



METALES PESADOS EN VEGETACIÓN ARBÓREA COMO INDICADOR DE LA CALIDAD AMBIENTAL URBANA: CIUDAD DE CHIHUAHUA, MÉXICO

*HEAVY METALS IN TREE VEGETATION AS AN INDICATOR OF THE
URBAN ENVIRONMENTAL QUALITY: CITY OF CHIHUAHUA, MEXICO*

JORGE ALCALÁ¹, M. SOSA², M. MORENO³, C. QUINTANA²,
G. QUINTANA², S. MIRANDA³ Y A. RUBIO³

¹ Estudiante del Programa de Doctorado. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua.
E-mail: jalcajaure@yahoo.com.mx

² Maestro Investigador. Departamento de Recursos Naturales. Facultad de Zootecnia. Universidad
Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada, Km. 1

³CIMAV Centro de Investigación de Materiales Avanzados

RESUMEN

La vegetación representa un potencial para determinar elementos técnicos que contribuyan en la restauración del medio ambiente dentro de las zonas urbanas. Por tal motivo, se desarrolló un estudio en la ciudad de Chihuahua (México) para conocer la capacidad de concentración de metales pesados en cinco especies arbóreas con la finalidad de establecerlas como indicadoras de la calidad ambiental. Fue 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. Aplicando la Técnica ICP-OES, espectrometría óptica con plasma acoplado inductivamente, fueron determinadas las concentraciones de Ni, Cu, Co, V, Ti, Pb y Cd. Ajustando un modelo con el programa de Minitab se probaron las interacciones entre los factores especie, sitio y temporada, con respecto a las concentraciones de metales pesados, mismas que fueron determinadas a través de las medias de los cuadrados mínimos. Destaca que el factor especie fue significativo con Ni ($P < 0,037$), Co ($P < 0,001$), V ($P < 0,005$), Ti ($P < 0,001$) y Pb ($P < 0,026$). El Ci-

prés (*Cupressus arizonica*) resultó ser la especie con mayor capacidad de retención de estos metales y los sitios que concentraron más fueron la zona residencial modalidad popular en otoño y la industria pesada en primavera. Con estos resultados se aportan elementos para la política ambiental urbana y la necesidad de contar con especies indicadoras que determinen el estado que guarda la calidad ambiental y que pueden ser utilizadas para la restauración ambiental.

Palabras clave: bioindicador, contaminación, desarrollo urbano, uso de suelo

SUMMARY

Vegetation represents a potential for determining technical elements that contribute to the restoration of the environment in urban areas. For this reason, a study in the city of Chihuahua was developed to determine the capacity of concentration of heavy metals in five tree species to establish them as an indicator of environmental quality. It was rated the leaf material of 75 trees during the autumn, spring and summer seasons. The sampling sites were established pursuant to land uses: commercial and services, mixed industry, heavy industry, high-middle residential class and low popular residential. Applying

*Technology ICP-OES, optical spectrometry inductively coupled plasma, were measured concentrations of Ni, Cu, Co, V, Ti, Pb and Cd. Adjusting a model with Minitab program were the interactions tested between the species, site and season regarding concentrations of heavy metals, which themselves were determined through square means. It is emphasizes that the species factor was with Ni ($P < 0,037$), Co ($P < 0,071$), V ($P < 0,005$), Ti ($P < 0,001$) and Pb ($P < 0,026$). Cypress (*Cupressus arizonica*) proved to be the species with greater holding capacity of these metals, being sites that these metals were more concentrated residential low class area modality in the autumn and heavy industry in the spring. These results provided elements for urban environmental policy and the need for indicator species to determine the status of environmental quality and can be used as phytoremediation.*

Keywords: bioindicador, pollution, soil use, urban development

INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento de las ciudades y los efectos que tiene la calidad del medio ambiente en las condiciones de vida de sus habitantes,

se hace necesario estudiar la vegetación por ser uno de los soportes ecológicos de los ecosistemas urbanos. En este sentido Vives *et al.* (2006) señalan que la urbanización y la industrialización han originado la presencia de diversas sustancias nocivas y contaminantes en el ambiente que ponen en riesgo la salud humana así como la vegetación, lo cual ha propiciado tomar en cuenta el uso de líquenes, cultivos agrícolas, plantas ornamentales y algunas especie de árboles como bioindicadores. En los últimos años los árboles han sido estudiados en algunas ciudades principalmente para conocer sus beneficios en la remoción de contaminantes atmosféricos (Nowak *et al.*, 2006). Los metales pesados están constituidos con una densidad mayor a 5 g/cm³ de los cuales en pequeñas cantidades pueden ser esenciales el Fe, Mn, Zn, B, Co, As, V, Cu, Ni y Mo. Sin embargo, éstos se pueden convertir en nocivos cuando se presentan en concentraciones elevadas. En el caso del Cd, Hg o el Pb se consideran no esenciales pues no desempeñan ninguna función biológica y resultan altamente tóxicos (Ortiz *et al.* 2007). Por eso se ha puesto mayor énfasis en el estudio de los metales pesados recurriendo con mayor frecuencia a los métodos de bio-indicación (Czarnowska & Milewska, 2000). Terekhina & Ufimtseva

(2006) determinaron la presencia de metales comparando especies urbanas como *Populus berolinensis* y *Tilia cordata*. Aksoy & Sahin (1999) reportaron resultados significativos al determinar concentraciones de metales en la hojas de *Elaeagnus angustifolia* L, probándola como posible biomonitor en la detección de la contaminación de metales pesados. Asimismo. Aksoy *et al.* (2000) presentaron resultados significativos al determinar la presencia de metales pesados en hojas de *Robinia pseudo-acacia* L. Los elementos tóxicos, principalmente los metales pesados, se encuentran generalmente en bajas concentraciones en el medio ambiente, aunque, como resultado de las actividades antropogénicas, sus niveles se han incrementado (Carpena & Pilar, 2007). Es importante considerar que algunos procesos como los biogeoquímicos están implícitos con los elementos del suelo que son absorbidos por las plantas y después vuelven a integrarse por la descomposición de las raíces y partes aéreas, además por los mecanismos de la planta estos elementos pueden ser bajo formas más móviles y biodisponibles. Este proceso depende de las características del suelo y de la capacidad de respuesta de las plantas (Sierra, 2005). Las plantas distribuyen los metales en diferentes maneras localizándose prin-

principalmente las raíces y tallos, o pueden acumular y almacenar otros metales en forma no tóxica para la última distribución y uso. De esta manera como un mecanismo de tolerancia o acumulación en algunas plantas, se presume que existe un mecanismo vinculante entre las células de las paredes de las raíces y las hojas para los metales potencialmente tóxicos (Memom *et al.*, 2001). Para la rehabilitación por contaminación por metales pesados es necesario conocer su destino así como la intensidad, ya que pueden darse alternativas de uso de métodos biológicos (Gianfreda *et al.*, 2006). Esto da lugar a que en las ciudades se pueda usar la vegetación como indicadores biológicos o como monitores de contaminantes específicos (Gaikwad *et al.*, 2006). Sin embargo, las características de los suelos de las áreas urbanas para la vegetación tienden a tener varias características que pueden influir en la supervivencia o crecimiento de los árboles. En este caso los suelos pueden tener baja fertilidad a causa de una pérdida de materia orgánica, perfil del suelo, influencia del tráfico vehicular y los procesos industriales que pueden estar presentes e incidir en una toxicidad química (Steiner, 1980). En la ciudad de Chihuahua las áreas verdes han sido planificadas básicamente para fines estéticos y como

parte de la infraestructura en parques y jardines, camellones y áreas deportivas, entre otras. Sin embargo, a pesar de estimar una superficie de 365,68 has, que promedia 3,7 m² de área verde por habitante (IMPLAN y Colegio de la Frontera Norte, 2006), algunas de estas áreas carecen de arbolado. Además, en la composición de las partículas se ha detectado la presencia de pequeñas cantidades de Ti, Pb y Cu (Campos *et al.*, 2006, 2007). Bajo este contexto se hace necesario contar con más elementos técnicos que evalúen la capacidad de la vegetación arbórea en cuanto a la acumulación de metales pesados, y conocer su contribución como indicadores en la restauración del ambiente urbano. Con la extensión de la urbanización hay una necesidad urgente de incorporar los efectos positivos de la vegetación urbana en la reducción de los negativos de la urbanización a largo plazo; mediante planificación, políticas y regulaciones para mejorar el medio ambiente (Nowak, 2006). Por tal motivo se desarrolló un estudio para determinar las concentraciones temporales de Ni, Cu, Co, V, Ti, Pb y Cd en material foliar de especies arbóreas distribuidas conforme al uso de suelo que caracteriza 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 ($28^{\circ}38'N -106^{\circ} 04'W$) (INEGI, 2007). El clima de la región es muy seco, semicálido, con invierno fresco, con una temperatura media anual de entre 18 y 22 °C, con lluvias durante el verano, e invernales <5% de la anual (Chavarría, 2006). Debido al clima desértico se presentan altas concentraciones de partículas suspendidas en la atmósfera, ya que son mínimos los mecanismos naturales que contribuyen a mantener la humedad en los suelos y a limpiar la atmósfera (Campos *et al.*, 2007). La dirección predominante de los vientos es NW y Sur (IMPLAN, 2006). El territorio urbano presen-

ta una tendencia de uso de suelo del 26,7% para desarrollo urbano, 36,19% pertenecen a la red de carreteras y caminos, un 14,7% con equipamiento urbano, 8,95% de uso industrial, 6,53% zonas de granjas y un 3,8% corresponde a la instalación de servicios y otros (Secretaría de Desarrollo Social del Gobierno del Estado de Chihuahua, 2001). Para este estudio la ciudad se dividió en cinco sitios de muestreo, conforme a los usos de suelo dominantes: comercial y servicio, industria mixta, industria pesada, residencial modalidad media-alta y residencial modalidad popular (Secretaría de Desarrollo Social del Gobierno del Estado de Chihuahua, 2001; Subdirección de Catastro, 2004) (Figura 1). De

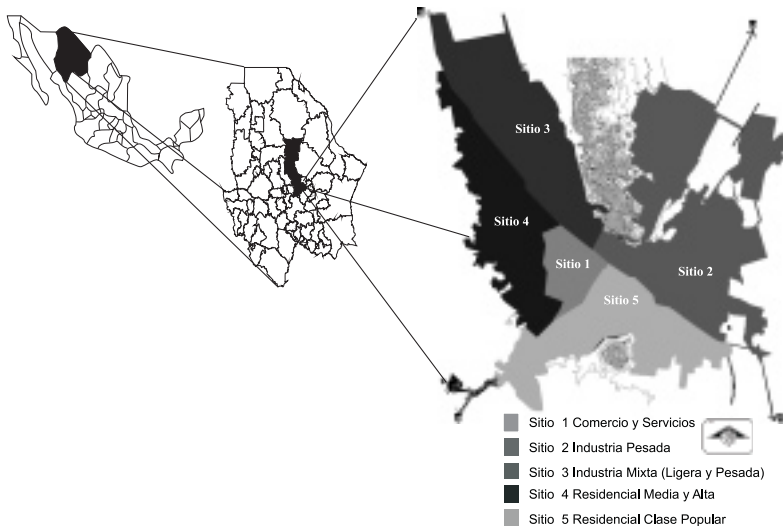


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo basada en el Plano General de la ciudad de Chihuahua (Subdirección de Catastro, 2004)

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

estos sitios fueron tomadas muestras de material foliar de las cinco especies arbóreas con mayor representatividad urbana. Cuatro de ellas con hoja caduca: Lila (*Melia azedarach*), Fresno (*Fraxinus spp.*), Moro (*Morus spp.*) y Sicomoro (*Platanus occidentalis*) y de hoja perenne sólo el Ciprés (*Cupressus arizonica*) (Brockman, 1978; Petrides & Petrides, 1998; Coobes, 2003). Se consideró que los árboles estuvieran ubicados en la alineación o área perimetral de la cuadra colindante a una calle o avenida principal y colectando muestras de ramas encontradas entre 1,60 a 3m de altura. Éstas fueron tomadas de un individuo por especie, por sitio y en las temporadas de otoño de 2006 y verano 2007. Se incluyeron muestras de cinco árboles testigo ubicados fuera de la mancha urbana como referencia comparativa. Para el análisis de concentraciones de metales en material foliar se consideró una muestra de 1 a 2g 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 con 10 ml de HCL 1-3 y 0,5ml de HNO₃ concentrado, en parrilla eléctrica durante 15 minutos. SE agregó agua tridestilada y se filtró en matraz aforado a 100ml.

Para determinar las concentraciones de los metales pesados Ni, Cu, Co, V, Ti, Pb y Cd se siguió la técnica ICP-OES (Inductively Coupled Plasma) empleada por Puga (2006) reportando las concentraciones en mg/l. Se diseñó un Modelo con Proc GLM de MINITAB® versión 14 fijando un $\alpha \leq 0,10$ determinando las medias de los cuadrados mínimos, probando las interacciones entre los factores: sitio, especie y temporada, con respecto a las concentraciones de metales pesados.

En total fueron analizadas 75 muestras (árboles), distribuidas 25 por temporada.

RESULTADOS

Se encontraron asociaciones significativas entre los factores especie, temporada y sitio con las concentraciones de Ni, Cu, Co, V, Ti, Pb. Sólo con el Pb se detectó el número suficiente de muestras para analizar las tres temporadas. En el caso del Cd no se obtuvo el suficiente número de muestras para ser analizadas estadísticamente; sin embargo, el valor más alto fue encontrado en la temporada de primavera en el ciprés con 12,52mg/l y el más bajo en la lila con 0,022mg/l durante la temporada de otoño. En el caso del Ni sólo el factor especie fue significativo en la acumulación

de este metal en el follaje de los árboles ($P < 0,037$), destacando que el ciprés obtuvo el valor más alto de concentración con 1,93mg/l y la más baja fue la lila con 0,24mg/l (Figura 2). Con el Cu se presentó que el factor sitio fue significativo para su concentración ($P < 0,080$), además de la interacción entre los factores temporada y sitio ($P < 0,012$). En el primer caso los valores más altos se obtuvieron en el sitio 5 referente a la zona residencial modalidad popular con 15,27mg/l y la más baja en el sitio 3 de la industria mixta con 6,46mg/l (Figura 3). En la interacción temporada-sitio el valor más alto se registró en otoño dentro del sitio 5 con 29,60mg/l, sin embargo en primavera el valor más alto se presentó en el sitio 2 de la industria pesada con 15,81mg/l (Figura 4). Las concentraciones de Co fueron significativas en la interacción con los factores temporada-sitio ($P < 0,071$) siendo valores que oscilaron entre los 3 a 6 mg/l. En otoño, en el sitio 5 referente a la zona residencial modalidad popular se registró el valor más alto de acumulación con 5,79mg/l y el más bajo con 3,37mg/l en el sitio 3 de la industria mixta. En primavera destaco que en el sitio 1 de comercio y servicios y el sitio 2 de la industria pesada registraron valores casi similares entre 5,39 y 5,36mg/l (Figura 5). Ade-

más en este metal, también fue significativo la relación entre el factor especie ($P < 0,000$), teniendo la mayor concentración de Co en el ciprés con 1,51mg/l y la menor cantidad en el árbol de moro con 0,34mg/l (Figura 6). Para el V los factores especie y temporada fueron significativos de manera individual. En la relación Co-factor especie ($P < 0,005$) el ciprés concentró la mayor cantidad con 2,902mg/l, la de menor cantidad se encontró en el sicomoro con 1,245mg/l (Figura 7). En el caso de la temporada, que también resultó ser significativa en la acumulación de Co ($P < 0,027$), se destaca que en la de otoño se presentó la mayor cantidad con 2,135mg/l y la más baja en primavera con 1,507mg/l (Figura 8). En cuanto al Ti, el único factor significativo en la concentración de este metal fue la especie ($P < 0,001$), resultando que el árbol del ciprés obtuvo la mayor concentración con 30,92mg/l y el de menor el sicomoro con 6,316mg/l (Figura 9). En el caso del Pb se presentó una relación significativa con el factor especie ($P < 0,026$), en donde el ciprés obtuvo el valor más alto de concentración con 25,12mg/l y el más bajo en el sicomoro con 17,09mg/l (Figura 10). También resultó significativa la relación del Pb y los factores temporada-sitio ($P < 0,001$), en donde en la tempora-

da primavera las concentraciones de este metal fueron las más altas dentro del sitio 2, referente a la industria pesada, con 33,78mg/l y la concentración más baja ocurrió en la misma

temporada tanto en el sitio 5, referente a la zona residencial modalidad popular, como en el sitio 3 de la industria mixta con proporciones iguales de 11,43mg/l (Figura 11).

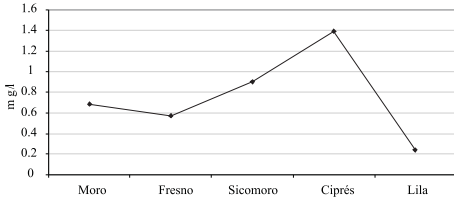


Figura 2. Concentración de Níquel asociada al factor Especie ($P < 0,037$)
 Figure 2. Nickel concentration associated with the Species factor ($P < 0,037$)

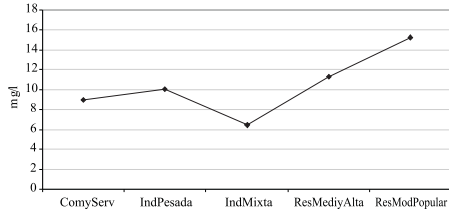


Figura 3. Concentración de Cobre asociada al factor Sitio ($P < 0,080$)
 Figure 3. Copper concentration associated with the Site factor ($P < 0,080$)

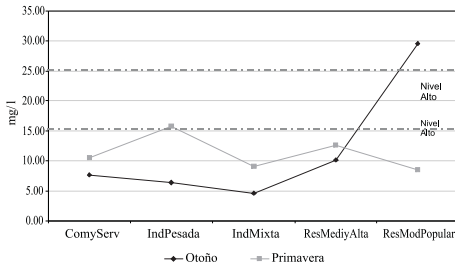


Figura 4. Concentración de Cobre correspondiente a la interacción de los factores Temporada-Sitio ($P < 0,012$)
 Figure 4. Copper concentration for the interaction of Season-Site factors ($P < 0,012$)

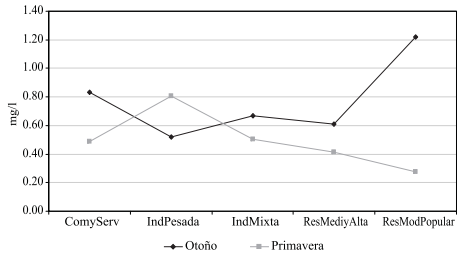


Figura 5. Concentración de Cobalto correspondiente a la interacción de los factores Temporada-Sitio ($P < 0,071$)
 Figure 5. Cobalt concentration for the interaction of Season-Site factors ($P < 0,071$)

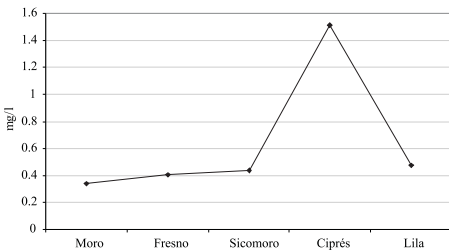


Figura 6. Concentración de Cobalto asociada al factor Especie ($P < 0,001$)
 Figure 6. Cobalt concentration factor associated with the Species factor ($P < 0,001$)

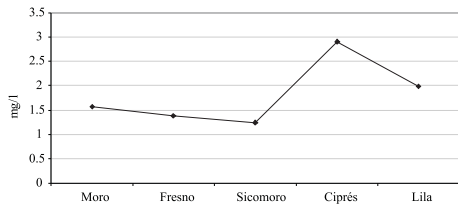


Figura 7. Concentración de Vanadio asociada al factor Especie ($P < 0,005$)
 Figure 7. Vanadium concentration associated with the Species factor ($P < 0,005$)

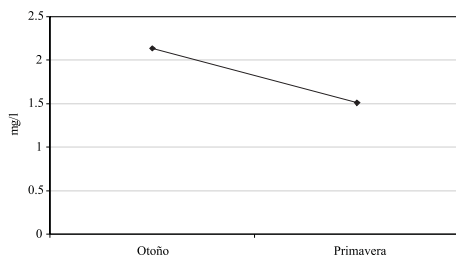


Figura 8. Concentración de Vanadio asociada al factor Temporada ($P < 0,027$)

Figure 8. Vanadium concentration associated with the Season ($P < 0,027$)

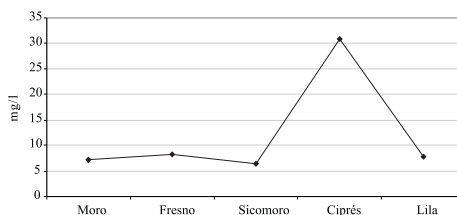


Figura 9. Concentración de Titanio asociada al factor Especie ($P < 0,001$)

Figure 9. Titanium concentration associated with the Species factor ($P < 0,001$)

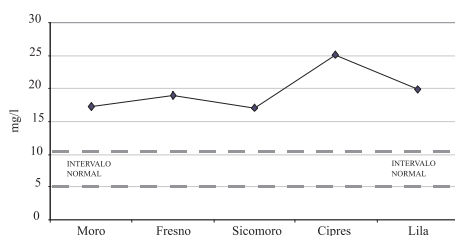


Figura 10. Concentración de Plomo asociada al factor Especie ($P < 0,026$)

Figure 10. Lead concentration associated with the Species factor ($P < 0,026$)

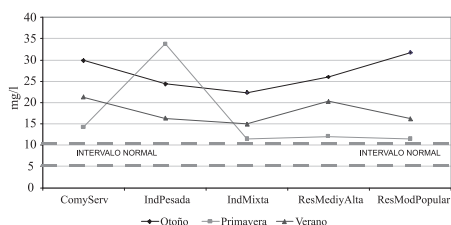


Figura 11. Concentración de Plomo correspondiente a la interacción de los factores Temporada-Sitio ($P < 0,001$)

Figure 11. Lead concentration for the interaction of Season-Site factors ($P < 0,001$)

DISCUSIÓN

En el caso del factor especie resultó que el ciprés alcanzó las mayores concentraciones de Ni, Co, V, Ti y Pb. Asimismo, la especie que puede considerarse con menor capacidad de concentración de V, Ti y Pb es el sicomoro. La presencia del níquel puede estar asociada a la industria que manufactura o usa níquel, sus aleaciones o compuestos, combustión de petróleo o carbón, o bien por incineración de residuos domiciliarios (ATSDR,

2005). Para Goudot & Bertrand (1973) la presencia del Titanio en el ambiente está asociada a la corteza terrestre principalmente por las partículas de polvo. Con respecto a la interacción entre temporada-sitio y su relación con la concentración de metales, resultó ser que la temporada de otoño tiene incidencia mayor en los niveles encontrados de Cu y Co asociados al sitio 5, correspondiente a la zona residencial modalidad popular. Sin embargo, en el caso

de la primavera, el sitio 2 correspondiente a la industria pesada concentra los valores más altos, no obstante estos valores fueron menores a los del otoño. Para el caso del Cu los valores encontrados exceden el límite normal, ya que presenta concentraciones mayores a 25ppm (Legaz *et al.*, 1995). La presencia de cobre en el ambiente puede estar asociada al uso para cables eléctricos y en algunas cañerías de agua, así como en aleaciones y productos manufacturados. También puede ser atribuida a compuestos de cobre que se usan para tratar enfermedades de las plantas, para el tratamiento de aguas y como preservativo para madera, cuero y telas (ATSDR, 2004a). En el caso del Pb los valores encontrados en primavera fueron más altos en el sitio 2 referente a la zona de industria pesada. Sin embargo, para este metal, 5 a 10 mg.kg⁻¹ se considera normal para las plantas (Madejon, 2003), los niveles encontrados en las cinco especies este nivel normal de concentración, lo que significa una alta acumulación de Pb en las hojas. Los residuos de Pb pueden deberse al uso y residuos de gasolina con plomo, teniendo mayor incidencia en las áreas industriales (Murray *et al.* 2004). El factor sitio influyó para que el Cu concentrara más cantidad en el sitio 5 referente a la zona

residencial modalidad popular con 15,27mg/l y el resto de las concentraciones oscilaron entre 6,46 a 11,29mg/l. Asimismo, la influencia del factor temporada se presentó en el Co y V. Para el Co la mayor concentración se obtuvo en otoño con 0,77mg/l. La presencia de este metal se relaciona con principalmente a fundiciones de minerales, tráfico vehicular, aeropuertos o contaminación industrial, y de la producción y uso de aleaciones y compuestos de cobalto (ATSDR, 2004b). El V en otoño obtuvo la mayor concentración resultando con 2,135mg/l. En el caso del vanadio su presencia en la zona urbana puede estar asociada a la combinación con otros metales formando aleaciones, además en la forma de óxido de vanadio es un componente de un tipo especial de acero usado en partes de automóviles, resortes y rodamientos (ATSDR, 1995). La acumulación de estos metales en las especies puede estar dada a pesar de que algunas plantas basan su resistencia a los metales con la estrategia de una eficiente exclusión, restringiendo su transporte a la parte aérea. Además, otras plantas 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). Otro aspecto importante que puede estar asociado es que la concentración de algunos elementos en las hojas de la brotación de primavera puede ser significativamente diferente a la que presentan las hojas viejas y las de las brotaciones de verano y otoño (Legaz *et al.* 1995). Además el crecimiento de las plantas está estrechamente relacionados con las propiedades del suelo (Scheyer & Hipple, 2005). La concentración de metales pesados en *Taraxacum officinale* en el área metropolitana ha sido asociada al tráfico vehicular (Czarnowska & Milewska, 2000). Estos autores reportan que en el área metropolitana de Varsovia, en hojas de *Taraxacum officinale* fueron encontrados niveles de Ni que oscilaron entre 0,7 a 3,2 mg/kg con una media de 1,9 mg/kg. Con respecto al Cu 8,0 a 21,8 mg / kg y concentraciones de Pb con 3,9 a 13,0 mg/kg y el Cd fue encontrado entre 0,65-1,55 mg /kg. También Aksoy & Sahin (1999) comprobaron mayores cantidades de Pb en la zona industrial acumuladas en hojas de *Elaeagnus angustifolia* L. En este sentido, se demuestra que estos metales están presentes en el ambiente y que la dinámica urbana

está incidiendo en la generación y disponibilidad, ya que las concentraciones de estos metales en árboles testigo ubicados fuera de la mancha urbana, fueron menores. En el caso del Cu los valores variaron de 0,286 a 3,36mg/l, el Ni de 1,13 a 6,04mg/l, el Plomo 1,48 a 18,30mg/l y el vanadio de 0,38 a 0,80mg/l. Resulta evidente que en la atmosfera de la ciudad de Chihuahua se encuentren en su composición pequeñas cantidades de elementos como el Ti, Pb y Cu (Campos *et al.*, 2006; Campos *et al.*, 2007). Tzvetkova & Kolarov (1996) señalaron que los contaminantes atmosféricos, especialmente oxidantes y metales fitotóxicos y deposición de ácidos causan daños en la vegetación. No obstante, en forma global la presencia de estos elementos en el ambiente está relacionada específicamente a la dinámica que existe tanto en el área residencial, comercial y de servicios, industrial y el grado de infraestructura urbana existente en cada uno de estos sitios, ya que de alguna manera puede incidir en la emisión, dispersión y concentración de partículas que contengan metales pesados, lo cual implica que las especies puedan estar respondiendo en su acumulación. Concentraciones altas de contaminantes pueden dañar y eventualmente producir la muerte de árboles, aunque algu-

nas especies y regularmente individuos de una especie, varían en la tolerancia del contaminante. Los árboles que son particularmente sensitivos pueden ser usados como indicadores de prevención con niveles altos de contaminación (Shubert, 1979). Asimismo, las partículas atmosféricas contaminantes, especialmente metales pesados y elementos traza derivados de diferentes fuentes antropogénicas, inducen una variedad de efectos a la salud de la vegetación, mientras que son considerados unos de los más recurrentes problemas de las regiones altamente urbanizadas (Kar *et al.*, 2006). Por tal motivo, la vegetación urbana presenta un potencial como «biotecnología» natural para reducir algunos de los efectos adversos en el medio ambiente y los efectos sobre la salud asociados con la urbanización (Nowak, 2006). Lo anterior significa en gran medida que al comprobarse la presencia de estos metales en la vegetación de ciudad, la planeación urbana tiene ciertos efectos en la acumulación de metales pesados, por lo cual se requieren bioindicadores más eficientes para medir la calidad ambiental, resultando de esto la utilización de especies vegetativas.

CONCLUSIONES

En las especies evaluadas resultó evidente la presencia de Ni, Cu, Co, V, Ti, Pb en el material foliar, sin embargo para algunos de estos su acumulación en las hojas de los árboles depende de factores como el sitio, temporada y la especie, así como la posible asociación entre éstos. Se establece que el ciprés tiene mayor capacidad en la acumulación de Ni, Cu, Co, Ti, V y Pb, posiblemente por ser una especie perenne que está expuesta a la dinámica urbana que puede incidir en que su capacidad acumulativa sea más consistente comparándola con las otras cuatro especies evaluadas. Por otra parte fue identificado que la zona residencial modalidad popular presenta los valores más altos en la concentración Cu, Co y Pb durante la temporada de otoño y la industria pesada en primavera. El tránsito vehicular, actividades industriales, movilidad e infraestructura urbana y cambio de uso de suelo pueden ser consideradas algunas de las principales causas antropogénicas que se desarrollan dentro de la ciudad de Chihuahua que inciden en el origen y disponibilidad de metales pesados en el ambiente. Al ser determinado que la dinámica urbana está incidiendo en la presencia de metales pesados, debe ponerse mayor énfasis en la planeación ambiental de la ciudad, teniendo mayor sustento en

considerar la capacidad de las especies arbóreas como un indicador de la calidad ambiental y como factor de restauración del suelo y mitigación de la contaminación atmosférica.

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, 1995. Resumen de Salud Pública. Vanadio (Vanadium) CAS # 7440-62-2 División de Toxicología. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades. Estados Unidos.
- ATSDR, 2004a. Resumen de Salud Pública. Cobre CAS#: 7440-50-8. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Estados Unidos.
- ATSDR, 2004b. Resumen de Salud Pública. Cobalto CAS#: 7440-48-4. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Estados Unidos.
- ATSDR, 2005. Resumen de Salud Pública. Níquel CAS#: 7440-02-0. División de Toxicología. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades. Estados Unidos.
- BROCKMAN, C.F., 1978. *Trees of North America. A field guide to the major native and introduced species North of Mexico*. Golden Press. New York. Western Publishing Company, Inc. Racine, Wisconsin.
- CAMPOS, A., 2006. *Evaluación de Partículas Atmosféricas PST y PM10 en la ciudad de Chihuahua, México: Niveles de Concentración, Composición Elemental e Identificación de Fuentes Emisoras*. Tesis Doctoral. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- 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): 44-51.
- CARPENA, R.O. & M.B. PILAR, 2007. Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente* 16 (2).

- CHAVARRÍA, S.L., 2006. Plan Sectorial de Agua Pluvial. Resumen Ejecutivo. Instituto Municipal de Planeación IMPLAN. Ayuntamiento de Chihuahua 2005-2007. Secretaría de Desarrollo Social. Chihuahua. México.
- COOBES, A.J., 2003. *Árboles*. Manuales de Identificación. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. España.
- CZARNOWSKA, K & A. MILEWSKA, 2000. The Content of Heavy Metals in an Indicator Plant (*Taraxacum officinale*) in Warsaw. *Polish Journal of Environmental Studies* 9 (2): 125-128.
- GAIKWAD, U.S., C.D. RANADE AND J.M. GADGIL, 2006. Plants as Bio-indicators of Automobile Exhaust Pollution. A Case Study of Sangli City. *IE(I) Journal-EN -Vol 86, March 26:28*.
- GIANFREDA, L., M.L. MORA & M.C. DIEZ, 2006. Restauración de suelos contaminados por medio de procesos microbiológicos y enzimáticos. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* 6(1): 20-40. ISSN 0718-2791.
- GOUDOT, A. & D. BERTRAND, 1973. Los oligoelementos. *Que sais-je*. No. 88 Oikos-tau, s.a. Ediciones. España.
- IMPLAN Y 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.
- IMPLAN, 2006. Diagnóstico Ambiental Urbano. Resumen Ejecutivo. Chihuahua. Ayuntamiento 2005-2007.
- INEGI, 2007. Anuario Estadístico del Estado de Chihuahua. Tomo I. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- KAR, S., B. NATH, A.C. SAMAL & S.C. SANTRA, 2006. Arsenic in urban particules. A case study in Kolkata metropolis. *Current Science* 90(2): 158-160.
- LEGAZ, F., M.D. SERNA, P. FERRER, V. CEBOLLA & E.P. MILLO, 1995. *Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. Procedimiento de Toma de Muestras*. Generalitat Valenciana. Conselleria D'Agricultura, Pesca I Alimenticio.
- LLUGANY, M., R. TOLRÁ, C. POSCHNRIEDER & J. BARCELÓ, 2007. Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre? *Ecosistemas Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente* 16 (2).
- MADEJÓN, P., 2003. Elementos traza y nutrientes en álamo blanco tras el vertido tóxico de las minas de Aznalcóllar. *Investig. Agrar: Sist. Recur. For.* 12 (3):19-32.
- MEMOM, A.R., D. AKTOPRAKLIGUL, A. ZDEMUR & A. VERTII, 2001. Heavy Metal Accumulation and Detoxification Mechanisms in Plants. *Turk J. Bot* 25: 111-121.

- MURRAY, K.S., D.T. ROGERS & MARTIN M. KAUFMAN, 2004. Heavy Metals in an Urban Watershed in Southeastern Michigan. *J. Environ. Qual.* 33:163-172.
- NOWAK, D.J., 2006. Institutionalizing urban forestry as a “biotechnology” to improve environmental quality. *Urban Forestry & Urban Greening* 5: 93-100.
- 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.
- ORTIZ, B.I., J.G. SANZ, M.V. DORADO & S.F. VILLAR, 2007. *Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Informe de Vigilancia Tecnológica.* Universidad de Alcalá. Dirección General de Universidades e Investigación. España.
- PETRIDES, G.A. & O. PETRIDES, 1998. *Field Guide to Western Trees.* The Peterson Field Guide Series. First Edition. Houghton Mifflin Company. United States of America.
- 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.
- VIVES, A.E.S., S. MOREIRA, S.M.B. BRIEZA, J.G.S. MADEIROS, M. TOMAZELLO FILHO, O.L.A.D. ZUCCHI & V.F.N. FILHO, 2006. Monitoring of the environmental pollution by trace element analysis in tree-rings using synchrotron radiation total reflection X-ray fluorescence. *Spectrochimica Acta Part B* 61:1170–1174.
- SCHEYER, J.M. & K.W. HIPPLE, 2005. *Urban Soil Primer.* United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL DEL GOBIERNO ESTADO DE CHIHUAHUA, 2001. Plan de desarrollo urbano del centro de población de Chihuahua, Segunda Actualización (1998-2001). Secretaría de Desarrollo Social. Gobierno del Estado de Chihuahua. Chihuahua. México.
- STEINER, K.C., 1980. *Developing Tree Varieties for Urban Soil Stresses.* School of Forest Resources. The Pennsylvania State University. Alliance (METRIA) Proc. 3:57-69.

- 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. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España.
- SHUBERT, T.H., 1979. Trees for Urban Use in Puerto Rico and the Virgin Islands. *General Technical Report SO-27*. Institute of Tropical Forestry Publication. Southern Forest Experiment Station. Southern Region, National Forest System. Forest Service, U.S. Department of Agriculture. Pp.91.
- SUBDIRECCIÓN DE CATASTRO, 2004. Plano General de la Ciudad de Chihuahua. Departamento Técnico, Municipio de Chihuahua, México.
- TEREKHINA, N.V. & M.D. UFIMTSEVA, 2006. Biogeochemical criteria of contamination of urban vegetation. Geophysical Research Abstracts, *European Geosciences Union*. Vol. 8, 00354.
- TZVETKOVA, N. & D. KOLAROV, 1996. Effect of air pollution on Carbohydrate and nutrients concentrations in some deciduous trees species. *Bulg. J. Plant Physiol.*, 22(1-2), 53-63

Recibido: 06/2008

Aceptado: 09/2008