



DOI: [10.29298/rmcf.v14i80.1397](https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i80.1397)

Artículo de Investigación

Caracterización arbórea, evaluación de daños y su impacto en la infraestructura en un campus universitario

Tree characterization, damage assessment and its impact on infrastructure in a university campus

Samuel Alberto García García^{1*}, Joel Rascón Solano¹, Ana Karen Vargas Flores¹, Eduardo Alanís Rodríguez², Oscar Alberto Aguirre Calderón², Víctor Manuel Molina Guerra³, Rufino Sandoval García⁴

Fecha de recepción/Reception date: 24 de mayo de 2023.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 6 de octubre de 2023.

¹Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. México.

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. México.

³RENAC, S. A. de C. V., Departamento de Investigación y Manejo de Recursos Naturales. México.

⁴Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal. México.

*Autor para correspondencia: correo-e: Alberto_Garcia23@outlook.com

*Corresponding author; e-mail: Alberto_Garcia23@outlook.com

Resumen

La descripción de la estructura y el conocimiento de los daños físicos y estructurales del arbolado urbano son fundamentales para su mantenimiento y conservación, así como para la planificación urbana y la seguridad pública. El objetivo de este análisis fue caracterizar la estructura arbórea, los daños físicos del arbolado y la obstrucción de las edificaciones que influyen en las áreas verdes de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua en la Ciudad de Delicias, Chihuahua. Se determinaron índices de riqueza (D_{Mg}) y diversidad de especies (H' y D) y se evaluó la estructura horizontal mediante el Índice de Valor de Importancia (IVI). También se analizó la estructura morfológica, el estado actual del arbolado y los daños físicos y estructurales presentes mediante observación directa. Se identificaron 48 especies, 21 nativas y 27 introducidas, con una riqueza de 7.05 (D_{Mg}) y una diversidad de 3.09 (H'). Se registró una densidad de 209 $N\ ha^{-1}$ y una dominancia de 2 318.67 $m^2\ ha^{-1}$. De acuerdo con el IVI , las especies más importantes fueron: *Pinus halepensis*, *Thuja occidentalis*, *Fraxinus uhdei*, *Ligustrum lucidum*, *Sapindus drummondii*, *Platanus occidentalis* y *Morus alba* que representaron 48.61 % del total. Una alta proporción de los árboles (89.25 %) tiene una estructura morfológica aérea deseable, y 92.92 % portan una copa vigorosa que prácticamente no tiene daños. El principal signo de deterioro está asociado a la pérdida de fragmentos de corteza.

Palabras clave: Áreas verdes urbanas, bosque urbano, daños del árbol, estructura horizontal, Índice de Valor de Importancia (IVI), morfolología del arbolado.

Abstract

The description of the structure and the knowledge of the physical and structural damages of urban trees are essential for their maintenance and conservation as well for urban planning and public safety. The objective of this

analysis was to characterize the tree structure, the physical damage of the trees and the obstruction of the buildings that influence the green areas of the *Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua* (Graduate School of Agricultural and Forest Sciences of the Autonomous University of Chihuahua) in the City of *Delicias*, state of *Chihuahua*. Indexes of richness (D_{Mg}) and diversity of species (H' and D) were determined and the horizontal structure was evaluated through the Importance Value Index (IVI). The morphology, the current state of the trees and the physical and structural damage present through direct observation were also analyzed. 48 species were identified, 21 were native and 27 were introduced, exhibiting a richness of 7.05 (D_{Mg}) and a diversity of 3.09 (H'). A density of 209 $N\ ha^{-1}$ and a dominance of 2 318.67 $m^2\ ha^{-1}$ were obtained. According to the IVI , the most important species were: *Pinus halepensis*, *Thuja occidentalis*, *Fraxinus uhdei*, *Ligustrum lucidum*, *Sapindus drummondii*, *Platanus occidentalis* and *Morus alba*, representing 48.61 % of the total. 89.25 % of the trees have a desirable morphological structure, 92.92 % have a vigorous crown and most of them are without damage, where the main deterioration sign turned out to be mainly associated with the loss of bark pieces.

Key words: Urban green areas, urban forest, tree damage, horizontal structure, Importance Value Index (IVI), tree morphology.

Introducción

Los árboles en zonas urbanas proporcionan valiosos beneficios ecológicos, económicos y sociales, además contribuyen a crear una ciudad más habitable y confortable para sus residentes (Dwyer *et al.*, 2000; Allison *et al.*, 2020). La diversidad de especies en los bosques urbanos ofrece protección contra el ataque de plagas y enfermedades, cambio climático y suministro de servicios ecosistémicos (Dallimer *et al.*, 2012; Nowak, 2012; Kendal *et al.*, 2014). Paradójicamente, el arbolado urbano puede producir diferentes daños de acuerdo con su ubicación, fase de crecimiento e intensidad de mantenimiento (Lyytimäki, 2017).

En este sentido, un bosque urbano es la suma de toda la vegetación en una ciudad, incluidos árboles, arbustos, césped y palmas (Escobedo *et al.*, 2011). Un punto de interés en estos factores es la vegetación arbórea. De acuerdo con Alanís *et al.* (2014) en algunas regiones del mundo se han iniciado investigaciones para conocer la diversidad y el estado actual de esas comunidades naturales y artificiales que

influyen en las zonas urbanas. Asimismo, se han desarrollado diversos estudios para determinar el estado sanitario, estético y la relación de las edificaciones con las masas arbóreas urbanas (Chau *et al.*, 2020; Coelho-Duarte *et al.*, 2021; Kim *et al.*, 2021; Mundher *et al.*, 2022). Adicionalmente, pocas investigaciones se refieren a las zonas arboladas de centros universitarios, las cuales se orientan a describir factores ecológicos que representan la estructura del bosque urbano (Islas-Rodríguez *et al.*, 2012; Alanís *et al.*, 2014) y factores de riesgo asociados al arbolado (Pérez *et al.*, 2018).

Por tal motivo, el objetivo de este análisis fue caracterizar la estructura arbórea, los daños físicos del arbolado y la obstrucción de las edificaciones que influyen en las áreas verdes de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua en la ciudad de Delicias, Chihuahua.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el área arbolada de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua (FCAYF-UACH) en Delicias, Chihuahua (Figura 1). La plantación de árboles, tanto nativos como introducidos ha ocurrido de manera gradual desde la fundación de la escuela en 1967 en estacionamientos, explanadas y jardines, y en 2017 se establecieron ejemplares de

Pinus eldarica Medw., durante el II Congreso Nacional de Estudiantes de Ciencias Forestales y Recursos Naturales (Coneciforn).

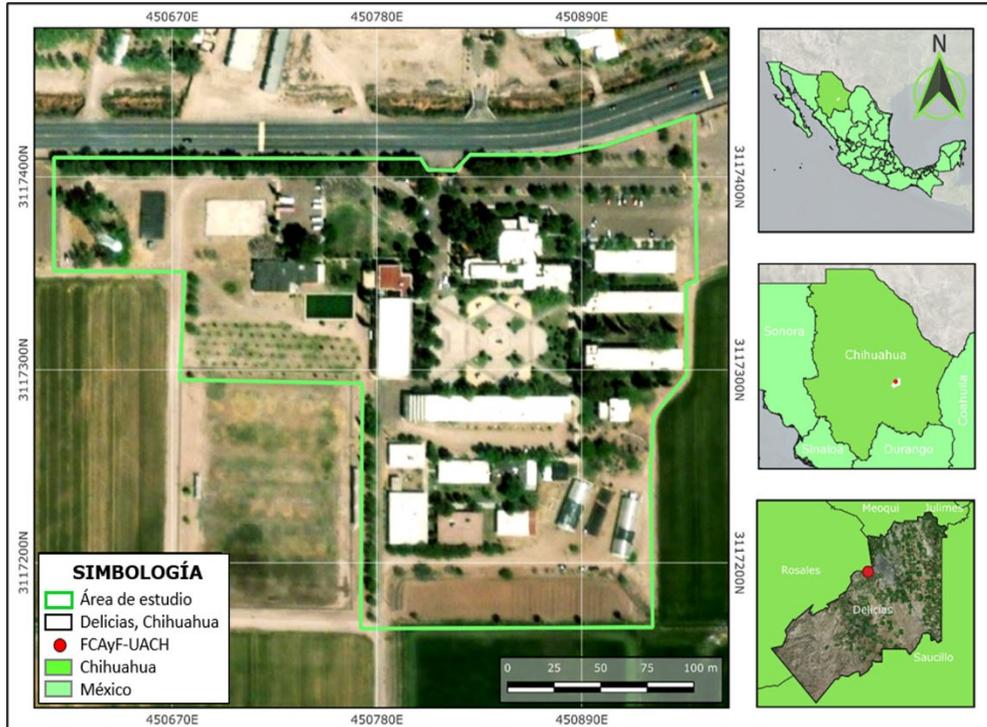


Figura 1. Ubicación de la FCAyF-UACH.

Métodos

El Índice de *Margalef* (D_{Mg}) se utilizó para calcular la riqueza de especies, y la diversidad se evaluó mediante el uso del Índice de *Shannon-Wiener* (H') (Magurran, 2021). Asimismo, se empleó el Índice de Diversidad Verdadera de *Shannon* (D), el

cual considera la abundancia relativa de cada especie en la comunidad y proporciona una medida más precisa de la diversidad (Cuadro 1).

Cuadro 1. Índices utilizados para la descripción de la estructura horizontal, riqueza y diversidad del arbolado urbano de la FCAYF-UACH.

Fórmula	Variables
$D_{MG} = \frac{S-1}{\ln(N)}$	D_{MG} = Índice de <i>Margalef</i> S = Número de especies N = Número total de individuos
$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \times \ln(p_i)$	H' = Índice de <i>Shannon-Wiener</i> S = Número de especies p_i = Proporción de individuos de la especie i
$p_i = n_i/N$	
$D = \exp(H') = \exp \left[- \left(\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \right) \right]$	D = Índice de diversidad verdadera p_i = Abundancia relativa de la i -ésima especie S = Número de especies
$IVI = \frac{\sum_{i=1}^n (AR_i, DR_i, FR_i)}{3}$	IVI = Índice de Valor de Importancia AR_i = Abundancia relativa por especie respecto a la abundancia total DR_i = Dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total FR_i = Frecuencia relativa de la especie i respecto a la frecuencia total

Por otra parte, se evaluó la estructura horizontal mediante el cálculo de la abundancia ($N \text{ ha}^{-1}$), la dominancia ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$) y la frecuencia. Con esta información se determinó el Índice de Valor de Importancia (IVI), el cual puede expresarse en valores porcentuales en una escala del 0 al 100 (Alanís *et al.*, 2020) (Cuadro 1).

La caracterización morfológica del arbolado se llevó a cabo en función de la identificación de variables en tres secciones del árbol (base, fuste y copa). En la determinación de la composición de la base del árbol se consideraron las categorías de base normal, presencia de brotes adventicios, raíces expuestas y raíces presionadas. Se analizó el fuste del árbol con relación a su forma y se identificaron como fuste recto, inclinado, curvo o bifurcación en forma de V. Además, se clasificó el tipo de copa con base en las categorías: colgante, columnar, cónica, esférica, irregular, ovoide o palmiforme (López, 2009).

Adicionalmente, se realizó una descripción detallada del estado actual de los árboles y se les clasificó como: árboles con buena vitalidad, débiles o muertos como lo indican Sabrin *et al.* (2021). Esta forma de catalogar el arbolado facilitó la evaluación de la condición general de los árboles y su capacidad para mantenerse saludables y funcionales.

Por otra parte, la caracterización de los daños físicos y estructurales en el arbolado se registró en las tres secciones del árbol: base, fuste y ramas. Además, se describieron las obstrucciones presentes en la copa causadas por estructuras urbanas. En la base del árbol, se identificaron tres categorías de daños físicos: sin daño, concreto agrietado y concreto levantado de acuerdo con Schütt *et al.* (2022). En el fuste se consideraron el fuste sin daño, la lesión simple y la lesión compleja descritas por Jim y Zhang (2013). En relación con la copa se evaluaron diferentes categorías de daños o defectos de crecimiento, incluida las ramificaciones bajas, la unión codominante, los tallos múltiples, las ramas cruzadas y las ramas pérdidas (Saaverdra-Romero *et al.*, 2019a).

Por último, se describieron las obstrucciones presentes en la copa del árbol. Se identificaron copas sin restricción (copas libres), copas afectadas por la competencia arbórea, la obstrucción de aceras o calles, presencia de cableado eléctrico o alumbrado público, y copas en contacto con edificios (Román-Guillén *et al.*, 2019).

Esta forma de análisis se desarrolló para identificar de manera clara y precisa la condición actual de los árboles, lo que permite definir los tipos de afectaciones al arbolado, los daños más frecuentes, los defectos de crecimiento y las especies de mayor riesgo. Con esa información es posible tomar decisiones para el manejo y mantenimiento más eficientes que aseguren la salud y la seguridad del arbolado urbano y de la ciudadanía (Saavedra-Romero *et al.*, 2019b).

Resultados y Discusión

Diversidad y riqueza de especies

Se identificaron 48 especies arbóreas en la FCAyF-UACH, 21 (43.75 %) nativas y 27 (56.25 %) introducidas; pertenecientes a 35 géneros y 25 familias. Alanís *et al.* (2014) registraron 39 especies en un campus universitario de Linares, Nuevo León, de las cuales 27 (69.23 %) fueron nativas y 12 (30.77 %) introducidas. En esta misma ciudad se evaluó el arbolado urbano, de lo que resultó un total de 41 taxa, 14 (34.15 %) nativas y 27 (65.85 %) introducidas (Leal *et al.*, 2018).

Por otro lado, Saavedra-Romero *et al.* (2019a) estudiaron el Bosque San Juan de Aragón en la Ciudad de México y registraron 12 especies, ocho (66.67 %) nativas y cuatro (33.33 %) introducidas. Alanís-Rodríguez *et al.* (2022) analizaron el arbolado urbano de Hualahuises, Nuevo León, en donde detectaron 46 especies, 25 (55.26 %) nativas y 21 (44.74 %) introducidas. Canizales *et al.* (2020) señalan que el

arbolado urbano de la ciudad de Montemorelos, Nuevo León, se compone de 13 taxones, de ellos seis son nativas (46.15 %) y siete introducidas (53.85 %).

Aunque el número de especies registrado fue mayor a lo descrito en otras áreas urbanas del país, el porcentaje de taxa nativos es menor en todos los bosques urbanos citados previamente, excepto con lo expuesto por Leal *et al.* (2018) para el arbolado de Linares, Nuevo León. Con base en el origen de los árboles en las ciudades, Arriaga *et al.* (1994) sostienen que es preferible utilizar especies nativas, ya que otorgan una identidad auténtica a la población en relación a su distribución original, se adaptan a las condiciones locales, resguardan la diversidad genética, proveen hábitat para la fauna local y presentan menor vulnerabilidad frente a enfermedades y plagas. Sin embargo, autores como Sánchez y Artavia (2013) señalaron que la elección de especies exóticas también es importante en la arborización urbana, porque tienen características significativas como resistencia a la contaminación, tamaño reducido, crecimiento rápido y atractivas floraciones y follajes; además, sugieren que se pueden combinar aproximadamente de 75.00 a 80.00 % de especies nativas con especies exóticas.

El arbolado de la FCAYF-UACH exhibe un índice de riqueza moderadamente alta ($D_{Mg}=7.05$). Este resultado es similar al obtenido por Alanís *et al.* (2014), quienes registraron un valor de 7.62 para el arbolado urbano de un campus universitario en Linares, Nuevo León. Otras áreas con arbolado urbano evaluadas en el norte de México han mostrado una riqueza menor a la aquí calculada. Por ejemplo, Leal *et al.* (2018) en Linares, Nuevo León ($D_{Mg}=5.24$) y Canizales *et al.* (2020) en Montemorelos, Nuevo León ($D_{Mg}=1.19$). La diversidad de especies fue de $H'=3.09$ ($D=21.98$), la cual es similar a lo referido ($H'=3.05$) por Alanís *et al.* (2014) y por Ortiz y Luna (2019) ($H'=3.15$) en zonas urbanas de Linares, Nuevo León y la ciudad de Resistencia, Chaco, Argentina. Esa información indica que el campus evaluado

presenta una riqueza y diversidad moderadamente altas, similar a lo registrado en otras áreas verdes del norte de México.

Índice de Valor de Importancia

Se realizó la medición total de 808 árboles correspondiente a una densidad de 139 $N\ ha^{-1}$ y una dominancia de 2 318.67 $m^2\ ha^{-1}$ (Cuadro 2), lo que corresponde a 4 % de cobertura arbórea del área total evaluada. La frecuencia de especies fue igual en todas, ya que la población en dicho espacio fue censada y no se utilizaron sitios de muestreo. *Thuja occidentalis* L. es la especie que presenta mayor abundancia con 15 $N\ ha^{-1}$ (10.89 %), seguida de *Pinus halepensis* Mill. con 14 (10.27 %). Los taxones con mayor dominancia fueron *Pinus halepensis* y *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh. con 584.66 $m^2\ ha^{-1}$ y 293.00 $m^2\ ha^{-1}$, respectivamente.

De acuerdo con el *IVI* calculado para las 48 especies presentes, hay siete destacadas: *Pinus halepensis*, *Thuja occidentalis*, *Fraxinus uhdei*, *Ligustrum lucidum* W. T. Aiton, *Sapindus drummondii* Hook. & Arn., *Platanus occidentalis* L. y *Morus alba* L.; las cuales en conjunto representan 48.61 % del total y a los 41 taxa restantes constituyen 51.39 %; sin embargo, 21 de ellas tuvieron un *IVI* menor a 4.00 % y 20 más obtuvieron menos de 1.00 %. De forma semejante a lo anterior, diversos autores citan taxones de los géneros *Fraxinus* y *Thuja* entre las más representativas en bosques urbanos del norte de México (Leal *et al.*, 2018; Canizales *et al.*, 2020; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2022).

La presencia recurrente de estas especies sugiere que están bien adaptadas a las condiciones específicas de la región norte del país, particularmente las del género

Fraxinus con especies nativas en el lugar, lo que demuestra su capacidad de adaptación al entorno.

Cuadro 2. Índice de Valor de Importancia (*IVI*) del arbolado urbano de la FCAYF-UACH.

Especie	Nombre común	Origen	Densidad			Dominancia		Frecuencia		<i>IVI</i> (%)
			<i>Abs</i>	(<i>N</i> ha) (%)		(m ² ha ⁻¹) (%)	(ha) (%)			
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	Pino turco	In	83	14	10.27	584.66	25.22	0.17	2.08	12.52
<i>Thuja occidentalis</i> L.	Tuya occidental	In	67	15	10.89	272.12	11.74	0.17	2.08	8.24
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	Fresno	Na	88	12	8.29	293.00	12.64	0.17	2.08	7.67
<i>Ligustrum lucidum</i> W. T. Aiton	Trueno chino	In	64	13	9.41	117.60	5.07	0.17	2.08	5.52
<i>Sapindus drummondii</i> Hook. & Arn.	Jaboncillo	Na	54	11	7.92	132.94	5.73	0.17	2.08	5.25
<i>Platanus occidentalis</i> L.	Sicómoro americano	Na	76	5	3.59	209.50	9.04	0.17	2.08	4.90
<i>Morus alba</i> L.	Morera asiática	In	42	9	6.68	110.46	4.76	0.17	2.08	4.51
<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Huizache	Na	29	7	5.20	103.35	4.46	0.17	2.08	3.91
<i>Pinus eldarica</i> Medw.	Pino de Chipre	In	15	9	6.68	41.38	1.78	0.17	2.08	3.52
<i>Melia azedarach</i> L.	Árbol del paraíso	In	54	7	4.95	48.82	2.11	0.17	2.08	3.05
<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Mezquite dulce	Na	23	3	2.35	24.31	1.05	0.17	2.08	1.83
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	Ciprés mediterráneo	In	40	4	2.85	11.80	0.51	0.17	2.08	1.81
<i>Morus nigra</i> L.	Morera negra asiática	In	7	1	0.62	62.83	2.71	0.17	2.08	1.80
<i>Washingtonia filifera</i> (Gloner ex Kerch., Burv., Pynaert, Rodigas & Hull) de Bary	Palma abanico	Na	10	3	1.86	32.59	1.41	0.17	2.08	1.78
<i>Populus deltoides</i> W. Bartram ex Marshall	Chopo americano	Na	19	1	0.87	51.19	2.21	0.17	2.08	1.72
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Retama	Na	16	3	1.98	20.33	0.88	0.17	2.08	1.65
<i>Cupressus arizonica</i> Greene	Cedro blanco	Na	10	2	1.24	25.90	1.12	0.17	2.08	1.48

<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Eucalipto azul	In	5	2	1.24	13.46	0.58	0.17	2.08	1.30
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Jacaranda	In	8	2	1.49	6.43	0.28	0.17	2.08	1.28
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	Arce sicómoro	In	9	1	0.99	15.34	0.66	0.17	2.08	1.24
<i>Salix alba</i> L.	Sauce blanco	In	12	2	1.11	11.10	0.48	0.17	2.08	1.23
<i>Vachellia constricta</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	Chaparro prieto	Na	8	1	0.99	8.67	0.37	0.17	2.08	1.15
<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch	Pecán	Na	8	1	0.74	13.68	0.59	0.17	2.08	1.14
<i>Pinus pincea</i> Gordon & Glend.	Piñonero llorón	Na	6	1	0.62	15.47	0.67	0.17	2.08	1.12
<i>Lagerstroemia indica</i> L.	Árbol de Júpiter	In	5	1	0.99	5.60	0.24	0.17	2.08	1.10
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	Pino chamaite	Na	4	1	0.50	13.28	0.57	0.17	2.08	1.05
<i>Taxodium mucronatum</i> Ten.	Ahuehuate	Na	3	0	0.25	18.42	0.79	0.17	2.08	1.04
<i>Quercus rubra</i> L.	Roble rojo americano	In	4	1	0.50	11.29	0.49	0.17	2.08	1.02
<i>Prunus armeniaca</i> L.	Chabacano	In	4	1	0.50	8.97	0.39	0.17	2.08	0.99
<i>Celtis pallida</i> Torr.	Granjeno	Na	2	1	0.37	3.66	0.16	0.17	2.08	0.87
<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	Casuarina	In	2	0	0.25	5.55	0.24	0.17	2.08	0.86
<i>Punica granatum</i> L.	Granada cordelina	In	3	1	0.37	2.30	0.10	0.17	2.08	0.85
<i>Thuja orientalis</i> L.	Tuya asiática	In	2	1	0.37	2.00	0.09	0.17	2.08	0.85
<i>Morus alba</i> L. var. <i>pendula</i> Dippel	Péndula	In	3	0	0.25	4.33	0.19	0.17	2.08	0.84
<i>Yucca elata</i> (Engelm.) Engelm.	Cortadillo	Na	3	1	0.37	0.58	0.02	0.17	2.08	0.83
<i>Salix babylonica</i> L.	Sauce llorón	In	2	0	0.25	2.71	0.12	0.17	2.08	0.82
<i>Chilopsis linearis</i> (Cav.) Sweet	Mimbre	Na	2	0	0.25	2.44	0.11	0.17	2.08	0.81
<i>Juglans major</i> (Torr.) A. Heller	Nogal cimarrón	Na	2	0	0.25	2.07	0.09	0.17	2.08	0.81
<i>Citrus × sinensis</i> (L.) Osbeck	Naranja dulce	In	2	0	0.25	1.76	0.08	0.17	2.08	0.80
<i>Yucca carnerosana</i> (Trel.) McKelvey	Palma samadoca	Na	2	0	0.25	0.55	0.02	0.17	2.08	0.78
<i>Yucca gloriosa</i> L.	Yuca brillante	Na	2	0	0.25	0.53	0.02	0.17	2.08	0.78

<i>Rosa chinensis</i> Jacq.	Rosa de castilla	In	2	0	0.25	0.27	0.01	0.17	2.08	0.78
<i>Pyracantha coccinea</i> M. Roem.	Piracanto eurasiático	In	1	0	0.12	2.17	0.09	0.17	2.08	0.77
<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.	Jujube	In	1	0	0.12	1.66	0.07	0.17	2.08	0.76
<i>Schinus molle</i> L.	Pirul	In	1	0	0.12	1.22	0.05	0.17	2.08	0.75
<i>Yucca rostrata</i> Engelm. ex Trel.	Amole del Noreste	Na	1	0	0.12	0.14	0.01	0.17	2.08	0.74
<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	Durazno	In	1	0	0.12	0.14	0.01	0.17	2.08	0.74
<i>Couma macrocarpa</i> Barb. Rodr.	Juansoco	In	1	0	0.12	0.14	0.01	0.17	2.08	0.74
Total			808	139	100.00	2 318.67	100.00	12.73	100.00	100.00

Abs = Absoluta; *In* = Introducida; *Na* = Nativa.

Morfología de la vegetación

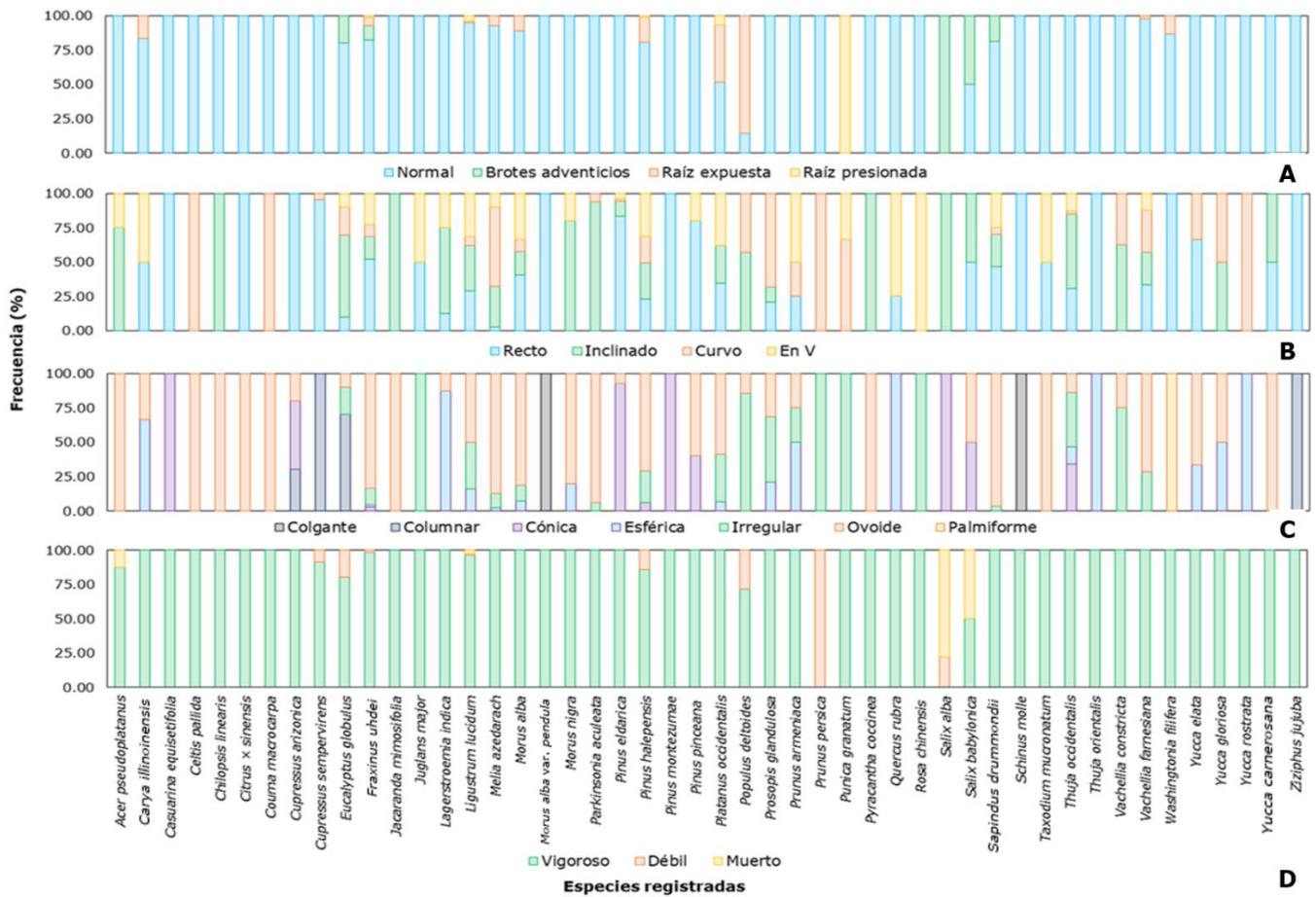
La base de los individuos registrados se reconoció en una condición normal (89.25 %), lo cual se relaciona, principalmente, con suelos cubiertos de césped o vegetación nativa. Las raíces expuestas representaron 4.24 % del total de los árboles considerados en el estudio, resultado que se vincula con suelos compactados. Martins *et al.* (2018) realizaron un estudio en Brasil en el que asociaron la presencia de raíces sanas con suelos cubiertos de césped y con una infiltración de hasta 98.00 % de humedad; en cuanto a los suelos descubiertos, los autores indicaron una infiltración aproximada de 35.00 %; compactación que provoca raíces expuestas y bajo vigor en los individuos.

La forma del fuste de los árboles fue prácticamente recta (38.79 %), seguida de los fustes inclinados (27.38 %), lo que se explica por la baja densidad observada en la

FCAYF-UACH (139 N ha^{-1}); la configuración de fustes inclinados se relaciona con árboles que compiten por la luz o que están plantados cerca de edificios. Moser-Reischl *et al.* (2021) indican que la dimensión y forma de los fustes responde al espacio superficial y subterráneo disponible para su desarrollo en ciudades del sur de Alemania.

La copa de forma ovoide fue la de mayor representatividad en los árboles muestreados (43.62 %), pero la copa menos abundante resultó ser la palmiforme (2.08 %) debido a una baja frecuencia de palmas dentro del campus. Las especies con copa ovoide suelen ser de las más frecuentes en las áreas urbanas, porque los espacios donde se desarrollan tienden a ser abiertos, lo que se prefiere ante la necesidad de proveer sombras amplias que regulen la radiación y temperatura de los espacios. En este sentido, Zaki *et al.* (2020) en un campus universitario ubicado en Malasia destacan que la cobertura arbórea tiene un papel importante por el efecto de enfriamiento que proporcionan, lo que reduce la temperatura de la superficie del suelo.

En la Figura 2 se muestra que 92.92 % de los individuos en la FCAYF-UACH (bajo una evaluación visual) ostentan una vitalidad alta, lo que sugiere que dichos ejemplares tienen una buena capacidad para asimilar nutrientes, resistir la sequía y fortaleza para soportar el ataque de plagas y enfermedades. Asimismo, con este análisis se identificó que existe una alta adaptabilidad y resiliencia por parte de las especies introducidas.



A = Condición de la base del árbol; B = Condición del fuste del árbol; C = Formación de la copa; D = Vigor del follaje.

Figura 2. Caracterización de la morfología y vigor de follaje de las especies registradas en la FCAYF-UACH.

Por otra parte, las especies con los valores de vitalidad baja fueron *Prunus persica* (L.) Batsch, *Salix alba* L. y *Salix babylonica* L., las cuales no se han adaptado exitosamente a las condiciones semidesérticas de la región. El primer taxón se relaciona con climas templados y los siguientes son propios de caudales o terrenos con altos índices de humedad.

En general, las especies arbóreas registradas presentan características apropiadas para proveer servicios ecosistémicos como la regulación de temperatura y purificación del aire. Al respecto, Martins *et al.* (2018) y Sabrin *et al.* (2021) indican que un árbol con buena vitalidad es un ejemplar con mayores probabilidades de permanecer por un periodo más amplio en el ámbito urbano, y generará por mayor tiempo beneficios ambientales y regulación de temperatura a los centros urbanos. Kokkonen *et al.* (2021) y Rodríguez-Santamaría *et al.* (2022) destacan que la inclusión de los árboles en cualquier tipo de planificación o modelado urbanos relacionados con la calidad del aire es crucial, debido a que los árboles con copas amplias plantados en áreas abiertas mejoran la calidad del aire y reducen la movilización de partículas del suelo.

Daños físicos y estructurales

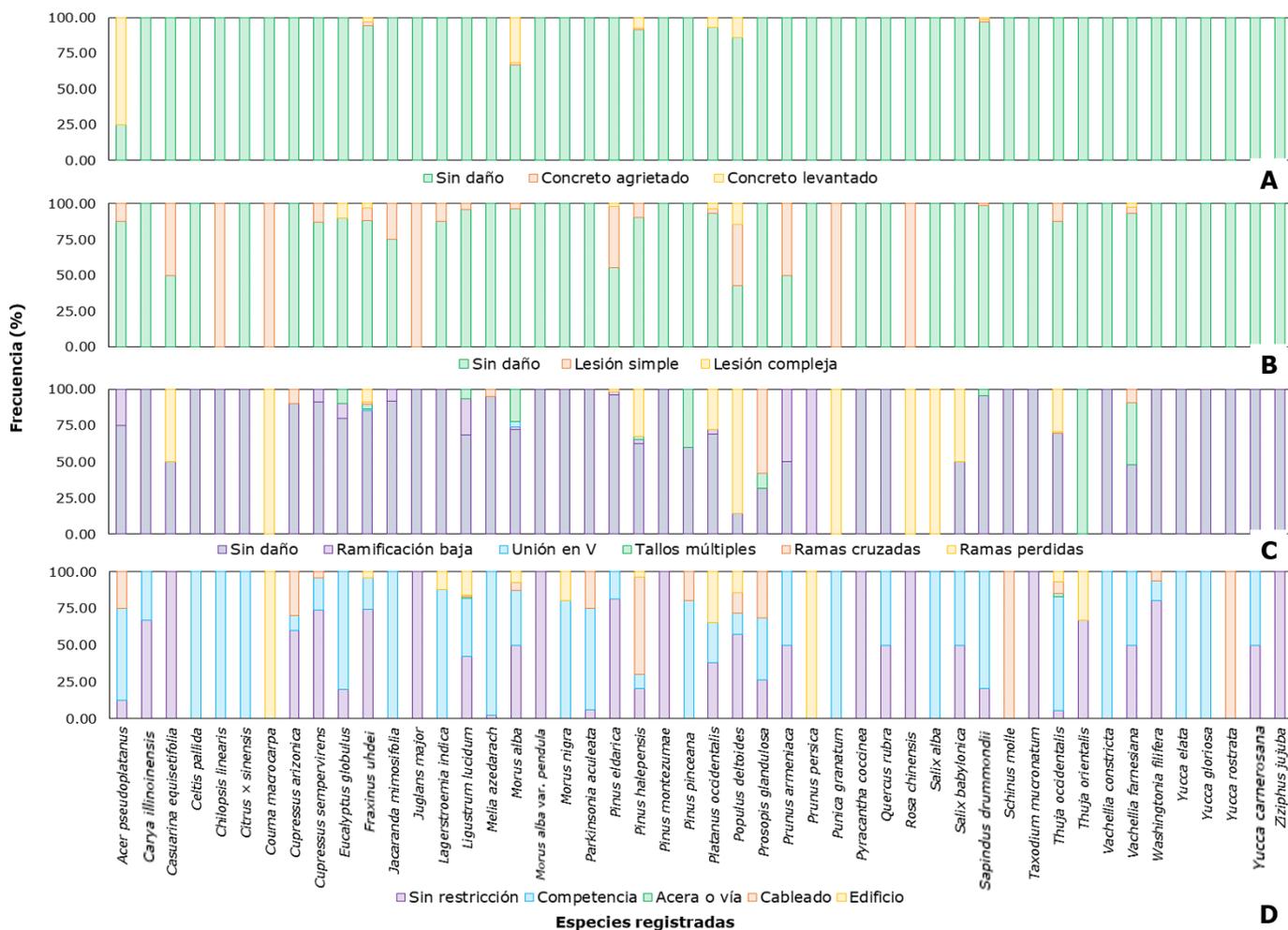
De acuerdo con el análisis realizado sobre la relación raíz-estructura, en su mayoría los árboles de la FCAYF-UACH no presentaron daños (96.94 %); sin embargo, el concreto levantado se verificó en 2.91 % de los casos. Jim y Zhang (2013) realizaron un estudio en Hong Kong y definieron que para las relaciones suelo-raíz, los problemas comunes fueron pavimentación levantada y pavimentación agrietada. Estos daños en la raíz se relacionan, principalmente, con la proximidad de los árboles con las edificaciones. En ese mismo sentido, Jim (2023) atribuye algunos defectos de la base del árbol a los sitios estrechos y sellados debido a que limitan el crecimiento de los árboles y provocan múltiples restricciones físicas. En cambio, Östberg *et al.* (2012) y Schütt *et al.* (2022) señalan que ese tipo de afectaciones se

asocia con las especies plantadas y la limitada disposición de agua para algunas especies.

Los árboles de la FCAYF-UACH presentaron un fuste sano o sin daños en su mayoría (82.67 %), lo que se explica por el manejo regulado dirigido a los individuos existentes en el campus. Los principales daños resultaron ser la pérdida de corteza, pudrición de la madera y golpes mecánicos; lo cual hace referencia a perturbaciones significativas que requieren seguimiento.

Los resultados son similares a los de Velasco *et al.* (2013), quienes identifican que el estado físico del fuste es bueno en 46.08 % de los individuos y el estado sanitario es sano en 80.95 % de los casos registrados en la Ciudad de México. Por su parte, en la ciudad de *Sancti Spíritus* en Cuba, Delgado *et al.* (2021) refirieron que la masa arbórea estudiada exhibió buenas condiciones, ya que 85.28 % de los ejemplares no tuvieron daños visibles en su constitución externa; la afectación en los troncos fue la más frecuente (8.67 %). Zevgolis *et al.* (2022) recomiendan que los árboles con defectos estructurales severos en el fuste deben inspeccionarse frecuentemente y evaluar su eliminación por razones de seguridad humana y riesgo de daños a las propiedades e infraestructuras.

La Figura 3 muestra que, en el campus universitario evaluado en la ciudad de Delicias, la mayor parte de los árboles presentaron una copa sana y sin daños (73.85 %); sin embargo, el daño físico más común fue la pérdida de ramas (14.30 %); detrimento que se debe, principalmente, a las fuertes rachas de viento y a la eliminación parcial de ramas sanas que obstruyen a los edificios, líneas de servicios de electrificación y senderos existentes en el lugar. Los datos de calidad de copa resultaron superiores a los descritos por Velasco *et al.* (2013), quienes determinaron que 19.00 % de los árboles estudiados tuvieron una copa en estado físico bueno, mientras que 20.31 % deberían ser totalmente eliminados.



A = Daños a la base del árbol; B = Daños en el fuste del árbol; C = Daños y desorden de crecimiento en ramas; D = Restricción de la copa del árbol.

Figura 3. Caracterización de daños físicos y estructurales de las especies registradas en la FCAyF-UACH.

Román-Guillén *et al.* (2019) confirman que los árboles muestreados en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas tienen una estructura mala (31.00 %), seguida de regular (28.00 %), pésima (26.00 %) y buena (15.00 %); lo cual sugiere que en su mayoría presentan bifurcaciones, ramas muertas y otros defectos.

Adicionalmente, los desórdenes de crecimiento del arbolado de la FCAYF-UACH responden a malas prácticas de poda y manejo (ramas cruzadas y tallos múltiples). En este mismo sentido, Muñoz *et al.* (2022) mencionan que aplicar una poda errónea en los árboles urbanos es un factor que puede causarle perjuicio y reducir su vitalidad, ya que propicia la aparición de brotes epicórmicos y potenciales daños de descomposición u otros desordenes.

Los individuos de la FCAYF-UACH sin restricciones de copa representan 38.64 % de las existencias totales, lo anterior supone que en su mayoría tienen algún tipo de restricción en dicha estructura. La competencia se calculó en 44.82 % de los casos, seguido de la presencia de cables de electrificación y comunicaciones (9.12 %) y restricción de edificaciones (7.35 %). Al respecto, la competencia entre individuos se relaciona con la selección de especies con desarrollo de fustes múltiples (principalmente los árboles de los géneros *Vachellia* y *Celtis*). Asimismo, la restricción referida con infraestructuras se debe a la mala elección de los sitios de plantación y a la existencia de cables de electricidad sin una adecuada planificación o eliminación total de individuos.

Román-Guillén *et al.* (2019) concluyen que, en la capital del estado de Chiapas, 24.00 % de los individuos interfieren con el cableado eléctrico. Por su parte, Jim y Zhang (2013) estimaron que 7.95 % de los individuos registrados en un estudio en Hong Kong evidencian problemas de desarrollo en la copa; lo cual se asocia, en esencia, a edificios que provocaron un crecimiento desequilibrado o la eliminación parcial de la copa.

Conclusiones

El arbolado de la FCAYF-UACH tiene una riqueza y diversidad de especies moderadamente alta, similar a otras áreas con arbolado urbano del norte de México, con 48 especies identificadas, 21 nativas y 27 introducidas. Las especies más representativas son *Pinus halepensis*, *Thuja occidentalis*, *Fraxinus uhdei*, *Ligustrum lucidum*, *Sapindus drummondii*, *Platanus occidentalis* y *Morus alba*, lo cual influye en la estructura, función y servicios ecosistémicos. La estructura morfológica del arbolado es estética y se relaciona con la formación típica en condiciones naturales con un alto porcentaje de bases de árboles fuertes, fustes rectos y copas ovales. El aspecto del follaje de la mayoría de los árboles es de buena vitalidad, lo que se explica por tratarse de especies nativas y la adaptación de las introducidas a las condiciones climáticas de la zona. En cuanto a los daños físicos y estructurales, la mayoría de las bases de los árboles no presentan daños importantes. Dentro de los daños a la infraestructura, se observan concreto agrietado y levantado en un bajo porcentaje. Algunos árboles tienen lesiones en el fuste y pérdida de ramas en la copa, lo que bien puede deberse a los fuertes vientos. Los desórdenes de crecimiento y la restricción de copa por competencia son problemas frecuentes, que se asocia a podas mal ejecutadas y falta de planificación en la plantación.

Agradecimientos

Un sincero agradecimiento a los estimados profesores-investigadores y a los estudiantes de la Universidad Autónoma de Chihuahua-Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales por su generoso respaldo en la recopilación de datos y la impecable gestión logística durante el desarrollo de esta investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés. El doctor Eduardo Alanís Rodríguez, editor de sección de la Revista Mexicana de Ciencias Forestales, declara no haber participado en el proceso editorial del presente artículo.

Contribución por autor

Samuel Alberto García García, Joel Rascón Solano y Ana Karen Vargas Flores: idea de estudio, registro de datos, interpretación de resultados y redacción; Eduardo Alanís Rodríguez y Oscar Alberto Aguirre Calderón: revisión y análisis de datos y redacción de la discusión; Víctor Manuel Molina Guerra y Rufino Sandoval García: revisión general y redacción de conclusiones.

Referencias

- Alanís, E., J. Jiménez, A. Mora-Olivo, P. Canizales y L. Rocha. 2014. Estructura y composición del arbolado urbano de un campus universitario del noreste de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 1(7):93-101. <http://www.reibci.org/diciembre.html>. (10 de mayo de 2023).
- Alanís R., E., A. Mora O. y J. S. Marroquín de la F. 2020. Muestreo ecológico de la vegetación. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, NL, México. 252 p.
- Alanís-Rodríguez, E., A. Mora-Olivo, V. M. Molina-Guerra, H. Gárate-Escamilla y J. Á. Sigala-Rodríguez. 2022. Caracterización del arbolado urbano del centro de Hualahuises, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 13(73):29-49. Doi: 10.29298/rmcf.v13i73.1271.
- Allison, R. B., X. Wang and C. A. Senalik. 2020. Methods for nondestructive testing of urban trees. *Forests* 11(12):1341. Doi: 10.3390/f11121341.

- Arriaga, V., V. Cervantes y A. Vargas-Mena. 1994. Manual de reforestación con especies nativas: Colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas. Secretaría de Desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología y Universidad Nacional Autónoma de México. Cuauhtémoc, México D. F., México. 179 p.
- Canizales V., P. A., E. Alanís R., V. A. Holguín E., S. García G. y A. C. Chávez C. 2020. Caracterización del arbolado urbano de la ciudad de Montemorelos, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11(62):111-135. Doi: 10.29298/rmcf.v11i62.768.
- Chau, N. L., C. Y. Jim and H. Zhang. 2020. Species-specific holistic assessment of tree structure and defects in urban Hong Kong. *Urban Forestry & Urban Greening* 55:126813. Doi: 10.1016/j.ufug.2020.126813.
- Coelho-Duarte, A. P., G. Daniluk-Mosquera, V. Gravina, Ó. Vallejos-Barra and M. Ponce-Donoso. 2021. Tree risk assessment: Component analysis of six visual methods applied in an urban park, Montevideo, Uruguay. *Urban Forestry & Urban Greening* 59:127005. Doi: 10.1016/j.ufug.2021.127005.
- Dallimer, M., K. N. Irvine, A. M. J. Skinner, Z. G. Davies, ... and K. J. Gaston. 2012. Biodiversity and the feel-good factor: understanding associations between self-reported human well-being and species richness. *BioScience* 62(1):47-55. Doi: 10.1525/bio.2012.62.1.9.
- Delgado F., L. A., A. Rabassa P., A. G. Trocones B. e I. Orrantia C. 2021. Diagnóstico del arbolado urbano en una sección de la ciudad de Sancti Spíritus. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 9(2):285-301. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/703/pdf>. (11 de mayo de 2023).
- Dwyer, J. F., D. J. Nowak, M. H. Noble and S. M. Sisinni. 2000. Connecting people with ecosystems in the 21st century: an assessment of our nation's urban forests. United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Portland, OR, United States of America. 483 p.

- Escobedo, F. J., T. Kroeger and J. E. Wagner. 2011. Urban forests and pollution mitigation: analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental pollution* 159(8-9):2078-2087. Doi: 10.1016/j.envpol.2011.01.010.
- Islas-Rodríguez, L., T. Martínez-Trinidad y M. Hernández-Martínez. 2012. Principales especies arbóreas en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados. *Ciencias Agrícolas Informa* 21(2):97-105. https://www.researchgate.net/publication/305681116_Principales_especies_arboreas_en_el_campus_Montecillo_del_Colegio_de_Postgraduados. (11 de mayo de 2023).
- Jim, C. Y. 2023. Rootability confinement and soil-husbandry solutions for urban trees in sealed and insular sites. *Plant and Soil* 483(1):153-180. Doi: 10.1007/s11104-022-05728-3.
- Jim, C. Y. and H. Zhang. 2013. Defect-disorder and risk assessment of heritage trees in urban Hong Kong. *Urban Forestry & Urban Greening* 12(4):589-596. Doi: 10.1016/j.ufug.2013.06.003.
- Kendal, D., C. Dobbs and V. I. Lohr. 2014. Global patterns of diversity in the urban forest: is there evidence to support the 10/20/30 rule? *Urban Forestry & Urban Greening* 13(3):411-417. Doi: 10.1016/j.ufug.2014.04.004.
- Kim, Y., H. Rahardjo and D. L. Tsen-Tieng. 2021. Mechanical behavior of trees with structural defects under lateral load: A numerical modeling approach. *Urban Forestry & Urban Greening* 59:126987. Doi: 10.1016/j.ufug.2021.126987.
- Kokkonen, T. V., Y. Xie, P. Paasonen, S. Gani, ... and A. Ding. 2021. The effect of urban morphological characteristics on the spatial variation of PM_{2.5} air quality in downtown Nanjing. *Environmental Science: Atmospheres* 1(7):481-497. Doi: 10.1039/D1EA00035G.
- Leal E., C. E., N. Leal E., E. Alanís R., M. Á. Pequeño L., A. Mora-Olivo y E. Buendía R. 2018. Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(48):252-270. Doi: 10.29298/rmcf.v8i48.129.

- López R., G. F. 2009. *Ecofisiología de árboles*. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Edo. Méx., México. 572 p.
- Lyytimäki, J. 2017. Disservices of urban trees. In: Ferrini, F., K. van den Bosch C. C. and F. Alesio (Edits.). *Routledge handbook of urban forestry*. Routledge. New York, NY, United States of America. pp. 164-176.
- Magurran, A. E. 2021. Measuring biological diversity. *Current Biology* 31(19):R1174–R1177. Doi: 10.1016/j.cub.2021.07.049.
- Martins N., E., L. M. dos Santos, F. G. König B., E. J. Brun, S. M. Krefta y R. L. Grisi M. 2018. Condiciones de los árboles urbanos: un estudio de revisión. *Revista de Ciencia y Tecnología* 20(30):56-61. <https://www.fceqyn.unam.edu.ar/recyt/index.php/recyt/article/view/252/179>. (19 de mayo de 2023).
- Moser-Reischl, A., T. Rötzer, S. Pauleit and H. Pretzsch. 2021. Urban tree growth characteristics of four common species in south Germany. *Arboriculture & Urban Forestry* 47(4):150-169. Doi: 10.48044/jauf.2021.015.
- Mundher, R., S. A. Bakar, M. Al-Helli, H. Gao, ... and A. Aziz. 2022. Visual aesthetic quality assessment of urban forests: A conceptual framework. *Urban Science* 6(4):79. Doi: 10.3390/urbansci6040079.
- Muñoz G., L., R. Pérez M., J. F. Reséndiz M. y R. Reyes R. 2022. Caracterización de árboles de riesgo en el Parque Nacional Viveros de Coyoacán, Ciudad de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 13(72):201-222. Doi: 10.29298/rmcf.v13i72.1227.
- Nowak, D. J. 2012. Contrasting natural regeneration and tree planting in fourteen North American cities. *Urban Forestry & Urban Greening* 11(4):374-382. Doi: 10.1016/j.ufug.2012.02.005.
- Ortiz, N. L. y C. V. Luna. 2019. Diversidad e indicadores de vegetación del arbolado urbano en la ciudad de Resistencia, Chaco, Argentina. *Agronomía & Ambiente, Revista de la Facultad de Agronomía UBA* 39(2):54-68.

<http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/97/93>. (13 de mayo de 2023).

Östberg, J., M. Martinsson, Ö. Stål and A. M. Fransson. 2012. Risk of root intrusion by tree and shrub species into sewer pipes in Swedish urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening* 11(1):65-71. Doi: 10.1016/j.ufug.2011.11.001.

Pérez M., R., A. Santillán F., F. D. Narváez Á., B. Galeote L. y N. Vásquez B. 2018. Riesgo del arbolado urbano: estudio de caso en el Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(45):208-228. Doi: 10.29298/rmcf.v9i45.143.

Rodríguez-Santamaría, K., C. A. Zafra-Mejía and H. A. Rondón-Quintana. 2022. Macro-morphological traits of leaves for urban tree selection for air pollution biomonitoring: A review. *Biosensors* 12(10):812. Doi: 10.3390/bios12100812.

Román-Guillén, L. M., C. Orantes-García, C. U. del Carpio-Penagos, M. S. Sánchez-Cortés, M. L. Ballinas-Aquino y Ó. Farrera S. 2019. Diagnóstico del arbolado de alineación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Madera y Bosques* 25(1):e2511559. Doi: 10.21829/myb.2019.2511559.

Saavedra-Romero, L. de L., D. Alvarado-Rosales, T. Martínez-Trinidad and P. Hernández-de la Rosa. 2019a. Identification of defects and risks in trees of San Juan de Aragon Forest, Mexico City. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 25(1):31-47. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2018.06.049.

Saavedra-Romero, L. de L., P. Hernández-de la Rosa, D. Alvarado-Rosales, T. Martínez-Trinidad y J. Villa-Castillo. 2019b. Diversidad, estructura arbórea e Índice de Valor de Importancia en un bosque Urbano de la Ciudad de México. *Polibotánica* (47):25-37. Doi: 10.18387/polibotanica.47.3.

Sabrin, S., M. Karimi, R. Nazari, J. Pratt and J. Bryk. 2021. Effects of different urban-vegetation morphology on the canopy-level thermal comfort and the cooling benefits of shade trees: Case-study in Philadelphia. *Sustainable Cities and Society* 66:102684. Doi: 10.1016/j.scs.2020.102684.

Sánchez, G. y R. Artavia. 2013. Inventario de la foresta en San José: Gestión ambiental urbana. *Ambientico* (232-233):26-33. https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/24175/232-233_26-33.pdf. (14 de mayo de 2023).

Schütt, A., J. N. Becker, A. Gröngroft, S. Schaaf-Titel and A. Eschenbach. 2022. Soil water stress at young urban street-tree sites in response to meteorology and site parameters. *Urban Forestry & Urban Greening* 75:127692. Doi: 10.1016/j.ufug.2022.127692.

Velasco B., E., E. N. Cortés B., A. González H., F. Moreno S. y H. M. Benavides M. 2013. Diagnóstico y caracterización del arbolado del bosque de San Juan de Aragón. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(19):102-112. Doi: 10.29298/rmcf.v4i19.382.

Zaki, S. A., N. E. Othman, S. W. Syahidah, F. Yakub, ... and A. S. Mohd S. 2020. Effects of urban morphology on microclimate parameters in an urban university campus. *Sustainability* 12(7):2962. Doi: 10.3390/su12072962.

Zevgolis, Y. G., M. Z. Alsamail, T. Akriotis, P. G. Dimitrakopoulos and A. Y. Troumbis. 2022. Detecting, quantifying, and mapping urban trees' structural defects using infrared thermography: Implications for tree risk assessment and management. *Urban Forestry & Urban Greening* (75):127691. Doi: 10.1016/j.ufug.2022.127691.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.