

## ESPECIES ARBÓREAS EVALUADAS COMO BIOACUMULADORAS DE AZUFRE EN LA CIUDAD DE CHIHUAHUA, MÉXICO

### TREE SPECIES ASSESSED AS SULFUR BIOACCUMULATORS IN THE CITY OF CHIHUAHUA, MEXICO

Jorge Alcalá<sup>1</sup>, Manuel Sosa<sup>2</sup>, Myriam Moreno<sup>3</sup>, Juan Ortega<sup>2</sup>, César Quintana<sup>2</sup> y Celia Holguin<sup>2</sup>

#### Resumen

La sustentabilidad de las ciudades debe basarse en gran medida por el capital ecológico que representa la vegetación, ya que constituye una alternativa para el estudio de la contaminación ambiental. Con el objetivo de determinar la capacidad de acumulación de azufre en cinco especies arbóreas fueron tomadas muestras de material foliar de 225 árboles ubicados en la ciudad de Chihuahua conforme a los usos de suelo comercial y servicio, industria mixta, industria pesada, residencial clase media-alta y residencial popular. A nivel de especie los niveles encontrados de azufre rebasaron los límites óptimos para su desarrollo. Con un análisis General Lineal se probaron las interacciones entre especie, sitio y temporada en el contenido de azufre en los árboles, determinando que la interacción significativa fue entre los factores temporada y sitio ( $P < 0.0235$ ). Con estos resultados se aportan elementos para la política ambiental urbana y la necesidad de contar con especies que determinen la calidad ambiental.

**Palabras clave:** bioacumulador, desarrollo urbano, contaminación, uso de suelo

#### Abstract

Sustainability of cities should largely be based on the ecological capital represented by vegetation, which constitutes an alternative for the study of environmental pollution. In order to determine the capacity of sulfur accumulation in tree species, samples of leaf material were taken from 225 trees located in the city of Chihuahua taking into consideration commercial and land uses, mixed and heavy industry and low and middle class residential areas. At the species level, quantities of sulfur exceeded optimal levels for their development. Using General Linear Analysis interactions between species, site and season were tested for sulfur content in each tree, determining a significant interaction between season and site factors ( $P < 0.0235$ ). These results provide data for urban environmental policies and the need for finding species that determine environmental quality.

**Key words:** bioaccumulator, urban development, pollution, soil use

---

#### Introducción

En las zonas urbanas el capital ecológico es representado en gran medida por la vegetación arbórea que contribuye a mitigar la contaminación ambiental. Holden (2006) consideró que las metas del desarrollo sostenible han originado que cientos de ciudades de todo el mundo cuenten con sistemas de indicadores para mejorar los medios de evaluación del desarrollo urbano. Algunos organismos o comunidades de organismos, han sido utilizados como bioindicadores para conocer los efectos de la concentración de contaminantes y complementar los estudios físicoquímicos (Klumpp, 2003; Klumpp *et al.*, 2004). Dentro de este grupo, existen aquellos que en sus tejidos acumulan sustancias en específico y cuyas concentraciones se determinan mediante métodos químicos, caracterizándolos como bioacumuladores (Hawksworth *et al.*, 2005). El azufre es un constituyente esencial en las plantas y se absorbe por las raíces en forma de ion sulfato  $SO_4^{2-}$  así como en

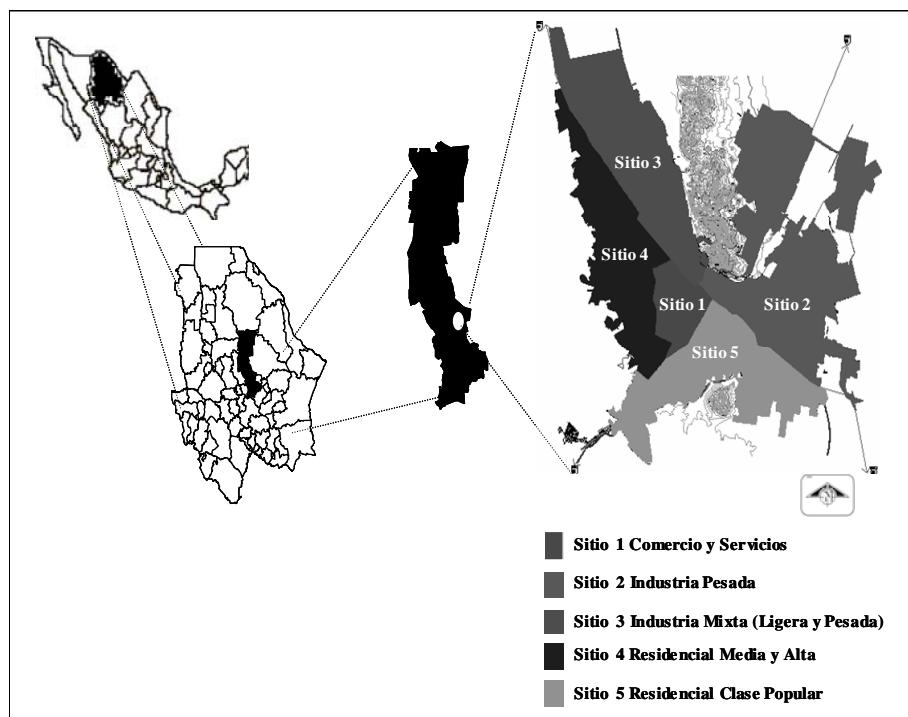
dióxido de azufre ( $SO_2$ ) a través de las hojas, siendo calificado tóxico para las plantas (Tisdale & Nelson, 1985; Appleton & Koci, 2000). Por otra parte, los óxidos de azufre constituyen uno de los principales gases emitidos en las ciudades principalmente por actividades industriales, vehículos automotores y quema de biomasa. En exposiciones agudas con altas concentraciones puede causar necrosis foliar y clorosis en las hojas (Arrebola *et al.*, 2004). Legaz *et al.* (1995) han reportado que los niveles foliares bajos de azufre oscilan en un rango de  $<0.14\%$  -  $0.19\%$  y los niveles óptimos son  $0.20$  a  $0.30\%$  los cuales indican que la nutrición es equilibrada y no es limitante para un correcto funcionamiento de la vegetación. Algunas especies urbanas han sido estudiadas por sus capacidades tolerantes y sensitivas a los óxidos de azufre como es el caso de *Thuja* spp., *Juniperus* spp., *Quercus rubra*, *Ulmus americana*, *Populus deltoides*, *Populus nigra*, *fraxinus pennsylvanica*, *Ulmus parvifolia*, entre otras (Appleton & Koci, 2000). Se ha

reportado que en 55 ciudades de los Estados Unidos la cobertura de la vegetación ha logrado remover 70 900 toneladas de dióxidos de azufre (Nowak *et al.*, 2006). En la ciudad de Chihuahua, recientemente se han realizado investigaciones con respecto a la contaminación del aire y sus efectos, destacando aquellas enfocadas a la medición de partículas (Campos *et al.*, 2007). Dentro del equipamiento urbano, las áreas verdes, han sido utilizadas para fines paisajistas, careciendo de información sobre su funcionalidad, la cantidad arbolada y sus efectos para contrarrestar la contaminación ambiental. Se ha estimado tan solo en infraestructura que la superficie de área verde en la ciudad, es de 365.68 has, siendo el 72.30% ubicada en parques y jardines, promediando 3.7 m<sup>2</sup> de área verde por habitante (IMPLAN & Colegio de la Frontera Norte, 2006). Una evaluación del arbolado urbano y su relación con la descontaminación del aire, podría aportar y dar credibilidad a la conservación de las áreas verdes y promover la inversión y el manejo adecuados del arbolado urbano para el mejoramiento ambiental (Escobedo & Chacalo, 2008). No obstante en el caso del azufre se han reportado pocos estudios en la utilización de especies acumuladoras (Molina & Sosa, 2001). Bajo este contexto, fue desarrollado un estudio para determinar la capacidad de acumulación de azufre en cinco especies arbóreas tomando en cuenta el uso de suelo de la ciudad. Con esta estrategia los resultados pueden aportar elementos para la política de planeación ambiental urbana y los sistemas monitoreo de la contaminación.

**Materiales y métodos**

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 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 (SEDESOL & Gobierno del Estado de

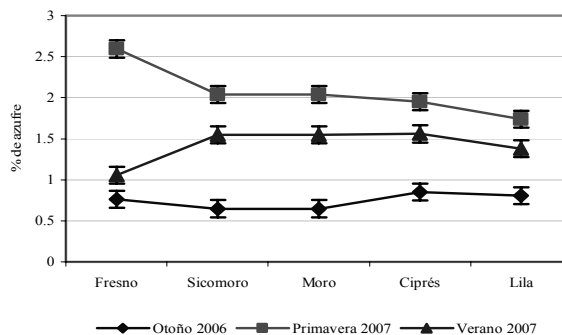
Chihuahua, 2001; Subdirección de Catastro, 2004; Chen *et al.*, 2005) (Figura 1). Fueron tomadas muestras de material foliar de cinco especies arbóreas: siendo la lila (*Melia azedarach*), fresno (*Fraxinus spp.*), moro (*Morus spp.*) y sicomoro (*Platanus occidentalis*) mismas que presentan hoja caduca así como el ciprés (*Cupressus arizonica*) de hoja perenne (Brockman, 1978; Petrides & Petrides, 1998; Coobes, 2003). Ubicando la cota perimetral de una cuadra y considerando su colindancia con calles o avenidas con flujo vehicular, fueron tomadas muestras de 225 árboles y 75 por temporada. Las muestras analizadas fueron tomadas de tres individuos de cada árbol, considerando los cinco sitios y las temporadas de otoño de 2006, primavera y verano 2007. Se incluyeron muestras de cinco árboles testigo ubicados fuera de la mancha urbana como referencia comparativa. Para la determinación de azufre total, se aplicó el método gravimétrico de Sulfato de Bario descrito por Chapman & Pratt (2000). Se determinaron los promedios de las muestras obtenidas por especie en cada sitio y temporada. Se realizó un análisis de los datos que consistió en un Modelo con Proc GLM de SAS fijando un  $\alpha=0.05$  determinando las medias de los cuadrados mínimos, probando las interacciones de las concentraciones de azufre por sitio, especie y temporada, reportándose en porcentaje y así como su error estándar (E.E.).



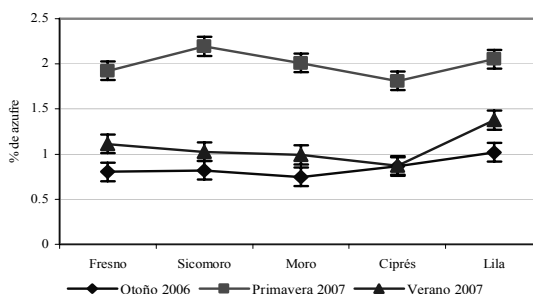
**Figura 1.** Localización de los sitios de muestreo basado en el Plano General de la ciudad de Chihuahua (Subdirección de Catastro, 2004).

### Resultados

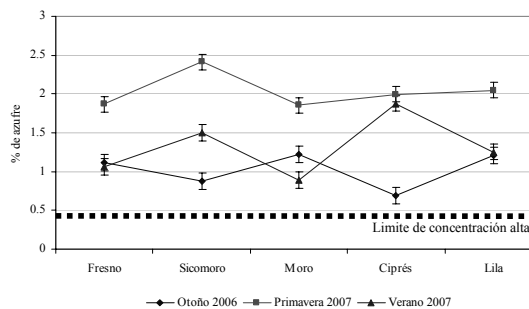
En la determinación de los promedios de las muestras obtenidas por especie en cada sitio y temporada, se encontró que en el sitio 1 que corresponde a la zona de comercio y servicios, el fresno acumuló la mayor cantidad de azufre en primavera con 2.59%, sin embargo, en verano fue la especie que presentó el valor más bajo con 1.05%, siendo que el resto de las demás especies mantuvieron rangos similares en todas las temporadas (Figura 2). En el sitio 2 referente a la industria pesada, el sicomoro representó la cantidad más alta con 2.19% durante la primavera, y la lila estuvo predominante en verano y otoño con 1.37 y 1.01% respectivamente (Figura 3). En el sitio 3, correspondiente a la industria mixta (Figura 4), el sicomoro obtuvo la concentración más alta en la primavera con 2.41%, mientras que el ciprés fue el más alto en verano con 1.87%. En la Figura 5, se muestra que en la zona residencial media-alta, el árbol de la lila mantuvo la concentración más alta en primavera con 2.23%, mientras que el fresno fue el más alto en el verano y otoño (1.55% y 1.09%). En la Figura 6, se muestra que dentro de la zona residencial clase popular, el árbol de la lila concentró la mayor cantidad de azufre en la primavera y otoño (2.50% y 0.71%). En este caso, el ciprés fue el más alto en el verano con 1.77%. Se observó en este sitio el valor más bajo de concentración de azufre de todos los árboles evaluados durante las tres temporadas, siendo el árbol del sicomoro el que acumuló solo 0.44%. Del análisis General Lineal, al probar las interacciones entre especie, sitio y temporada con respecto a la acumulación de azufre, se demostró a través de las medias de los cuadrados mínimos que la interacción significativa solo se dio entre los factores temporada y sitio ( $P < 0.0235$ ), considerando que la especie no tuvo efecto significativo en la interacción con la temporada o el sitio (Figura 7). Se destaca que en la estación de primavera se concentraron los valores más altos, seguida de la estación de verano y con cantidades más bajas en la temporada de otoño. En el caso de la primavera, el punto más alto de concentración se dio en el sitio 5 de la zona residencial popular con 2.16% y el punto más bajo fue en el sitio 4, correspondiente a la zona residencial clase media-alta con 1.93%. En la temporada de verano, se observó que la concentración más alta de azufre fue en el sitio 1 referente a la zona de comercio y servicio con 1.35% y la más baja cantidad se presentó en el sitio 3 de la Industria Pesada, con un valor de 1.01%. En la temporada de otoño, la concentración más alta se presentó en el sitio 2 que corresponde a la industria mixta con 0.97% y la más baja en el sitio 5 referente a la zona residencial clase popular con 0.51%. En el caso de la acumulación de azufre en la industria pesada, se muestra una tendencia cercana en las temporadas de verano y otoño con 0.14% de diferencia.



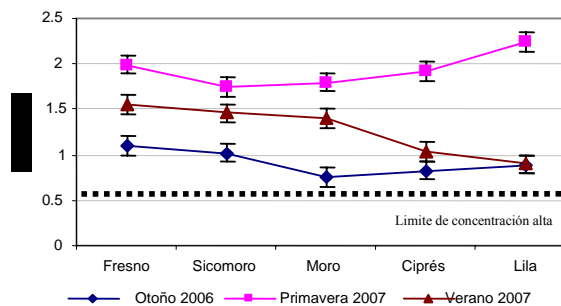
**Figura 2.** Concentración de azufre ( $\pm$  E.E.) en el sitio 1 correspondiente a la zona de Comercio y Servicios.



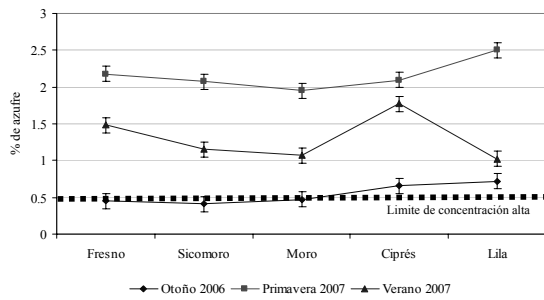
**Figura 3.** Concentración de azufre ( $\pm$  E.E.) resultante en el sitio 2 correspondiente a la industria pesada.



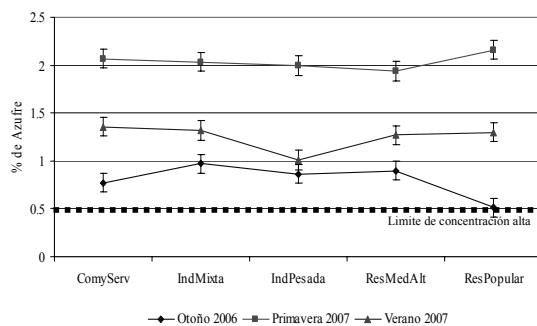
**Figura 4.** Concentración de azufre ( $\pm$  E.E.) en el sitio 3 correspondiente a la Industria mixta.



**Figura 5.** Concentración de azufre ( $\pm$  E.E.) en el sitio 4 correspondiente a la zona Residencial Clase Media-Alta.



**Figura 6.** Concentración de azufre ( $\pm$  E.E.) en el sitio 5 correspondiente a la zona Residencial Popular.



**Figura 7.** Concentración de azufre ( $\pm$  E.E.) resultante de la interacción tiempo-sitio ( $P < 0.0235$ ).

**Discusión**

Con los resultados obtenidos, a nivel de sitio las especies muestran tendencias similares, salvo en casos muy específicos en donde el fresno, sicomoro, ciprés y la lila presentaron valores más altos o bajos de los promedios encontrados durante las temporadas evaluadas. A pesar de esas tendencias, los niveles acumulados son considerados altos para el desarrollo de las especies. En este caso, Legaz *et al.* (1995) señalaron que los niveles foliares óptimos oscilan entre 0.20 a 0.30% lo que indica una nutrición equilibrada y no limitante para un correcto funcionamiento de la vegetación. Además una concentración foliar alta oscila entre 0.31 a 0.50% y es excesiva a niveles mayores de 0.51% indicando que está siendo absorbido en cantidades superiores a las estrictamente necesarias. Con esta referencia se señala que, el nivel más bajo fue encontrado en el Sitio 5 en el árbol de sicomoro con una acumulación de 0.44%, no obstante el resto de las concentraciones fueron mayores de 0.51%. En cierta forma la dinámica urbana que prevalece tanto en el área comercial, residencial e industrial tienen efecto en la generación de gases atmosféricos como es el caso de los dióxidos de azufre, principalmente generados por el flujo vehicular y las condiciones de la infraestructura en las calles que son factores que propician una disponibilidad en el ambiente de estas partículas que pueden incidir en la acumulación de

azufre en concentraciones mayores a las requeridas para los metabolismos propios de cada especie. Las diferencias de los valores altos en las temporadas, como en este caso en las hojas de los brotes de primavera puede ser significativamente diferente a la que presentan las tres temporadas y el de todas las hojas viejas y las de los brotes de verano y otoño debido al desarrollo mismo de la planta (Legaz *et al.*, 1995). Otro razón por la que se considera que existe alta concentración, es a partir de la comparación entre los valores promedio de los árboles testigo cuyos niveles obtenidos fueron del 0.75% de azufre y los valores reportados en Álamos (*Populus reticulata*) con 0.66% ubicados en la Ciudad de Aldama, Chih (Molina & Sosa, 2001). Asimismo, si se presentaron valores altos existe una alta posibilidad de presentar manifestaciones en las hojas como es el caso de una necrosis o clorosis incidiendo en el desarrollo del arbolado (Appleton & Koci, 2000). En el caso de que estas concentraciones se deban a las emisiones de dióxido de azufre, puede penetrar en forma gaseosa a través de los estomas en los espacios aéreos internos, lo cual lesionaría las células epidérmicas. Cabe destacar que las exposiciones crónicas a bajas dosis producen una disminución del crecimiento de la planta y un aumento de la senescencia (Arrebola *et al.*, 2004). Esto indica que en efecto las fuentes generadoras de emisiones de gases inciden en las concentraciones y en la bioindicación de las especies (Santoni & Lijteroff, 2006). Dentro del marco de desarrollo urbano de la ciudad y la asociación con la problemática ambiental resaltan algunos factores como son los procesos de ocupación territorial, crecimiento urbano, los patrones de uso del suelo, la falta de regulaciones para la construcción y obsolescencia de la infraestructura y los servicios básicos, entre otros, factores que aumentan la presión sobre los recursos como es el caso de la vegetación (Londoño *et al.*, 2007). En la ciudad de Chihuahua, es básico reconocer que el capital ecológico como es la vegetación arbórea representa una oportunidad para estudiar los efectos de la contaminación en la zona urbana, asumiendo que las condiciones de desarrollo urbano plantean necesidades de dar soporte a la problemática ambiental como sería la contaminación atmosférica. Esto es debido a que se han encontrado diferencias en la cantidad y tipos de contaminantes en diferentes zonas de la ciudad (Campos *et al.*, 2007). No obstante, para mitigar esta problemática, mantener un arbolado saludable es un principio rector de los planes de manejo urbanos y mejoramiento de la calidad del aire (Escobedo & Chacalo, 2008).

**Conclusiones**

Se identificó que la concentración de azufre en las cinco especies rebaso durante las tres temporadas evaluadas el rango de 0.20 a 0.30% considerado como límite óptimo para el crecimiento o funcionalidad de

los árboles lo cual puede estar asociado al impacto que origina la dinámica urbana. Con relación a la interacción de los factores en la acumulación de azufre el factor especie no fue significativo, solo la relación entre la temporada y el sitio influyó en la acumulación de azufre. En este sentido se presentaron cantidades variantes sobre todo en las zonas de comercio y servicios, industria pesada y la clase residencial popular, observándose que los valores obtenidos son mayores al 0.51%, por lo cual el azufre se está absorbido en cantidades que pueden tener efectos tóxicos en los árboles. Por tal motivo, se hace necesario el seguimiento para monitorear las concentraciones de azufre incluyendo nuevas especies, así el estudio de los efectos posibles ocasionados en el desarrollo de la vegetación, derivado de las altas concentraciones. Esto aportaría mayores elementos para diagnosticar que el sistema urbano requiere mayor aprovechamiento del capital ecológico en la mitigación de la problemática ambiental.

#### Agradecimientos

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

#### Literatura citada

- Appleton B. & Koci J. 2000. Trees for Problems Landscape Sites. Virginia Tech Extension. Publication. : 430-022.
- Arrebola J.P.M., Fernández Montero A. & León Navarro J. 2004. Aspectos Sanitarios de los óxidos de azufre como contaminantes atmosféricos. Higiene y Sanidad Ambiental. 4:106-113.
- 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., Alcaraz G.I., Herrera E.F., Sosa M., Jiménez J., Delgado M., Ramírez E. & 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): 44-51.
- Chapman H.D. & Pratt P.F. 2000. Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Aguas. Editorial Trillas. Novena Reimpresión. México.
- Chen T.B., Zheng Y.M., Lei M., Huang Z.C., Wu H.T., Chen H., Fan K.K., Yu K., Wu X. & Tian Q.Z. 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. Chemosphere. 60:542-551.
- Coobes A.J. 2003. Árboles. Manuales de Identificación. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. España.
- Escobedo F. & Chacalo A. 2008. Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la ciudad de México. Interciencia. 33 (1): 29-33.
- Hawksworth D.L., Iturriaga T. & Crespo A. 2005. Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. Rev. Iberoam. Micología. 22: 71-82.
- Holden M. 2006. Urban indicators and the integrative ideals cities. Cities. 23: 170-183.
- 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.
- INEGI. 2007. Anuario Estadístico del Estado de Chihuahua. Tomo I. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- Klumpp A. 2003. Eurobionet. European Network for the Assessment of Air Quality by Use Bioindicators Plants. Layman Report. University of Hohenheim.
- Klumpp A., Ansel W. & Klumpp G. 2004. EuroBionet, European Network for the Assessment of Air Quality by the Use of Bioindicator Plants, Reporte Final. Universidad de Hohenheim. Stuttgart, Alemania.
- Legaz F., Serna M.D., Ferrer P., Cebolla V. & Milló E.P. 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.
- Londoño L.J.P., Cifuentes R.P.A. & Blanch J.J.F. 2007. Modelización de problemas ambientales en entornos urbanos utilizando sistemas de información geográfica y métodos multivariantes. Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo. 2: 21-51.
- Molina C.E.J. & Sosa C.M. 2001. Monitoreo de Azufre en hojas de Álamos de la Deportiva de la Ciudad de Chihuahua. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Volumen 17. Suplemento 1 :171.
- Nowak D.J., Crane D.E. & Stevens J.C. 2006. Air pollution removal by urban trees in the United States. Urban Forestry and urban Greening. 4: 115-123.
- Petrides G.A. & Petrides O. 1998. Field Guide to Western Trees. The Peterson Field Guide Series. First Edition. Houghton Mifflin Company. United States of America.
- Santoni C.S. & Lijteroff R. 2006. Evaluación de la Calidad del Aire mediante el uso de Bioindicadores en la Provincia de San Luis, Argentina. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 22.001: 49-58.
- SEDESOL & Gobierno del 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. Ayuntamiento de Chihuahua 1998-2001. Chihuahua. México.
- Subdirección de Catastro. 2004. Plano General de la Ciudad de Chihuahua. Departamento Técnico. Municipio de Chihuahua. México
- Tisdale S.L. & Nelson W.L. 1985. Fertilidad de los suelos y los fertilizantes. Unión Tipográfica Editorial. México.

<sup>1</sup>Estudiante del Programa de Doctorado. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada, Km 1. Chihuahua, México. jalcajaure@yahoo.com.mx

<sup>2</sup>Departamento de Recursos Naturales. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada, Km 1. Chihuahua, México.

<sup>3</sup>Centro de Investigación de Materiales Avanzados. CIMAV. Miguel de Cervantes 120. Chihuahua, México.