

Evaluación del arbolado urbano y sus servicios ambientales en el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG)

Evaluation of urban trees and their environmental services in the Área Metropolitana de Guadalajara (AMG)

Recepción del artículo: 22/11/2023 • Aceptación para publicación: 22/03/2024 • Publicación: 01/05/2024

● <https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi22.342>

Edgar Ramón Gómez-Vega

Unesbio (Unión de Especialistas en Biodiversidad, Conservación y Sustentabilidad, A. C.). Zapopan, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4885-8220>

Mario Alberto Hernández-Tovar

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2399-7839>

Ana Luisa Santiago-Pérez*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7494-9129>

Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Departamento de Producción Forestal. Zapopan, Jalisco, México.

Cynthia Guadalupe Rodríguez-Ramírez

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1336-5919>

Clúster Forestal de Jalisco, A. C. Guadalajara, México.

Alberto Brambila-Santiesteban

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5159-4072>

Paola Nayeli Cruz-Paz

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8820-0973>

Karen Paola López-Camacho

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2955-8787>

Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Departamento de Producción Forestal. Zapopan, Jalisco, México

*Autor para correspondencia:

ana.santiago@academicos.udg.mx

Resumen

Se caracterizó el arbolado urbano de un área verde lineal en el área metropolitana de Guadalajara a través de su florística, estructura, importancia urbana y fitosanidad. Se evaluaron todos los árboles con $DN \geq 1$ cm y sus parámetros dasométricos se calcularon en función del aporte a los servicios ambientales con el programa *i-Tree* Ecov.6. Se registraron 41 especies, 33 géneros y 20 familias; el 43.90% fueron exóticas. Se midieron 897 árboles, con un $g = 16.756$ m² y una $k = 5,970.39$ m²; las especies más abundantes fueron *Syagrus romanzoffina*, *Platanus mexicana* y *Pinus greggii*. El índice de valor de importancia urbana (IVIU) posicionó a *S. romanzoffiana*, *Jacaranda mimosifolia* y *P. mexicana* con el mayor valor ecológico. La biodiversidad fue de $H' = 2.839$ y $\lambda = 0.088$, considerada alta, y las especies efectivas a través de los números de Hill indicaron $q1 = 17$ especies abundantes y $q2 = 11$ especies dominantes. La mayoría de los árboles estuvieron sanos (74.81%), y se determinó una mortalidad del 2.34%. Las afectaciones más frecuentes al arbolado fueron el daño mecánico, la deficiencia nutrimental y los defoliadores. Los servicios ambientales proporcionados fueron la eliminación de 41.607 kg/año de contaminantes, el almacenamiento de 23.406 ton de carbono, el secuestro anual de carbono de 3.402 ton, la producción de 9.07 ton/año de oxígeno, entre otros. La información generada sirve de base para la toma de decisiones del manejo del arbolado y es útil como referencia para asegurar e incrementar los servicios ambientales que actualmente ofrece.

Palabras clave: Dasonomía urbana, manejo de arbolado, áreas verdes urbanas, servicios ecosistémicos, biodiversidad.

Abstract

The urban trees of a linear green area in the Guadalajara metropolitan area were characterized through their floristics, structure, urban importance value and plant health. All trees with $DN \geq 1$ cm were evaluated, and their dasometric parameters were calculated based on their contribution to environmental services using the *i-Tree* Ecov.6 program. In total 41 species, 33 genera and 20 families were recorded; 43.90% were exotic. The 897 trees measured accumulated a basal area (g) = 16,756 m² and, a canopy cover (k)= 5,970.39 m²; the most abundant species were *Syagrus romanzoffina*, *Platanus mexicana* and *Pinus greggii*. The urban importance value index (IVIU) positioned *S. romanzoffiana*, *Jacaranda mimosifolia* and *P. mexicana* with the highest ecological value. The biodiversity was $H' = 2.839$ and $\lambda = 0.088$, considered high, and the effective species through the Hill numbers indicated $q1 = 17$ abundant species and $q2 = 11$ dominant species. 74.81% of the trees were healthy, and a mortality of 2.34% was determined. The most frequent effects on trees were mechanical damage, nutritional deficiency, and defoliators. The environmental services provided were the elimination of 41,607 kg/year of pollutants, the storage of 23,406 tons of carbon, the annual sequestration of 3,402 tons of carbon, the production of 9.07 tons/year of oxygen, among others. This information serves as basis for decision-making on tree management and is useful as a reference to ensure and increase the environmental services that it currently offers.

Keywords: Urban forestry, tree management, urban green areas, environmental services, biodiversity.

Introducción

El crecimiento acelerado de las ciudades se ha acompañado de un desarrollo urbano, a menudo, mal planificado, en donde los espacios verdes no son suficientes para su desarrollo sustentable (Calaza *et al.*, 2018). Las áreas verdes urbanas públicas ofrecen servicios ambientales como el almacenamiento de carbono, la reducción de gases de efecto invernadero, la mitigación de las islas de calor, albergue para la biodiversidad nativa, por citar algunos. Adicionalmente, brindan un entorno estético, oportunidades recreativas y reducen los impactos provocados por los ruidos (Dobbs *et al.*, 2017). Por ello, han cobrado gran importancia y son reconocidas como pilares para el crecimiento y bienestar social (Cohen *et al.*, 2008; Mass *et al.*, 2009; Alcaldía de Valledupar, 2017), así como son promotoras de un mejor estado de salud (The Nature Conservancy, 2017).

No obstante, aquellas áreas verdes ubicadas entre vialidades con tránsito vehicular constante se encuentran sujetas a condiciones que limitan su desarrollo, reducen sus servicios ecosistémicos y afectan su escena paisajística, aunado a que la inadecuada elección de especies y deficiente manejo daña la infraestructura. Por ello, los gobiernos locales están cada vez más preocupados sobre la planificación y gestión de estos espacios (Shalisko *et al.*, 2015). Todos estos beneficios y consideraciones son fundamentales para zonas de gran concentración poblacional como el área metropolitana de Guadalajara (AMG), con 5'243,392 habitantes (INEGI, 2020; Gobierno de Jalisco, 2022).

Dentro del AMG se han realizado varios estudios florísticos y dasonómicos referentes a las áreas verdes urbanas públicas (López-Coronado y Guerrero-Nuño, 2004; Chávez *et al.*, 2010; Shalisko *et al.*, 2015; Hernández *et al.*, 2022). Además, existen documentos técnicos normativos como los reglamentos municipales y las normas ambientales estatales NAE-SEMADES 001/2003 y NAE-SEMADES 005/2005 que especifican las acciones para su manejo dentro del estado de Jalisco. No obstante, son pocos los sectores o espacios en específico que cuentan con información dasonómica, estructural y fitosanitaria que funja como línea base para su intervención. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el arbolado de un área verde lineal a través de su florística, estructura, diversidad, importancia urbana y condición fitosanitaria para lo toma de decisiones respecto a su manejo.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada dentro del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) entre los municipios de Guadalajara y Zapopan. Esta área verde lineal funge como camellón de la avenida Acueducto, tiene una longitud de 3.821 km y una superficie de 2.0775 ha. Intercepta entre la avenida Pablo Neruda en su parte sur (coordenadas UTM WGS84 32613 longitud (x) = 0667024 y latitud (y) = 2289315) y la avenida Periférico Poniente Manuel Gómez Morín en el norte (longitud (x) = 0664742 y latitud (y) = 2292376) (Figura 1). El clima es semicálido subhúmedo con una temperatura media anual que oscila entre los 20.5 a 21.7 oC y una precipitación acumulada anual entre los 943 y 998 mm. Los tipos de suelo predominantes son el regosol y el feozem (IEEG, 2021a; IIEG, 2021b).

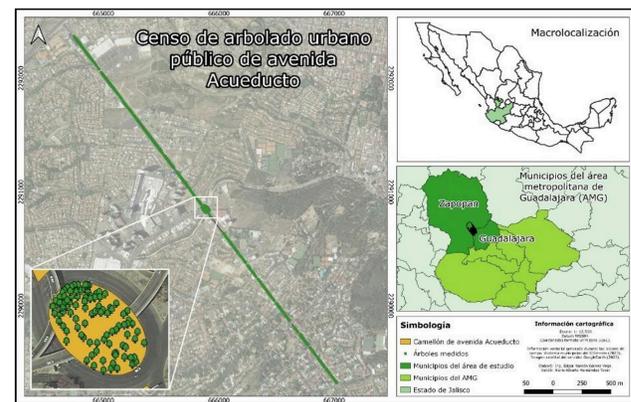


Figura 1. Ubicación del área verde lineal de estudio sobre la avenida Acueducto entre los municipios de Guadalajara y Zapopan, Jalisco.

Trabajo de campo

Se realizó el censo del arbolado durante el mes de diciembre de 2022. Se registraron todos los individuos con un diámetro normal (DN) ≥ 1 cm, la altura total (h_t), altura de base a inicio de copa (h_{bc}), de inicio de copa hasta última rama viva (h_c), el diámetro de copa en dirección norte-sur (k_1) y este-oeste (k_2). Se empleó una cinta diamétrica *Forestry Suppliers®* para el registro del DN, una cinta métrica de 20 m Truper *TP20ME®* para los diámetros de copa y un clinómetro *SUUNTO®* para las alturas. Todos los individuos fueron georreferenciados con un equipo de geolocalización *Garmin® eTrex 20x*. También se evaluó el estado fitosanitario del arbolado a través de la presencia de alguna plaga o enfermedad, daño mecánico o abiótico, así como daños específicos por manejo inadecuado.

Procesamiento de información

La información recopilada en campo se procesó con el programa Microsoft Excel®, con el cual se generaron las tablas y gráficos. La elaboración de cartografía y análisis de información vectorial se realizó con el sistema de información geográfica QGIS® 3.24.0. Para la corroboración de los nombres científicos se consultaron las bases de datos del *Missouri Botanical Garden* (Tropicos, 2021) y para la identificación de las especies enlistadas en alguna categoría de riesgo nacional e internacional se consultaron la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2019) y su modificación al anexo normativo III (14 de noviembre de 2019), la plataforma de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora silvestre (CITES, 2023) y la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2023). Se cotejó la distribución y nivel de endemismo en la plataforma de Enciclovida (CONABIO, 2022).

La estructura se caracterizó a través de la densidad (A), la dominancia (D), la frecuencia (F), el área de superficie de la copa (ASC), el volumen de la copa (V_{copa}) y el índice de valor de importancia urbana (IVIU) (Ecuación 1-6). Se calculó la diversidad alfa con el índice de Shannon-Wiener (H') (Ecuación 7) y el de Simpson (λ) (Ecuación 8) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ecuaciones empleadas para la caracterización de la estructura, importancia ecológica urbana y diversidad.

<p>- Índice de valor de importancia urbana (IVIU) (Saevedra-Romero <i>et al.</i>, 2019; Alanís-Rodríguez <i>et al.</i>, 2022)</p> <p>A través la suma de los valores relativos de la abundancia (A) y la dominancia (D, a partir del área basal), frecuencia (F), superficie de copa (ASC) y volumen de copa (V_{copa}):</p>	
$IVIU = \frac{F(\%) + A(\%) + D(\%) + ASC(\%) + V_{copa}}{5} \quad (1)$	<p>Donde:</p> <p>Abundancia(A) = $\frac{\text{No. de individuos de una especie}}{\text{No. total de individuos de todas las especies}} \times 100(2)$</p> <p>Dominancia(D) = $\frac{\text{Suma de área basal de una especie}}{\text{Suma de área basal total de las especies}} \times 100(3)$</p> <p>Frecuencia(F) = $\frac{\text{No. de sitios en los que la especie ocurre}}{\text{No. total de individuos de todas las especies}} \times 100(4)$</p> <p>ASC = $\frac{(\pi \times r^2)}{(4LC^2)} [(4LC^2 + r^2)^{1/2} - r^2](5)$</p> <p>Donde: ASC: área de la superficie de la copa. r: radio de la copa. LC: longitud de la copa.</p> <p>$V_{copa} = \left(\frac{\pi}{3} \times r \times DC \times LC\right) \times \frac{1}{8}(6)$</p> <p>Donde: V_{copa}: volumen de copa. DC: diámetro de copa. LC: longitud de la copa.</p>
<p>- Índice de Shannon-Wiener (H') (Moreno, 2001)</p> <p>Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a qué especie pertenecerá un individuo escogido al azar:</p>	
$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \times \ln (P_i) \quad (7)$	<p>Donde:</p> <p>H': índice de Shannon-Wiener. P_i: proporción de los individuos de la especie i. ln = logaritmo natural.</p>
<p>- Índice de Simpson (λ) (Moreno, 2001)</p> <p>Calcula la diversidad a través de la influencia de las especies más dominantes:</p>	
$\lambda = \frac{1}{\sum_{i=1}^s P_i^2} \quad (8)$	<p>Donde:</p> <p>P_i: la abundancia proporcional de la especie i.</p>
<p>- Especies efectivas a través de los números de Hill (Hill, 1973)</p> <p>Calcula las especies efectivas empleando los índices de Simpson y de Shannon-Wiener a través de su conversión conforme a las siguientes fórmulas:</p>	
$q0 = S$ $q1 = e^{-\sum_{i=1}^s P_i \times \ln(P_i)}$ $q2 = 1 / \left(- \sum_{i=1}^s P_i^2 \right)$	<p>Donde:</p> <p>S: riqueza específica. P_i: proporción de los individuos de la especie i. ln = logaritmo natural.</p>

Para el cálculo de la aportación de los servicios ambientales se utilizó el programa *i-Tree Ecov.6* (USDA, 2022), el cual proporciona herramientas de análisis de evaluación de las áreas verdes urbanas a través de la recolecta de datos estandarizados en campo y valores meteorológicos locales y del aire.

Se cuantificaron los servicios ambientales de a) la eliminación de contaminantes como el ozono (O₃), dióxido de sulfuro (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el monóxido de carbono (CO) y material particulado de 10 micrones (PM₁₀) a través de Zinke (1967), Bidwell y Fraser (1972), Baldochi *et al.* (1987) y Lovett (1994), así como su costo monetario; b) el almacenamiento y secuestro de carbono se calculó con base en Nowak (1994); c) producción de oxígeno calculado a través de la fórmula de Nowak *et al.* (2007), d) el escurrimiento evitado tasado con las Series del Manual de Árboles Comunitarios del Servicio Forestal de EE. UU. (McPherson *et al.*, 2010); y e) el valor de su sustitución.

Resultados y discusión Florística

Se registraron 41 especies repartidas en 33 géneros y 20 familias. Las familias con mayor riqueza fueron Bignoniaceae (6 géneros/6 spp.), Fabaceae (2 géneros/5 spp.), Cupressaceae (4 géneros/4 spp.) y Pinaceae (4 géneros/4 spp.). El 43.90% fueron exóticas, el 24.39 % introducidas y sólo el 31.71% fueron nativas al área de estudio, mientras que el 7.32% del total fueron endémicas. De acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, el Cedro Blanco (*Cupressus lusitanica*) se considera en protección especial (Pr). Por parte de los ordenamientos internacionales, la Sangre del Líbano (*Euphorbia cotinifolia*) se encuentra anexada en el apéndice II del CITES (2023), así como 20 taxones se clasificaron en preocupación menor (LC) y sólo el Pino Prieto (*Pinus greggii*) como vulnerable (VU) dentro de la lista roja de la IUCN.

Comparando estos resultados con otras áreas verdes urbanas del AMG, Hernández *et al.* (2022) reportaron una riqueza de 81 especies pertenecientes a 32 familias dentro la Colonia Chapultepec Country, mientras que Hernández-Álvarez *et al.* (2022) consignaron dentro del Parque Solidaridad Iberoamericana 20 taxones dentro de 16 familias, sobresaliendo Fabaceae, Bignoniaceae y Salicaceae, en su mayoría tratándose de taxones exóticos. Para el mismo estado, Esquive y Quijas (2021) identificaron 96 especies, 78 géneros y 96 especies dentro de 14 parques y plazas públicas de Puerto Vallarta, Jalisco. Estas riquezas fueron muy parecidas a las reportadas en este estudio.

A nivel nacional, en el centro del municipio de Hualehuises

(Nuevo León), Alanís-Rodríguez *et al.* (2022) calcularon una riqueza de 38 especies, posicionando a Fabaceae, Arecaceae, Fagaceae y Rutaceae las más ricas, con el 63.2% de sus representantes como exóticas. En esa misma entidad, Leal *et al.* (2018) determinaron que el arbolado urbano de Linares está compuesto por 41 taxones y 34 géneros incluidos en 25 familias, con Fabaceae, Fagaceae, Moraceae y Arecaceae como los grupos más característicos, e identificando a más de la mitad como introducidas al territorio nacional.

Para áreas verdes en el sureste del país, Román-Guillén *et al.* (2019) analizaron un arbolado lineal en la cabecera municipal de Tuxtla Gutiérrez (Chiapas) y caracterizaron a 114 especies, 88 géneros y 38 familias botánicas, siendo Fabaceae, Moraceae y Bignoniaceae las más ricas. Además, estos autores enlistan al Cedro Rojo (*Cedrela odorata*) como en protección especial (Pr), al Guayacán (*Guaiacum sanctum*) como amenazada (A) y al Laurel (*Litsea glaucescens*) como en peligro de extinción (P) de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2019).

Estos resultados indican una gran predominancia de especies exóticas dentro de las áreas verdes urbanas públicas. Esto deriva de su fácil reproducción y cuidado, de gran disponibilidad dentro de viveros comerciales y por el atractivo visual que ofrecen, a pesar de que es ampliamente reconocido que el empleo de taxones nativos ofrece una mayor gama de servicios ambientales por su adaptación ecológica (Alanís, 2005).

Estructura

Se midieron 897 individuos, un área basal (g) de 16.756 m² y una cobertura de copa (k) de 5,970.39 m². El diámetro normal medio (DN_m) fue de 10.61 ± 9.67 cm y la altura total media (h_m) de 4.13 ± 2.05 m. Las especies con los DN_m mayores fueron el Álamo (*Populus tremuloides*) con 66.34 cm, el Pino Michoacano (*Pinus devoniana*) con 26.37 ± 1.51 cm, *S. romanzoffina* con 26.32 ± 4.02 cm, y el Falso Pistacho (*Simarouba amara*) con 24.70 ± 1.13 cm. Los valores más bajos se registraron para el Guayabo Fresa (*Psidium cattleianum*) con 1.34 cm, la Dracena (*Dracaena reflexa* var. *angustifolia*) con 2.07 cm, el Tabachín Enano (*Caesalpinia pulcherrima*) con 2.47 ± 0.65 cm, y el Guamúchil (*Pithecellobium dulce*) con 2.51 ± 0.74 cm. Para el caso de las alturas, los especies con mayor proyección vertical fueron *P. tremuloides* con 12.0 m, el Ficus (*Ficus benjamina*) con 7.5 m, *C. lusitanica*, con 7.4 m, y *S. romanzoffina* con 6.96 ± 0.94.

Las especies más abundantes fueron *S. romanzoffina* (19.62%), el Sicomoro (*Platanus mexicana*), con el 10.26 %, *P. greggii*, (10.81%) y *P. dulce* con el (9.36%). Aquellas que acumularon la mayor área basal (g) fueron *S. romanzoffiana* con el 58.48%, y muy por debajo, el Cedro Limón (*Cupressus macrocarpa*) con el 5.03% y *F. uhdei* con el 5.02%. El mayor porcentaje de copa (k) lo acumularon *S. romanzoffina*, *P. mexicana*, *P. greggii* y *J. mimosifolia* (con el 40.52, 9.62, 6.48 y 6.01%, respectivamente).

La distribución de las clases diamétricas (CD) indicó una tendencia exponencial negativa sesgada a las clases inferiores, aunque con una marcada formación de dos curvas; en la primera se albergaron individuos con DN entre 5 y 10 cm, mientras que la segunda alcanzó su punto más alto en la CD de 25 cm (Figura 2). Para el caso del g, la mayor proyección horizontal se concentró entre las CD de 25 a 35 cm (Figura 3), y para la k se registró una misma tendencia con dos curvas orientadas hacia la exponencial negativa (Figura 4).

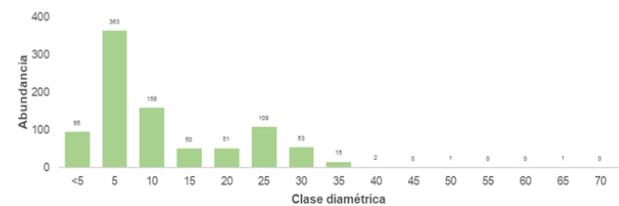


Figura 2. Abundancia de individuos por clase diamétrica en el área verde urbana en estudio.

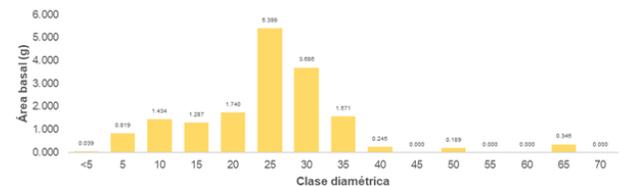


Figura 3. Área basal (g) por clase diamétrica del arbolado urbano.

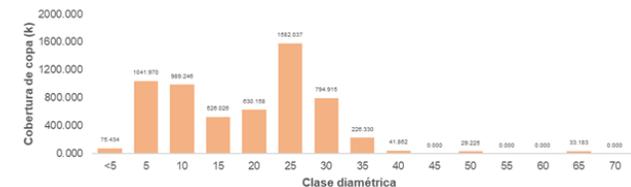


Figura 4. Cobertura de copa (k) por clase diamétrica del arbolado urbano.

Dentro del arbolado de la Colonia Chapultepec Country en la misma AMG, Hernández *et al.* (2022) registraron 1,386 árboles con *F. benjamina* (23.52%), *P. orientalis* (8.44%) y *S. romanzoffina* (7.72%) como las especies más abundantes, así como con mayor dominancia a esta misma morácea (27.55% en g; 27.69% en k) seguida de *F. uhdei* (9.51 % en g; 8.21% en k),

S. romanzoffiana (6.64% en *g*; 9.56 en *k*) y *J. mimosifolia* (8.03% en *g*; 8.09 en *k*), y la totalidad de los individuos acumularon una *g* = 175.74 m² y *k* = 24,231.0 m². En tanto, Hernández-Álvarez *et al.* (2022) contaron 1,018 individuos y un *k* = 13,756.34, y consignaron a *B. americana* (22.00%), *J. mimosifolia* (20.33%) y *S. bonplondiana* (14.05 %) como las más características dentro de su área de estudio. Estos resultados mantienen algunos de los patrones expuestos por esta investigación, señalando que la selección de especies dentro de las áreas verdes públicas del AMG sigue los mismos patrones en cuanto a riqueza y distribución de especies se refiere.

En el arbolado urbano del centro del municipio de Hualahuises (Nuevo León), Alanís-Rodríguez *et al.* (2022) midieron 384 árboles con un *g* = 6.77 m² y una *k* = 4,605.84 m² mencionando a *Fraxinus americana*, *Q. virginiana*, la Tuya Occidental (*Thuja occidentalis*) y la Anacahuita (*Cordia boissieri*) como las más representativas

por sus dimensiones dasométricas.

Índice de valor de importancia urbana (IVIU)

De acuerdo con este índice, *S. romanzoffiana* se posicionó como la especie con mayor importancia ecológica y estructural de esta área verde pública acumulando un IVIU = 29.09, casi una tercera parte de la totalidad del estimador. Por debajo de esta palma, los taxones que también presentaron una gran importancia respecto al IVIU fueron *J. mimosifolia* con 8.16, *P. mexicana* con 6.35, *F. uhdei* con 5.66 y *P. greggii* con 5.29. Taxones que no aportaron un gran valor a este camellón fueron *P. cattleianum*, *D. reflexa* var. *angustifolia*, el Pirul Brasileño (*Schinus molle*), el Pino Piñonero (*Pinus aff. cembroides*) y la Palma Asiática Fénix (*Phoenix roebelinii*) por su baja ocurrencia (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultado del índice de valor de importancia urbana (IVIU) por especie registradas en el área de estudio. Códigos= origen: (Na, nativa; Ex, exótica; In, introducida).

ESPECIE	FAMILIA	NOMBRE COMÚN	ORIGEN	ABUNDANCIA (%)	DOMINANCIA (%)	ASC (%)	VCOPA (%)	FRECUENCIA (%)	IVIU (%)
<i>Bursera fagaroides</i>	Burseraceae	Papelillo Azul	Na	0.89	0.07	0.17	0.02	2.44	0.72
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	Fabaceae	Tabachín Enano	Na	0.56	0.03	0.21	0.12	2.44	0.67
<i>Cassia fistula</i>	Fabaceae	Lluvia de Oro	Ex	1.23	1.48	0.94	0.53	2.44	1.32
<i>Ceiba speciosa</i>	Malvaceae	Pochote	Ex	0.45	0.56	0.02	0	2.44	0.69
<i>Citrus x aurantium</i>	Rutaceae	Naranja	Ex	0.45	0.15	0.12	0.02	2.44	0.64
<i>Cupressus lusitanica</i>	Cupressaceae	Cedro Blanco	In	0.11	0.43	0.45	0.73	2.44	0.83
<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	Cedro Limón	In	2.23	5.03	3.88	3.27	2.44	3.37
<i>Cupressus sempervirens</i>	Cupressaceae	Ciprés Italiano	Ex	1.23	1.24	0.47	0.11	2.44	1.1
<i>Delonix regia</i>	Fabaceae	Tabachín	Ex	3.23	3.04	4.11	4.99	2.44	3.56
<i>Dracaena reflexa</i> var. <i>angustifolia</i>	Asparagaceae	Dracena	Ex	0.11	0	0.03	0	2.44	0.52
<i>Euphorbia cotinifolia</i>	Euphorbiaceae	Sangre del Libano	In	0.22	0.12	0.44	0.28	2.44	0.7
<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	Ficus	Ex	0.11	0.03	0.5	0.71	2.44	0.76
<i>Fraxinus uhdei</i>	Oleaceae	Fresno	Na	4.57	5.02	8.64	7.63	2.44	5.66
<i>Hibiscus tiliaceus</i>	Malvaceae	Majahua	In	4.68	0.39	1.96	0.31	2.44	1.96
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	Jacaranda	Ex	2.9	2.07	6.82	26.55	2.44	8.16
<i>Magnolia grandiflora</i>	Magnoliaceae	Magnolia	Ex	1.34	0.31	0.67	0.21	2.44	0.99
<i>Markhamia lutea</i>	Bignoniaceae	Tulipán del Nilo	Ex	0.33	0.48	0.98	1.08	2.44	1.06
<i>Phoenix roebelinii</i>	Arecaceae	Palma Asiática Fénix	Ex	0.11	0.03	0.05	0.01	2.44	0.53
<i>Pinus aff. cembroides</i>	Pinaceae	Pino Piñonero	In	0.11	0.01	0.06	0.01	2.44	0.53
<i>Pinus devoniana</i>	Pinaceae	Pino Michoacano	Na	0.22	0.65	0.51	0.5	2.44	0.87
<i>Pinus douglasiana</i>	Pinaceae	Pino Lacio	Na	0.22	0.01	0.02	0	2.44	0.54
<i>Pinus greggii</i>	Pinaceae	Pino Prieto	In	10.81	2.54	7.72	2.91	2.44	5.29
<i>Pithecellobium dulce</i>	Fabaceae	Guamúchil	Na	9.36	0.35	1.88	0.37	2.44	2.88
<i>Platanus mexicana</i>	Platanaceae	Sicomoro	In	11.26	3.06	10.0	4.88	2.44	6.35
<i>Platanus orientalis</i>	Cupressaceae	Tuya	Ex	0.11	0.05	0.05	0.01	2.44	0.53
<i>Plumeria rubra</i>	Apocynaceae	Cacalostúchil	Na	2.68	0.99	1.54	1.45	2.44	1.82
<i>Populus tremuloides</i>	Salicaceae	Álamo	Ex	0.11	2.06	0.99	2.48	2.44	1.62
<i>Psidium cattleianum</i>	Myrtaceae	Guayabo Fresca	Ex	0.11	0	0.01	0	2.44	0.51
<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	Guayabo	Na	4.46	3.49	2.03	0.83	2.44	2.65
<i>Psidium sartorianum</i>	Myrtaceae	Arrayán	Na	3.01	0.51	2.4	0.9	2.44	1.85
<i>Quercus aff. rugosa</i>	Fagaceae	Encino Hacha Encina	Na	0.33	0.07	0.11	0.02	2.44	0.59
<i>Quercus virginiana</i>	Fagaceae	Encino	Ex	1	3.26	1.12	1.25	2.44	1.82
<i>Roseodendron donnell-smithii</i>	Bignoniaceae	Primavera	In	2.34	1.8	2.74	2.66	2.44	2.4
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	Pirul Brasileño	Ex	0.11	0.01	0.05	0.01	2.44	0.52
<i>Simarouba amara</i>	Simaroubaceae	Falso Pistacho	In	0.22	0.57	0.37	0.36	2.44	0.79
<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	Galeana	Ex	0.22	0.11	0.15	0.04	2.44	0.59
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	Arecaceae	Palma Plumosa	Ex	19.62	58.48	33.2	31.7	2.44	29.09
<i>Tabebuia rosea</i>	Bignoniaceae	Rosa Morada	Na	6.35	0.38	1.67	0.43	2.44	2.26
<i>Tecoma stans</i>	Bignoniaceae	Tromadora	Na	0.33	0.27	0.77	0.77	2.44	0.92
<i>Terminalia bucceras</i>	Fabaceae	Olivo Negro	Na	1.34	0.68	1.84	1.8	2.44	1.62
<i>Yucca filifera</i>	Asparagaceae	Izote	In	0.89	0.15	0.19	0.03	2.44	0.74

Estos resultados contrastan con lo reportado por Hernández *et al.* (2022) y Hernández-Álvarez *et al.* (2022) para el AMG, ya que estos autores posicionan a *F. benjamina*, *T. orientalis* y *C. x aurantium*, así como a *J. mimosifolia*, *B. americana* y *C. equisetifolia*, como aquellas con mayor importancia ecológica dentro de sus áreas de estudio, esto por las grandes dimensiones y proyecciones horizontales en área basal. Además, incluyen a *S. romanzoffiana* como taxón clave dentro de las áreas verdes urbanas, por las altas abundancias que se reportan para esta palma.

Alanís-Rodríguez *et al.* (2022) consignaron con mayor IVIU a *F. americana* (16.68), *Q. virginiana* (16.64) y *T. occidentalis* (11.99) como aquellas con mayor peso ecológico en Hualahuises, Nuevo León, mientras que Saavedra-Rodríguez *et al.* (2019) obtuvieron que *C. equisetifolia* (IVIU = 31.98) fue el taxón con mayor importancia urbana dentro del parque San Juan de Aragón (CDMX), con >30% de este estimador, seguido de *E. camaldulensis* y el Pirul (*Schinus molle*), todas exóticas al territorio nacional. Estos resultados contrastan con la riqueza con mayor IVIU del presente estudio, y coinciden en que las especies exóticas predominan en las zonas de investigación y arbolado público del país.

Diversidad biológica

La riqueza específica (*S*) fue de 41 especies con una abundancia relativamente homogénea entre aquellas dominantes, definida por el índice de Shannon-Wiener de $H' = 2.839$ y $H'_{max} = 3.714$, valores muy similares a los obtenidos por Martínez-Trinidad *et al.* (2021) y Alanís-Rodríguez *et al.*, (2022), y superiores a lo expuesto por Leal *et al.* (2018). En tanto, el índice de Simpson confirma la alta diversidad del área de estudio con $\lambda = 0.088$. Estos resultados demuestran que las áreas verdes urbanas pueden albergar una mayor diversidad que los ecosistemas naturales (Gallegos *et al.*, 2014; Graciano-Ávila *et al.*, 2017; Dávila-Lara *et al.*, 2019) ya que su introducción no obedece un proceso de sucesión como sucede en bosques y selvas. Al interpretar los índices de biodiversidad a través de la serie de números de Hill, se estimó la presencia $q1 = 17$ especies abundantes y $q2 = 11$ especies dominantes. Estos resultados son un indicador de importancia, ya que reflejan de manera indirecta la posible proliferación de futuras plagas y enfermedades por la dominancia de pocos taxones, razón por la que Santamour (1990) recomienda que la abundancia de una misma especie no sea mayor del 10 % del arbolado total, no exceda el 20% del mismo género y no más del 30% de la misma familia, regla

que no suele respetarse dentro de los programas de establecimiento de arbolado urbano.

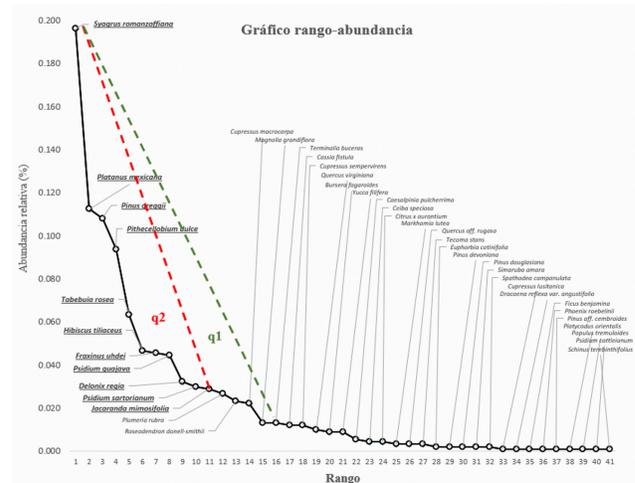


Figura 5. Gráfico de rango-abundancia de las especies registradas. Donde $q2$: especies dominantes y $q1$: especies abundantes.

Evaluación fitosanitaria

El 74.81% del arbolado se calificó como sano, sin presentar algún daño significativo en su estructura, así como la presencia de plagas o enfermedades. El 22.85% correspondió a individuos con alguna afectación que comprometió su correcto desarrollo y sólo el 2.34% se consideró como muerto al no presentar evidencia de funciones fisiológicas, resultados similares a los obtenidos por Hernández *et al.* (2022). Las afectaciones más comunes fueron el daño mecánico (12.82%), la deficiencia nutrimental (8.14%) y la presencia de hormigas defoliadoras (4.57%) del género *Atta*, así como muérdago (1.34%) de especies como el Muérdago del Mezquite (*Psittacanthus calyculatus*) y el Injerto del Huizache (*Struthanthus interruptus*). En contraste, la incidencia de hongos fue el daño menos frecuente (Cuadro 3), similar a las afectaciones reportadas en otros trabajos dentro del AMG (Hernández *et al.*, 2022; Hernández-Álvarez *et al.*, 2022).

Cuadro 3. Daños y afectaciones identificadas en el arbolado del área verde lineal.

Tipo	Abundancia	Porcentaje (%)
Sin daño	621	69.23
Daño mecánico	115	12.82
Deficiencia nutrimental	73	8.14
Defoliador	41	4.57
Muérdago	12	1.34
Suprimido por competencia	11	1.23
Despunte de ramas	7	0.78
Resinación	5	0.56
Agente abiótico	3	0.33
Chupador	3	0.33
Falta de riego	2	0.22
Fumagina	2	0.22
Hongo repisa	1	0.11
Hongo microscópico	1	0.11
Total	897	100.00

El mayor porcentaje de arbolado con algún daño o afectación se registró para *P. mexicana* con el 35.61%, seguido de *P. greggii* con el 17.07% y *P. dulce* con el 12.20%. La mortalidad más alta fue para la Guayaba (*Psidium guajava*) con el 31.82%, y tanto el Pochote (*Ceiba speciosa*) como el Tabachín (*Delonix regia*) con el 13.64% cada una.

Servicios ambientales

Se consignó que estos elementos arbóreos tienen la capacidad de eliminar hasta 41.607 kg/año de contaminantes como monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) y partículas PM₁₀ (de 2.5 a 10 micras) de la atmósfera, y este servicio tiene un valor monetario calculado en \$14,112.00 MXN. Asimismo, almacenan en sus estructuras vegetales hasta 23.406 ton de carbono almacenado (85.90 ton de CO₂) y que pueden generar un secuestro anual de carbono de 3.402 ton, servicios valuados en \$78,221.95 y \$12,545.00, respectivamente. Otro servicio ecosistémico fundamental fue la producción de oxígeno, que para este estudio se determinó en 9.07 ton anuales. Para el caso del escurrimiento evitado, se evidenció que toda esta cobertura arbórea tiene el potencial de infiltración de hasta 42.00 m³/año con un valor estimado total de \$1,883.00.

No obstante, al tratarse de organismos vivos, también es importante señalar que pueden generar compuestos que podrían interferir con la calidad del aire, ya que pueden ser precursores de otras moléculas como el ozono (O₃) o conjugarse con otros elementos de la atmósfera para formar alergénicos que podrían afectar a las personas susceptibles a ellos; estos son conocidos como compuestos orgánicos volátiles (COV), conformados principalmente por monoterpenos (22.59 kg/año) e isopropanos (3.95 kg/año) sumando 26.54 kg/año.

Además, más allá de los servicios ambientales que los árboles ofrecen al entorno urbano, tienen un valor escénico por el paisaje que brindan a través de sus estructuras que año con año adquieren más valor, sobre todo si se refiere a un precio de sustitución. Por ello, se definió que el arbolado del camellón de avenida

Acueducto tiene un valor total de \$4,056,457.00 (Cuadro 4).

Conclusiones

El arbolado del área verde lineal de la Av. Acueducto alberga una riqueza equiparable a la de otras áreas de la metrópoli, en donde las especies exóticas e introducidas fueron predominantes respecto a las nativas. Familias como Bignoniaceae, Fabaceae, Cupressaceae y Pinaceae fueron las más representativas por el atractivo visual de su floración (*Tabebuia*, *Roseodendron*, *Markhamia*, *Jacaranda*), su rápido crecimiento y adaptación al entorno (*Cassia*, *Pithecellobium*, *Caesalpinia*), así como por la presencia de follaje durante todo el año (*Cupressus*, *Pinus*).

El grupo de las palmas (*Arecaceae*) fue el más abundante, dominante y frecuente dentro de esta área verde pública debido a sus características como su fuste limpio y copa ubicada casi exclusivamente en la parte distal de la planta, lo cual es ideal para su uso dentro de los camellones entre vialidades. A través de la distribución de clases diamétricas, se determinó que el arbolado urbano se agrupa en individuos brinzales y latizales (relativamente jóvenes) conformados principalmente por *F. uhdei*, *P. greggii*, *P. mexicana* y *S. romanzoffiana*, y fustales (árboles maduros) por *C. macrocarpa*, *Q. virginiana* y *P. tremuloides*. En ese sentido, la mayor importancia ecológica urbana se registró para *J. mimosifolia*, *P. mexicana*, *F. uhdei* y *P. greggii* a razón de su presencia y grandes dimensiones dentro de la avenida, patrón que no distó al comparar otras áreas verdes metropolitanas y nacionales.

La mayoría del arbolado se calificó como sano sin presentar un daño significativo en su estructura, mientras que menos del 5% fue identificado con necesidades de derribo y restitución, siendo *P. guajava*, *C. speciosa* y *D. regia* las especies que presentaron la mayor mortalidad. En el caso de las afectaciones, el daño mecánico y la deficiencia nutrimental fueron las más recurrentes, además de la presencia de plantas parásitas comunes dentro de las ciudades, las cuales afectaron principalmente a especies exóticas. No obstante, existe un problema potencial ante incidencias de plagas y enfermedades ya que la mayoría de los individuos pertenecieron a grupos botánicos similares que comparten vulnerabilidad ante un mismo patógeno.

Por ello, esta investigación brinda información de utilidad como línea base para la toma de decisiones respecto al manejo del arbolado del camellón, que deberá derivar en un programa de manejo conforme a lo establecido por la legislación municipal y estatal en materia de áreas verdes. Se sugiere el derribo de los individuos muertos y restitución por especies nativas con afinidad tropical, como aquellas presentes en el área natural silvestre más cercana, como es la barranca del río Santiago, así como realizar el manejo fitosanitario de las plagas y enfermedades aquí reportadas. Con ello, el cuidado y correcto manejo de esta área verde urbana mantendrá e incrementará los servicios ambientales que actualmente ofrece.

Cuadro 4. Servicios ambientales que ofrece el arbolado en el área de estudio.

Servicio ambiental	Capacidad de unidad del servicio ambiental	Precio estimado por unidad del servicio ambiental (MXN)
Contaminantes removidos monóxido de carbono (CO), ozono (O ₃), dióxido de nitrógeno (NO ₂), dióxido de azufre (SO ₂) y partículas PM10 (de 2.5 a 10 micras)	41.607 kg/año	\$14,112.00
Carbono almacenado	23.406 ton	\$78,221.95
Dióxido de carbono (CO ₂) almacenado	85.90 ton	
Carbono almacenado de manera anual	3.402 ton	\$12,545.00
Producción de oxígeno (O ₂)	9.07 ton/año	No aplica
Escurrecimiento evitado (m ³)	42.00 m ³ /año	\$1,883.00

Literatura citada

- Alanís Flores, G. J. (2005). El arbolado urbano en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), Nuevo León, México. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad de Nuevo León VIII* (001), 20-32.
- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., Molina-Guerra, V. M., Gárate-Escamilla H. y Sigala, J. Á. (2022). Caracterización del arbolado urbano del centro de Hualahuises, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 13(73). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i73.1271>
- Alcaldía de Valledupar. (2017). *Plan de manejo de arbolado urbano de la ciudad de Valledupar*. Alcaldía de Valledupar. https://tizmogollon.weebly.com/uploads/1/5/4/7/15475746/pmau_31.03.pdf
- Baldocchi, D. D., Hicks, B. B. y Camara, P. (1987). A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces. *Atmospheric Environment*, 21, 91-101.
- Bidwell R., G.S. y Fraser, D. E. (1972). Carbon monoxide uptake and metabolism by leaves. *Canadian Journal of Botany*, 50, 1435-1439.
- Calaza, P., Cariñanos, P., Escobedo, F. J., Schwab J. y Tovar, G. (2018). Crear paisajes urbanos e infraestructura verde. *Unasylya Revista Internacional sobre bosques y actividades e industrias forestales*, 69, 11-21. <https://www.fao.org/3/I8707ES/i8707es.pdf>
- Cohen, D. A., Inagami, S. y Finch, B. (2008). The built environment and collective efficacy. *Health and Place*, 14(2), 198-208.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2022). Enciclovida. <https://enciclovida.mx/>
- CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre). (2023). The Checklist of CITES Species Website. Appendices I, II and III valid from, 4. <https://checklist.cites.org>
- Dávila-Lara, M. A., Aguirre-Calderón, O. A., Jurado-Ybarra, E., Treviño-Garza, E., González-Tagle, M. A. y Trincado, G. (2019). Estructura y diversidad de especies arbóreas en bosques templados de San Luis Potosí, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 399-409. <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2112>
- Dobbs, C., Martínez-Harms, M. J. y Kendal, D. (2017). Ecosystem services. En K. Ferrini, K. van den Bosch y A. Fini (Eds.). *Routledge handbook of urban forestry*. (pp. 51-649). Abingdon, Reino Unido, Routledge.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2019. Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2010, Protección ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo. Modificación al anexo normativo III (14 de noviembre de 2019). D. F., México. 78 p.
- Gallegos R., A., González C., G. A., Cabrera O., R. G., Marcelli S., C. y Hernández Á., E. (2014). Efecto de la recurrencia de incendios forestales en la diversidad arbórea. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(24), 110-125.
- Graciano-Ávila, G., O. A. Aguirre C., E. Alanís R. y J. Lujan-Soto. (2017). Composición, estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del Noreste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 535-542. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1114>
- Gobierno del Estado de Jalisco. 2022. *Área Metropolitana de Guadalajara*. <https://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/guadalajara>
- Hernández T., M. A., Hernández-Álvarez, E., Gallegos R., A., Guzmán P., C. M. y Bertolini V. (2022). Modelo de inventario para el manejo de arbolado urbano empleando un sistema de información geográfica. *e-CUCBA*, 9(17), 211-221. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi17.228>
- Hernández-Álvarez, E., Gallegos R., A., Guzmán P., C. M., Rodríguez R., C. G. y Hernández T., M. A. (2022). Diagnóstico ecológico y fitosanitario de un parque urbano del área metropolitana de Guadalajara, México. *e-CUCBA*, 9(18), 114-122. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi18.247>
- Hill, M. O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54, 427–432.
- IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco). (2021a). *Guadalajara: Diagnóstico municipal Agosto 2021*. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2022/02/Guadalajara.pdf>
- IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco). (2021b). *Zapopan: Diagnóstico municipal Agosto 2021*. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2022/02/Guadalajara.pdf>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2020). *Información por entidad: Jalisco. Número de habitantes*. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/poblacion/default.aspx?tema=me&e=14>

- Leal Elizondo, C. E., Leal Elizondo, N., Alanís Rodríguez, E., Pequeño Ledezma, M. Á., Mora-Olivo, A., y Buendía Rodríguez, E. (2018). Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48), 252-270. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.129>
- López-Coronado, G. A. y J. J. Guerrero-Nuño. 2004. *Ecología Urbana en la Zona Metropolitana de Guadalajara*. Editorial Agata. Guadalajara, México.
- Lovett, G. M. (1994). Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective. *Ecological Applications*, 4, 629-650.
- Maas, J., Van Dillen, S. M., Verheij, R. A., y Groenewegen, P. P. (2009). Social contacts as a possible mechanism behind the relation between green space and health. *Health and Place*, 15(2), 586-595.
- Martínez-Trinidad, T., Hernández López, P., López-López, S. F., y Mohedano Caballero, L. (2021). Diversidad, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado en cuatro parques de Texcoco mediante i-Tree Eco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(67), 203-223. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.880>
- McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., Crowell, A. M. N. y Xiao, Q. (2010). *Northern California coast community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*. PSW-GTR-228. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-228. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
- Missouri Botanical Garden. (2021). *Tropicos* (v3.2.3). <https://www.tropicos.org/home>
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA. Zaragoza, España.
- Nowak, D. J. (1994). Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. En McPherson, E.G., Nowak, D.J., Rowntree, R.A. (Eds.) *Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. Gen. Tech. Rep. NE-186. (pp. 83-94). Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station.
- Nowak, D. J., Hoehn, R. y Crane, D. (2007). Oxygen production by urban trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*, 33(3), 220-226.
- Periódico Oficial del Estado de Jalisco. (2003). NAE-SEMADES-001/2003 que establece los criterios y especificaciones técnicas bajo las cuales se deberá realizar la poda, trasplante y derribo del arbolado en zonas urbanas del estado de Jalisco. <https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/09-04-03-ii.pdf>
- Periódico Oficial del Estado de Jalisco. (2005). NAE-SEMADES-001/2005 que establece los criterios técnicos ambientales para la selección, planeación, forestación y reforestación de especies arbóreas en zonas urbanas del Estado de Jalisco. <https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/12-08-05-iii.pdf>
- Periódico Oficial del Estado de Jalisco. (2017). Ley de Protección, Conservación y Fomento de Arbolado y Áreas Verdes Urbanas del Estado de Jalisco y sus Municipios. <https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/06-06-17-ii.pdf>
- Román-Guillén, L. M., Orantes-García, C., Carpio-Penagos, C. U. D., Sánchez-Cortés, M. S., Ballinas-Aquino, M. L., y Farrera Sarmiento, Ó. (2019). Diagnóstico del arbolado de alineación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Madera y Bosques*, 25(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511559>
- Saavedra-Romero, L. D. L., Hernández-De la Rosa, P., Alvarado-Rosales, D., Martínez-Trinidad, T., y Villa-Castillo, J. (2019). Diversidad, estructura arbórea e índice de valor de importancia en un bosque urbano de la Ciudad de México. *Polibotánica*, 47, 25-37. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.3>
- Santamour, F. S. (1990). Trees for urban planting: diversity, uniformity, and common sense. *Proceedings of the 7th Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance*, 7, 5765.
- Shalisko, V., Villavicencio G., R., Chávez H., A. y Valdivia O., L. (2015). *Ordenamiento de arbolado en áreas verdes de los Centros Universitarios de la U de G en la Zona Metropolitana de Guadalajara*. Universidad de Guadalajara. Zapopan, México.
- The Nature Conservancy. (2017). *Funding trees for health: an analysis of finance and policy actions to enable tree planting for public health*. The Nature Conservancy. Arlington, Estados Unidos.
- USDA Forest Service (United States Department of Agriculture). (2022). i-Tree Eco v6. <https://www.itreetools.org/tools/i-tree-eco>
- Zinke, P. J. (1967). Forest interception studies in the United States. En Sopper, W.E.; Lull, H.W., (Eds.) *Forest Hydrology*. (pp. 137-161) Oxford, UK: Pergamon Press.