



RETENCIÓN DE POLVO ATMOSFÉRICO EN ESPECIES ARBÓREAS INDICADORAS DE LA PLANEACIÓN URBANA SUSTENTABLE: CIUDAD DE CHIHUAHUA, MÉXICO

ATMOSPHERIC DUST RETENTION IN TREE SPECIES AS AN INDICATOR OF THE SUSTAINABLE URBAN PLANNING: CITY OF CHIHUAHUA, MEXICO

JORGE ALCALÁ¹, M.SOSA², M. MORENO³, C.QUINTANA²,
A. CAMPOS³ Y C. HOLGUIN²

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

³ CIMAV Centro de Investigación de Materiales Avanzados

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la especie arbórea con mayor capacidad de retención de material particulado sedimentable, fueron evaluados 225 árboles de cinco especies ubicados en la ciudad de Chihuahua. Los muestreos se realizaron en las temporadas de otoño, primavera y verano en cinco sitios conforme a los usos de suelo: comercial y servicios, industria mixta, industria pesada, residencial clase media-alta y residencial popular. Ajustando un modelo del Proc GLM del SAS se probaron las

interacciones entre especie, sitio y temporada con respecto a la cantidad de material particulado retenido en las hojas, determinando a través de las medias de los cuadrados mínimos que las interacciones significativas se presentaron entre los factores especie-temporada ($P < 0,0008$) y especie-sitio ($P < 0,0333$). Las especies que concentraron mayor cantidad de polvo fueron el ciprés (*Cupressus arizonica*) con una media de $0,04946 \pm 0,005405$ (g/Kg de materia seca) y el sicomoro (*Platanus occidentalis*) con una media de $0,02554 \pm 0,005405$ (g/Kg de materia seca). Con estos

resultados se aportan elementos para la política ambiental urbana y la necesidad de contar con especies que indiquen el estado de la calidad ambiental.

Palabras clave: calidad ambiental, contaminación, desarrollo urbano, uso de suelo

SUMMARY

*In order to determine the tree species with greater holding capacity of particulate matter sediments, 225 trees of five species were evaluated, all located in the city of Chihuahua. Sampling was conducted in the autumn, spring and summer seasons at five sites in accordance with the land uses: commercial and services, mixed industry, heavy industry, residential high-middle class and low residential class. Adjusting a model Proc GLM of SAS program, were interaction tested between species, site and season regarding the amount of particulate matter retained in the leaves, determining through the square means that significant interactions were presented among the factors species-season ($P < 0,0008$) and species-site ($P < 0,0333$). Species with higher concentration of dust were cypress (*Cupressus arizonica*) and sycamore (*Platanus**

occidentalis). These results provide elements for an urban environmental policy.

Keywords: environmental quality, pollution, soil use, urban development

INTRODUCCIÓN

La vegetación juega un papel importante en las regulaciones ecológicas de los impactos derivados por la dinámica social y económica en los sistemas urbanos. Un problema típico es la contaminación del aire, considerada un sistema complejo por su composición física y química en donde sus constituyentes cambian por factores como la estación del año, actividad industrial, cambios en el tránsito y en los vientos predominantes, entre otros (Yassi *et al.*, 2002). Esta problemática ha alcanzado niveles que deben ser estudiados, ya que alteran los sistemas de vida en las ciudades, como es el caso de las partículas suspendidas en la atmósfera que incluye el polvo, material carbonoso y organismos u estructuras de ellos (González *et al.*, 1999). El polvo ha sido considerado un contaminante específico generado a partir de procesos industriales, así como de canteras, erosión del suelo y por las emisio-

nes de vehículos automotores. Las partículas atmosféricas urbanas consisten en partículas sólidas o gotas de líquido que van de 0,005 a 500 micrómetros (Smith & Staskawlcz, 1977). Estas partículas no son sumamente perjudiciales en la vegetación pero pueden inhibir o reducir la función estomática y afectar la fotosíntesis, siendo más dañinos sus efectos en períodos secos (Appleton & Kocí, 2000). Los árboles contribuyen a remover partículas absorbiéndolas o reteniéndolas sobre la superficie (Nowak *et al.*, 2006). El poder de retención del polvo por las hojas presenta variaciones con la especie y con las características morfo-anatómicas de la hoja, como es el caso de la superficie expuesta y grado de pilosidad (Dalmasso *et al.*, 1997). Gradualmente se ha puesto mayor énfasis en investigar el papel de la vegetación como medida de mitigación de la contaminación del aire en las ciudades, así como su uso como especies indicadoras (Nowak *et al.*, 2006). Los árboles que son particularmente sensitivos pueden ser usados como indicadores de prevención con niveles altos de contaminación (Shubert, 1979). Algunas especies que han sido es-

tudiadas en la retención de material particulado y que han sido identificadas tolerantes son *Ulmus procera*, *Platanus occidentalis*, *Junglas nigra*, *Eucalyptus globolus*, *Tilia europea*, *Abies alba* y *Larix decidua* (Nowak, 2000). En la ciudad de Chihuahua, las características desérticas y climatológicas son propicias para incrementar las concentraciones de partículas suspendidas (Campos, 2006). De esta manera se hace necesario buscar alternativas que permitan conocer en espacio y tiempo la calidad ambiental de las áreas urbanas usando organismos indicadores como es la vegetación. El objetivo de este estudio fue determinar la capacidad de retención de material particulado sedimentable (MPS) de las especies arbóreas con mayor densidad y distribución urbana, asociadas a factores como el uso de suelo y la temporada. Con los resultados se aportan elementos que pueden ser considerados para las políticas de planeación urbana sustentable y para el uso de especies arbóreas como indicadoras de las estrategias en la mitigación de la contaminación ambiental.

MATERIAL Y MÉTODO

El área de estudio se localiza en la zona urbana del Municipio de Chihuahua (28°38'N- 106° 04'W) (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 y Gobierno del Estado de Chihuahua, 2001; Subdirección de Catastro, 2004; Chen *et al.*, 2005) (Figura 1). Se tomaron 60 a 100g de material foliar de 225 árboles, seleccionando ramas encontradas entre 1,60 a 3m de altura de cinco especies arbóreas con mayor representatividad urbana: Lila (*Melia azedarach*), Fresno (*Fraxinus spp.*), Moro (*Morus spp.*), Sicomoro (*Platanus occidentalis.*) y de hoja perenne el Ciprés (*Cupressus arizonica*) (Brockman, 1978; Petrides y Petrides, 1998; Coobes, 2003). Se consideró que los árboles estuvieran ubicados en la alineación o área perimetral de la cuadra y colindante a una calle o avenida principal. Las muestras fueron tomadas de tres individuos de cada especie por

sitio durante las temporadas de otoño de 2006, primavera y verano 2007. Se incluyeron muestras de cinco árboles testigo ubicados fuera del área urbana como referencia comparativa. En la determinación de la cantidad de MPS se consideró el método empleado por Dalmasso *et al.* (1997). Se reportan los promedios de la concentración de MPS por sitio en g/kg de materia seca. Asimismo, fue diseñado un Modelo con Proc GLM de SAS ($\alpha=0.05$) determinando las medias de los cuadrados mínimos, probando las interacciones entre los factores sitio, especie, temporada con respecto a las concentraciones de MPS. Adicionalmente, para estimar la retención total acumulada de MPS (g/kg de materia seca) en cada uno de los usos de suelo fue estimada la densidad de arbolado en la ciudad considerando tres cuadras por cada sitio de muestreo. Los datos obtenidos se refieren a la superficie construida en m², densidad total y por especie por cuadra, relación m² de superficie construida por árbol y la superficie foliar de cada especie.

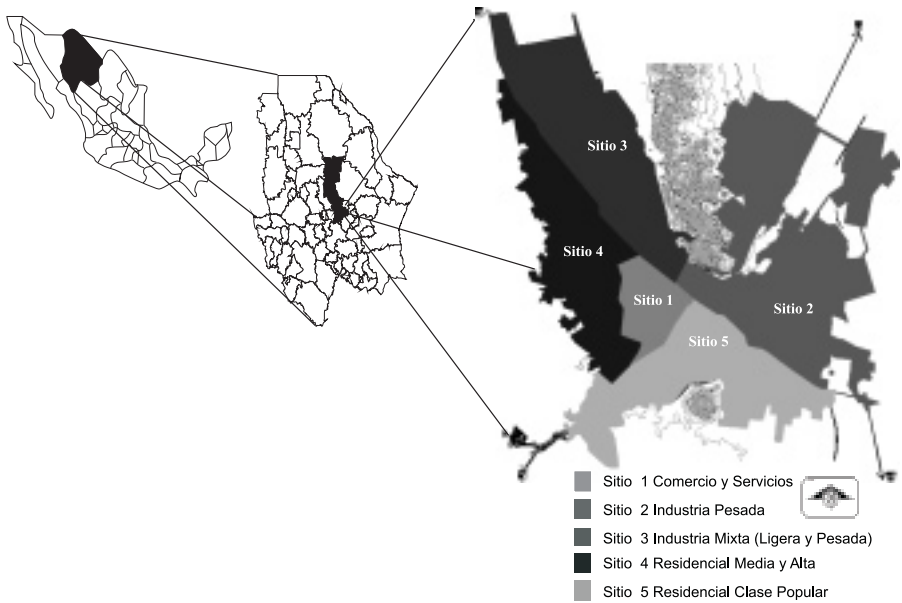


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo basada en el Plano General de la ciudad de Chihuahua (Subdirección de Catastro, 2004)

Figure 1. Sampling sites location based on the Chihuahua city general plan (Subdirección de Catastro, 2004)

RESULTADOS

En el sitio 1, zona de comercio y servicios, el sicomoro presentó el valor más alto de concentración de polvo en la temporada de otoño con 0,069 g/kg de materia seca (Figura 2). En el sitio 2, zona de la industria pesada, el ciprés retuvo la mayor cantidad durante la temporada de primavera con 0,471 g/kg de materia seca (Figura 3). En la Figura 4 se muestra que en el sitio 3, el moro obtuvo 0,092 g/kg de materia seca (MS), siendo la especie con mayor retención en primavera. Asimismo, en el sitio 4, el ciprés retuvo

0,086 g/kg de materia seca (Figura 5) y en el sitio 5 esta misma especie mantuvo el valor más alto con 0,291 g/kg de materia seca (Figura 6). Al analizar la relación entre los factores especie, sitio y temporada, según la retención de MPS, las interacciones significativas fueron entre los factores especie y temporada ($P < 0,0008$) y especie-sitio ($P < 0,0333$). En la Figura 7 se muestra que entre especie y temporada, el ciprés presentó las concentraciones más altas durante la temporada de primavera (0,080 g/kg MS) y verano (0,027 g/kg MS). Sin embargo, el sicomoro presentó el va-

lor más alto en la temporada de otoño (0,049 g/kg MS). En la Figura 8 se muestran los resultados de la interacción especie y sitio donde las especies que más concentraron polvo fueron el ciprés y el sicomoro. En el caso del ciprés, presentó los valores más altos en la zona de comercio y servicios (0,029 g/kg MS), indus-

tria pesada (0,094 g/kg MS), residencial media-alta (0,024 g/kg MS) así como la residencial popular (0,067 g/kg MS), mientras que el sicomoro resultó ser el más alto en la zona de la industria mixta (0,050 g/kg MS). Las especies que concentraron menor cantidad en todos los sitios fueron la Lila y el Fresno.

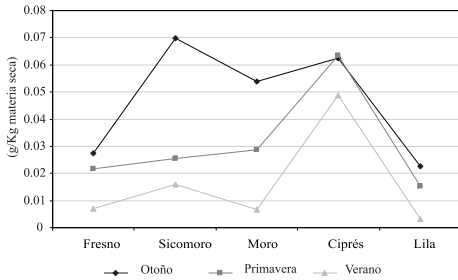


Figura 2. Concentración de material particulado sedimentable en el sitio 1 correspondiente a la zona de comercio y servicios

Figure 2. Particulate matter concentration on the site 1 corresponding to the area of trade and services

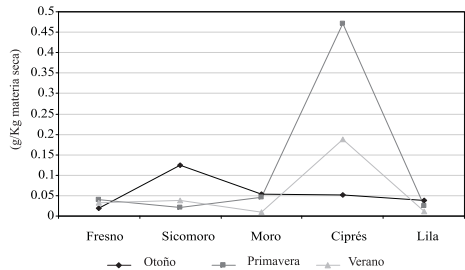


Figura 3. Concentración de material particulado sedimentable en el sitio 2 correspondiente a la zona de industria pesada

Figure 3. Particulate matter concentration on the site 2 corresponding to the area of heavy industry

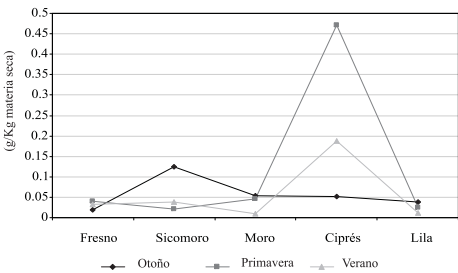


Figura 4. Concentración de material particulado sedimentable en el sitio 3 correspondiente a la zona de industria mixta

Figure 4. Particulate matter concentration on the site 3 corresponding to the area of industry mixed

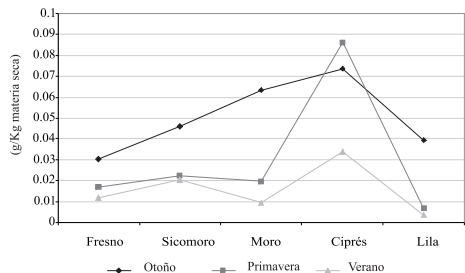


Figura 5. Concentración de material particulado sedimentable en el sitio 4 correspondiente a la zona residencial clase media-alta

Figure 5. Particulate matter concentration on the site 4 for the middle-high class residential area

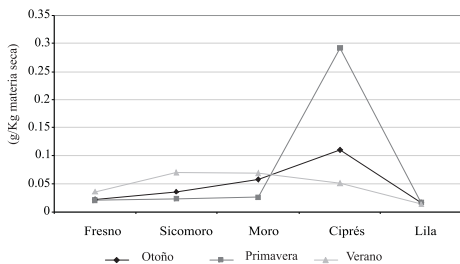


Figura 6. Concentración de material particulado sedimentable en el sitio 5 correspondiente a la zona residencial clase popular

Figure 6. Particulate matter concentration on the site 5 for the low class residential area

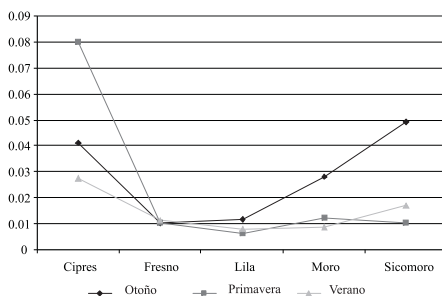


Figura 7. Concentración de material particulado sedimentable resultante de la interacción Especie-Temporada ($P < 0,0008$)

Figure 7. Particulate matter concentration resulting from the interaction Species-season ($P < 0,0008$)

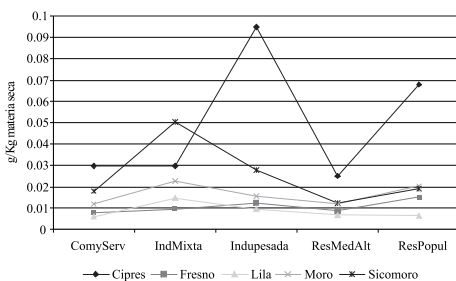


Figura 8. Concentración de material particulado sedimentable resultante de la interacción Especie-Sitio ($P < 0,0333$)

Figure 8. Particulate matter concentration resulting from the interaction Species-Site ($P < 0,0333$)

DISCUSIÓN

Se considera que las características de cada especie evaluada permiten tener diferencias en la capacidad de retención de MPS, al demostrarse su relación con la temporada y el sitio. Esto coincide con Beckett *et al.* (2000) al señalar que la fisiología y micro-estructura de algunas especies de árboles son adecuadas para la intercepción y captura de partículas contaminantes. A su vez comprueba que las plantas son importantes trampas de partículas que se han relacionado con elementos radiactivos, oligoelementos, polen, esporas, sal, precipitación, polvo y partículas no especificadas (Smith y Staskawlcz, 1977). No obstante, las características de infraestructura urbana presente en la zona de comercio y servicio, industria mixta y pesada, así como en la residencial pueden ser condiciones que influyen en la emisión y movimiento de partículas, como es el caso de los vehículos automotores, instalaciones industriales y calles sin pavimentar. En estas tres zonas se presentaron los valores más altos de concentraciones de polvo. Beckett *et al.* (2000) mostraron que la relación entre la especie y el sitio son factores significantes en la retención de partículas. En el caso del efecto temporada, los árboles también pueden influir en las condiciones atmosféricas locales que

favorecen la captura de las partículas. Yassi *et al.* (2002) consideraron que al ser la contaminación del aire un sistema complejo por su composición física y química, sus constituyentes cambian por factores como la estación del año, la actividad industrial, los cambios en el tránsito y los vientos predominantes, entre otros. En la relación temporada-especie, es posible que las condiciones atmosféricas que prevalecen durante la temporada otoño y la emisión de contaminantes puedan ser condiciones que influyan para que sean las temporadas más altas en la retención de partículas por los árboles. El grado de filtración depende de la posición de los árboles en relación a un objeto protegido, a la clase y concentración de contaminantes, a la estructura de los árboles, condiciones meteorológicas y de la topografía (Granados y Mendoza, 2002). Campos *et al.* (2000) encontraron diferencias en cuanto a la cantidad de partículas evaluadas en la atmósfera en las temporadas de otoño-invierno y las de primavera-verano, siendo las concentraciones en la primera ligeramente mayores que en la segunda temporada. Los resultados sugieren que hay diferencias en las especies en cuanto a la eficiencia de la captura de partículas (Beckett *et al.*, 2000). Al hacer comparativos con los valo-

res de los árboles testigo, el ciprés retuvo 0,002 g/kg de materia seca y el sicomoro 0,003 g/kg de materia seca, valores que son menores a los encontrados en estas mismas especies dentro del área urbana, lo cual debe estar influenciada por la cantidad de emisiones y el movimiento de partículas que se depositan en las diferentes especies. Adicionalmente, con los valores promedio obtenidos en las tres temporadas (otoño, primavera y verano) fueron estimadas las concentraciones de polvo por especie con la posible aportación de cada una en la mitigación de la contaminación atmosférica. En el caso del fresno con una cobertura foliar de 72,34m², se puede retener 0,520g de polvo atmosférico. Para el sicomoro, con una cobertura de 211,13m², puede retener 4,316g de polvo atmosférico. En la estimación de la lila, con una cobertura de 19,49m² se considera una retención de 0,1547g de polvo atmosférico. De la misma manera, un árbol de moro con una cobertura de 91,03m² podría retener 0,190g de polvo atmosférico y un ciprés con una cobertura de 83,19m² su capacidad de retención sería de 6,28g. Tomando de referencia estos valores de cobertura, por cada una de las especies, en la Tabla 1 se muestra la estimación de la retención total acumulada de MPS conforme a la densidad de arbolado y

Tabla 1. Estimación de la densidad arborea y retención de material particulado sedimentable conforme a los usos de suelo (g/kg de materia seca)
 Table 1. Tree density estimation and retention of particulate matter under different types of land uses (g/kg dry matter)

Uso de suelo	Superficie estimada/cuadra (m ²)	Densidad de arbolado /cuadra	Superficie construida/ árbol (m ²)	Sicomoro	Lila	Ciprés	Especies Arbóreas Fresno	Moro	Retención Total Acumulada de MPS
Comercio y Servicio	2,592	28,33	91	18,70	0,825	20,93	1,56	1,14	43.155
Industria Pesada	2,784	22,66	122	25,89	0,979	10,46	0,52	0,88	38.729
Industria mixta	1,685.33	28,33	59	38,84	0,567	22,66	0,52	0,82	63.407
Residencial Clase Media-Alta	3,230.66	17	181	7,19	0,618	22,66	1,38	0,31	32.158
Residencial Clase Popular	1,322.66	16,33	80	8,632	0,515	16,74	1,38	0,44	27.707

superficie foliar de las cinco especies de acuerdo a los usos de suelo. De acuerdo a la capacidad de retención total de las cinco especies, según el uso de suelo correspondiente a la Industria mixta se pueden retener 63.407g de polvo atmosférico/Kg MS. Nowak *et al.* (2006) señalan que la remoción de contaminantes por la vegetación varía en cada ciudad; sin embargo, la cantidad removida de diversos contaminantes atmosféricos en 55 ciudades fue de 711,300 toneladas. Asimismo, Dalmaso *et al.* (1997) demostraron que *Acacia caven*, *Geoffroea decorticans* y *Prosopis nigra* tienen mayor capacidad de retención de polvo atmosférico en un ambiente de cementera. Esto nos puede estar indicando la capacidad y contribución de las especies en la mitigación de la contaminación ambiental. Lo anterior trae consigo la necesidad de poner énfasis en conocer la cobertura arbórea dentro de la ciudad, tomando en cuenta el beneficio por especie y la capacidad total en la retención de material particulado. La superficie de la vegetación tiene una considerable capacidad de retención de partículas de la atmósfera teniendo una alta correlación entre la superficie y el volumen, no obstante trae consigo una evolución de la eficiencia en las funciones fisiológicas de la fotosíntesis y

la transpiración (Smith and Staskawlcz, 1977). Esto puede interpretarse en el potencial que puede tener en la ciudad de Chihuahua el uso de especies y la aportación que tiene cada una en la capacidad de retención de polvo atmosférico, bajo las condiciones secas donde existe el arrastre de polvo y gases producto de la combustión, trayendo beneficios a la salud pública e incluso al gasto en la mitigación de la contaminación atmosférica. Las comunidades urbanas son más grandes y su crecimiento más rápido, implicando que la planeación y administración de los recursos naturales como es la vegetación, son puntos cruciales para la sostenibilidad urbana y la calidad de vida (Kane, 2005). La Organización Mundial de la Salud (OMS), recomienda que las urbes dispongan, como mínimo, de entre 10 y 15 m² de área verde por habitante, distribuidos equitativamente en relación a la densidad de población y, por tanto, de la edificación (Consumer, 2002). No obstante existe la necesidad de estudiar los beneficios que puede tener la cobertura arbórea dentro del área urbana, cumpliendo o no este criterio de la OMS. Surge así la necesidad de considerar el desarrollo de nuevos estudios sobre la eficiencia del uso de la vegetación urbana y su contribución en la mitigación de problemas ambientales.

CONCLUSIONES

Las especies evaluadas demuestran una opción para ser utilizadas en la retención de polvo atmosférico. Las especies más adecuadas para ser indicadoras son el ciprés y el sicomoro, sin embargo hay que considerar sus variaciones en cuanto al tiempo y el sitio. La mayor retención de MPS se presentó en los sitios correspondientes a la Industria Pesada, Industria Mixta y Residencial Popular. En el caso de la planeación urbana, debe tenerse en cuenta que el uso de especies arbóreas puede contribuir a mitigar la problemática ambiental y por lo tanto, las políticas urbanas deben favorecer el uso de las diferentes especies considerando la capacidad de soporte que representan.

AGRADECIMIENTOS

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

BIBLIOGRAFÍA

- APPLETON, B. & J. KOCI, 2000. Trees for Problems Landscape Sites. *Virginia Tech Extention. Publication* 430-022.
- BECKETT, P., P.F. SMITH & G. TAYLOR, 2000. Effective Tree Species for Local Airquality Management. *Journal of Arboriculture* 26:1:12-19.
- 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.
- CONSUMER, 2002. *Zonas verdes urbanas: 36 parques, un estudio Equipamiento y seguridad, aspectos a mejorar.* No. 60. Noviembre. Fundación Grupo Eroski.
- COOBES, A.J., 2003. *Árboles. Manuales de Identificación.* Ediciones Omega, S.A. Barcelona. España.
- DALMASSO, A., R. CANDIA & J. LLERA, 1997. La vegetación como indicadora de la contaminación del polvo atmosférico. *Multequina* 6: 91-97.
- GRANADOS, S.D. & A.O MENDOZA, 2002. *Los árboles y el ecosistema urbano.* Universidad Autónoma de Chapingo. México.

- GONZÁLEZ, L.M.C., M.A. CEREZO, M.M.C. GONZÁLEZ & C.L. SALAZAR, 1999. Comportamiento de las Partículas Suspendidas y Polen en la Atmósfera de la Región Norte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. *Journal of the Mexican Chemical Society* 43:005:155-164.
- INEGI, 2007. *Anuario Estadístico del Estado de Chihuahua*. Tomo I. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- KANE, B., 2005. Value, Benefits and Cost of Urban Trees. *Virginia Corporative Extension. Publication* 420-181.
- NOWAK, D.J., 2000. Tree species selection, design, and management to improve air quality. ASLA Annual Meeting Proceedings. *American Society Landscape Architects*. WashiNgton D.C.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- SMITH, H.W. & J.B. STASKAWLCZ, 1977. Removal of Atmospheric Particles by Leaves and Twigs of Urban Trees: Some Preliminary Observations and Assessment of Research Needs. *Environmental Management* 1 (4,): 317-330.
- SUBDIRECCIÓN DE CATASTRO, 2004. *Plano General de la Ciudad de Chihuahua*. Departamento Técnico, Municipio de Chihuahua, México.
- YESSI, A., T. KJELLSTRÖM, T. DE KOK & T.L. GUIDOTTI, 2002. *Salud Ambiental Básica*. Red de Formación Ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México.

Recibido: 07/2008

Aceptado: 10/2008