clorosis intervenial en las hojas más viejas, asimismo las hojas pueden presentar un enrollamiento hacia arriba en los bordes. En cantidades excesivas los niveles de magnesio pueden reducir la absorción de Ca (Whipker, 1998). En otros estudios se encontraron 1496,11 mg/kg de magnesio en la corteza de fresno dentro de un área céntrica y en el área periurbana en concentraciones promedio de 737,3 mg/kg (Perelman *et al.*, 2006). En relación a los efectos individuales de la temporada y la especie con respecto a las concentraciones de Mn, destaca que en el otoño el nivel

máximo fue de $89,45 \pm 7.5 \text{ mg kg}^{-1}$; puede estar asociado a que en esa temporada se presenta la emisión de partículas contaminantes debido a las condiciones climáticas de la región propicias para que la dinámica urbana emita este metal pesado. Esto concuerda con otros contaminantes atmosféricos determinados por Campos *et al.* (2008) donde en la temporada fría se encontraron mayores concentraciones y dispersión en la ciudad de Chihuahua. (2008). Por otra parte destaca que en esta zona se presenta una época seca de 7 a 9 meses y período libre de heladas de 210 a 250 días. Por sus características climatológicas, se considera que la zona es de clima extremoso. Asimismo el sicomoro obtuvo 41.11 mg/kg de diferencia con respecto a las concentraciones de Mn en el ciprés. Posiblemente por ser una especie que tiene una hoja más grande y caducifolia, acumule en un periodo más corto estas concentraciones con respecto a las obtenidas con el ciprés que es una especie perenne. Para Perelman *et al.*, (2006) que reportaron la presencia de manganeso en el ambiente urbano se la atribuye a la presencia de instalaciones eléctricas, talleres mecánicos y tránsito vehicular. A su vez otra posible fuente de contaminación es atribuida a la disposición de residuos principalmente deriva-

dos de actividades industriales, mineras, agrícolas y ganaderas (Ortiz *et al.*, 2007; ATSDR, 2000). Gachene & Kimaru (2003) reportan que el manganeso es crucial para los procesos enzimáticos en las plantas, para la síntesis de clorofila, así como para la asimilación de nitrato. Legaz *et al.*, (1995) señalan que los niveles normales de Mn en hojas oscilan en 26 a 60 ppm, los niveles altos de 61 a 250 ppm y muy altos mayor de 250 ppm. Otro dato importante es que Sampaio *et al.*, (2006) detectaron la presencia de Mn en hojas de cocotero considerando niveles críticos de Mn a partir de 100 mg kg^{-1} . Por otra parte en hojas de *Populus deltoides* y en *Populus nigra* los niveles encontrados oscilaron entre 40 a 80 mg kg^{-1} (Madejon, 2003). Considerando estas cantidades, en la ciudad de Chihuahua los niveles encontrados de Mn en este estudio fueron $89,45 \pm 7,5$; esta por llegar al nivel crítico en otoño y en la especie del ciprés. En otro estudio $24,5 \text{ mg/kg}$ en promedio de Mn fueron encontradas en hojas de *Taraxacum officinale* en el área urbana, atribuyéndole sus concentraciones al tráfico vehicular (Czarnowska & Milewska, 2000). Diez *et al.* (2002) encontraron diferentes rangos de concentraciones de Mn en *Alyssum serpyllifolium* 50.0 a 180 mg kg^{-1} ,

Cistus ladanifer 20.0 a 2000 mg kg⁻¹, *Cytisus multiflorum* 60.0 a 440 mg/kg, *Lavandula stoechas* 40.0 a 2200 mg kg⁻¹, *Thymus mastichina* 21.5 a 485 mg kg⁻¹. Goudot & Bertrand (1973) reportaron que en 1.400 especies estudiadas encontraron niveles en el orden de 10 a 500 mg/kg con una media de 100 mg/kg señalando que las concentraciones de este elemento pueden variar de una especie a otra sea cual sea el terreno.

CONCLUSIONES

Las especies evaluadas demuestran una posible opción para ser utilizadas en la bioacumulación de Fe, Mg y Mn. Se encontraron niveles de Fe y Mn que rebasan considerados normales y que incluso pueden estimarse como un nivel crítico. Las especies con mayor consideración para ser indicadoras dentro de los resultados con respecto al Fe, serían el ciprés, el sicomoro para el Mn, en el caso del Mg los árboles de lila y fresno, sin embargo hay que considerar en todos los casos sus variaciones en cuanto a la temporada y el tipo de uso del suelo, por lo cual se sugiere establecer un programa de monitoreo con estas especies. En el

caso de la gestión ambiental urbana puede tomarse en cuenta que el uso de especies arbóreas indicadoras de la calidad ambiental, puede ser una alternativa que contribuye a mitigar la problemática ambiental de la ciudad de Chihuahua.

AGRADECIMIENTOS

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

BIBLIOGRAFÍA

- AKSOY, A. & U. SAHIN, 1999. *Elaeagnus angustifolia* L. as a Biomonitor of Heavy Metal Pollution. *Tr. J. of Botany* 23: 83-87
- AKSOY, A., U. SAHIN & F. DUMAN, 2000. *Robinia pseudo-acacia* L. as a Possible Biomonitor of Heavy Metal Pollution in Kayseri. *Turk J. Bot.* 24:279-284
- 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. 12 pp.

- HERRERA-PERAZA, E. F., J. I. CARRILLO-FLORES, A. CAMPOS-TRUJILLO, E. RAMÍREZ-ESPINOZA, R. GÓMEZ, M. E. MONTERO-CABRERA, M. SOSA-CERECEDO, L. A. ORTEGA-CHÁVEZ, R. PÉREZ-BALAM, L. M. RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ, B. TRUJILLO-NAVARRETE, J. A. ACOSTA-BESADA & M. A. RODRÍGUEZ-VILLA, 2008. Características isotópicas del material particulado en el valle de Chihuahua. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4 (2): 55-59, 2008
- CAMPOS, A., G. I. ALCARAZ, E. F. HERRERA, M. SOSA, J. JIMÉNEZ, M. DELGADO, E. RAMÍREZ & S. PUGA, 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
- CAMPOS, A., R. GÓMEZ, L. LICON, J. CARRILLO, E. RAMÍREZ & E. F. HERRERA, 2008. Monitoreo de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Chihuahua (Norte de México) como una herramienta para la gestión de la calidad del aire. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4 (3): 357-366
- CZARNOWSKA K. & A. MILEWSKA. 2000. The Content of Heavy Metals in an Indicator Plant (*Taraxacum Officinale*). *Warsaw Polish Journal of Environmental Studies* 9 (2): 125-128
- DIEZ, L. J., P. KIDD, & C. MONTERROSO, 2002. Biodisponibilidad de metales en suelos y acumulación en plantas en el área de Tras-Monetes (NE Portugal): Influencia del Material Original. *Edafología* 9 (3): 313-328.
- DOBERMANN, A. & T. FAIRHURST, 2000. *Rice: Nutrient disorders & Nutrient management. Potash and Phosphate Institute and International Rice Research Institute*. 191 pp.
- 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 096. Chile.
- GACHENE, C. K. K. & G. KIMARU, 2003. *Soil fertility and land productivity. A guide for extension workers in the eastern Africa region. 2003 Regional Land Management Unit (RELMA)*, Swedish International Development Cooperation Agency (Sida). Nairobi, Kenya. 146 pp.

- GOUDOT, A. & D. BERTRAND, 1973. *Los oligoelementos. Que sais-je*. No. 88 Oikos-tau, S.A. Ediciones. España. 124 pp.
- IMPLAN & COLEGIO DE LA FRONTERA NORTE, 2006. *Estudio del Equipamiento. Estudio del espacio urbano en Chihuahua, Chihuahua: Una evaluación de la vivienda y barrios tradicionales, del equipamiento y de la factibilidad de densidad urbana. Chihuahua*. 62 pp.
- SAMPAIO, J.F.P., L.H. GARÓFALO & H.O.G. CARVALLO, 2006. Macro y Micronutrientes en la hoja del cocotero enano (*Cocos nucifera* L.) después de un año de irrigación con NK. *Agricultura Técnica* (Chile) 66(3): 324-330
- KANE, B. & J. KIRWAN, 2005. Value, Benefits, and Costs of Urban Trees. *Virginia Cooperative Extension. Publication 420-181 Agriculture and Extension Communications*, Virginia Tech. 4 pp.
- LLUGANY, M., R. TOLRÀ, C. POSCHNRIEDER & J. BARCELÓ, 2007. Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre? *Ecosistemas* 16 (2): 4-9. Mayo.
- MADEJON, P., 2003. Elementos traza y nutrientes en álamos blanco más el vertido tóxico de las minas de Aznalcóllar. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 12(3):19-32
- NOWAK, D.J., D.E. CRANE & J.C. STEVENS, 2006. Air pollution removal by urban trees in the United States. *Urban Forestry and urban Greening* 4: 115-123.
- NOWAK, D.J., R.E. HOEHN, J.C. STEVENS & J.T. WALTON, 2007. *Assessing Urban Forest Effects and Values. Philadelphia's Urban Forest. USDA Forest Services*. 26 pp.
- NOWAK, D.J., 2006. Institutionalizing urban forestry as "biotechnology" to improve environmental quality. *Urban Forestry & Urban Greening* 5: 93-100.
- MEMOM, A.R., D. AKTOPRAKLIGUL, A. ZDEMUR & A. VERTII, 2001. Heavy Metal Accumulation and Detoxification Mechanisms in Plants. *Turk J Bot* 25: 111-121.
- RUSSEL, E.J. & RUSSEL E.W., 1968. *Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas*. Novena edición. Aguilar S.A. de Ediciones. España. 801 pp.

- PERELMAN, P.E., M.A. CASTRO, L.E. NAVARRO, M. RECHI, M. ARRIAGA, S. LÓPEZ, E. MARTÍNEZ CARRETERO & A. FAGGI. 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*, n.s. 8(2):231-236.
- TEREKHINA, N.V. & M.D. UFIMTSEVA, 2006. Biogeochemical criteria of contamination of urban vegetation. *Geophysical Research Abstracts, European Geosciences Union*. Vol. 8, 00354.
- VILELA, J.L., 2004. Distribución del arbolado urbano en la ciudad de Fuenlabrada y su contribución a la calidad del aire. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, XXXVI (140):419-427.
- WAYNE, K.C.. 2000. *Nutrient deficientes in Trees*. Agricultural Extension Services. The University of Tennessee. 4 pp.
- WHIPKER, B.E., 1998. Fertilización en Geranios. HIL-504. Servicio de Extensión Cooperativo de Carolina del Norte. 4 pp.

Recibido: 9/2009

Aceptado: 11/2009