

Health condition of *Ficus microcarpa* L. f. assessed using crown condition indicators and tree damage in Cuernavaca, Morelos

Estado de salud de *Ficus microcarpa* L. f. evaluado mediante los indicadores condición de copa y daños al arbolado en Cuernavaca, Morelos

Xochiquetzaly G. Salazar-García^{1*}; Tomás Martínez-Trinidad²; Dionicio Alvarado-Rosales¹; Luz de L. Saavedra-Romero¹; Armando Equihua-Martínez¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado en Fitosanidad. km 36.5 Carretera México-Textcoco, col. Montecillo. C. P. 56230. Textcoco, Estado de México, México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado en Ciencias Forestales. km 36.5 Carretera México-Textcoco, col. Montecillo. C. P. 56230. Textcoco, Estado de México, México.

*Corresponding author: xochiquetzaly.sg@gmail.com; tel.: +52 777 387 1193.

Abstract

Introduction. Due to practicality and reliability, the indicators 'crown condition' and 'tree damage' have been used to assess the health condition of urban trees.

Objective. To determine the health condition of *Ficus microcarpa* L. f. trees using the indicators 'crown condition' and 'tree damage' in Cuernavaca, Morelos.

Materials and methods. A total of 387 *F. microcarpa* trees were assessed for the following variables: live crown ratio (LCr), crown density, crown dieback, foliage transparency, and the presence of biotic, abiotic, and anthropogenic damage.

Results and discussion. In Cuernavaca, *Ficus microcarpa* trees have heights ranging from 3 to 5 m and diameters between 20 and 40 cm, classified as young to mature trees. Health condition of trees was considered good, with an average LCR of 70 %, crown diameter of 65 %, and dieback of 5 %, except for foliage transparency, which, at 35 %, classified the trees into a moderate health category. The most frequent tree damage was reduced living space (55.21 %) and topiary (18 %). Only 32 dead trees (8.26 %) were recorded.

Conclusion. Crown condition and tree damage indicators were used to determine *F. macrocarpa* health. Foliage transparency is an early stress indicator that can be attributed to damage agents, mostly of abiotic and anthropogenic origin.

Resumen

Introducción. Por su practicidad y confiabilidad, los indicadores 'condición de copa' y 'daños al arbolado' han servido para determinar, de manera rápida, el estado de salud del arbolado en zonas urbanas.

Objetivo. Determinar el estado de salud de los árboles de *Ficus microcarpa* L. f. mediante los indicadores 'condición de copa' y 'daños al arbolado' en Cuernavaca, Morelos.

Materiales y métodos. En 387 árboles de *F. microcarpa* se midieron las variables proporción de copa viva (PCV), densidad de copa, muerte regresiva y transparencia de follaje, así como la presencia de daños bióticos, abióticos y antropogénicos.

Resultados y discusión. En la ciudad de Cuernavaca predominan árboles de *Ficus microcarpa* con alturas de 3 a 5 m y diámetro entre los 20 y 40 cm, catalogados como árboles jóvenes-maduros. El estado de salud del arbolado se considera bueno con una media de PCV de 70 %, diámetro de copa de 65 % y muerte regresiva de 5 %, a excepción de la transparencia del follaje con 35 %, la cual clasificó a los árboles en una categoría de salud moderada. Los daños al arbolado más frecuentes fueron el espacio vital reducido (55.21 %) y la poda topiaria (18 %). Solo se registraron 32 árboles muertos (8.26 %).

Conclusión. Los indicadores de condición de copa y daños al arbolado contribuyeron a determinar la salud de *F. microcarpa*. La transparencia del follaje es un indicador de estrés temprano que puede atribuirse a los agentes de daño, en su mayoría, de origen abiótico y antropogénico.

Keywords: urban trees; reduced living space; dieback; topiary; foliage transparency.

Palabras clave: árboles urbanos; espacio vital reducido; muerte regresiva; poda topiaria; transparencia de follaje.

Introduction

In recent years, trees in urban areas have gained importance due to the multiple benefits they provide to the population (Houlden et al., 2021; Nesbitt et al., 2017). Therefore, the conservation and maintenance of green spaces has become a key objective in sustainable urban development plans (United Nations [UN], 2023). The urban environment often increases stress on trees and shortens their lifespan; thus, the periodic monitoring and evaluation of urban trees play a crucial role in decision-making, helping to develop effective management plans that maintain tree health and, in turn, provide greater benefits to the population (Fang et al., 2023; Mullaney et al., 2015).

Several methods have been proposed to assess the condition of trees, such as “The Guide for Plant Appraisal” (Council of Tree and Landscape Appraisers [CTLA], 2018), the i-Tree ECO program (USDA Forest Service, 2013), the “Forest Inventory Analysis” (USDA Forest Service, 2016), and the “Urban Tree Health” method (Bond, 2021). In Mexico, forest health has been a topic of study primarily since 2012, when the National Forest and Soil Inventory (INFYS) and the Health Management Division of Mexico’s National Forestry Commission (CONAFOR) agreed to begin measuring two forest health indicators: ‘crown condition’ and ‘tree damage’ (Alvarado-Rosales et al., 2021). These indicators have been used to determine the health condition of trees by means of quick, practical, cost-effective, and reliable assessments in urban areas (Saavedra-Romero et al., 2016; Zaragoza Hernández et al., 2015).

In Mexico, the *Ficus* genus is one of the most used for street trees in parks, gardens, and public spaces (Alanís-Rodríguez et al., 2023; Martínez-Trinidad et al., 2021). In Cuernavaca, Morelos, about 89 % of the trees are exotic species, and *Ficus microcarpa* L. f. is among the four species that make up 76 % of the urban tree population (Ramírez-Rodríguez et al., 2020). Given the abundance of *F. microcarpa* in the city of Cuernavaca, this study aims to assess the health condition of this species in the urban area using the indicators ‘crown condition’ and ‘tree damage.’

Materials and Methods

Study area

The study was carried out from July 2022 to February 2023 in the municipality of Cuernavaca, in the northwestern state of Morelos (19° 01' 29" N y 99° 20' 31" W).

A map of the municipality’s urban area was created (Figure 1), outlining its three characteristic climatic regions: north = C(w₂) temperate subhumid; center = A(C)

Introducción

En los últimos años, los árboles en las ciudades han cobrado relevancia debido a los múltiples beneficios que proporcionan a la población (Houlden et al., 2021; Nesbitt et al., 2017). Por ello, la conservación y mantenimiento de las áreas verdes se ha vuelto un objetivo en planes de desarrollo urbano sostenible (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2023). El entorno urbano suele aumentar el estrés sobre los árboles y reducir su periodo de vida; por tanto, el monitoreo y la evaluación periódica del arbolado contribuyen en la toma de decisiones para el desarrollo de un buen plan de manejo que mantenga el buen estado de salud arbóreo, de tal modo que proporcione mayores beneficios a la población (Fang et al., 2023; Mullaney et al., 2015).

Para evaluar la condición de los árboles se han propuesto diversos métodos, tales como: “La guía para la valoración de las plantas” (Council of Tree and Landscape Appraisers [CTLA], 2018), el programa i-Tree ECO (USDA Forest Service, 2013), el “Análisis de Inventario Forestal” (USDA Forest Service, 2016) y el método de “Salud del arbolado urbano” (Bond, 2021). En México, la salud forestal ha sido tema de estudio principalmente desde 2012, año en que el Inventario Nacional Forestal y de Suelo (INFYS) y la Gerencia de Sanidad de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) acordaron iniciar la medición de dos indicadores de salud forestal denominados ‘condición de copa’ y ‘daños al arbolado’ (Alvarado-Rosales et al., 2021). Estos han permitido determinar el estado de salud de los árboles a través de evaluaciones rápidas, prácticas, económicas y confiables en zonas urbanas (Saavedra-Romero et al., 2016; Zaragoza Hernández et al., 2015).

En México, el género *Ficus* es uno de los más utilizados como árboles de alineación en parques, jardines y áreas públicas (Alanís-Rodríguez et al., 2023; Martínez-Trinidad et al., 2021). En Cuernavaca, Morelos, aproximadamente 89 % de los árboles son de origen exótico y *Ficus microcarpa* L. f. se encuentra entre las cuatro especies que componen 76 % del arbolado (Ramírez-Rodríguez et al., 2020). Debido a la abundancia de *F. microcarpa* en la ciudad de Cuernavaca, el objetivo del presente estudio fue evaluar el estado de salud de los árboles de dicha especie en la zona urbana, utilizando los indicadores ‘condición de copa’ y ‘daños al arbolado’.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo de julio del 2022 a febrero del 2023 en el municipio de Cuernavaca, en el noroeste del estado de Morelos (19° 01' 29" LN y 99° 20' 31" LO).

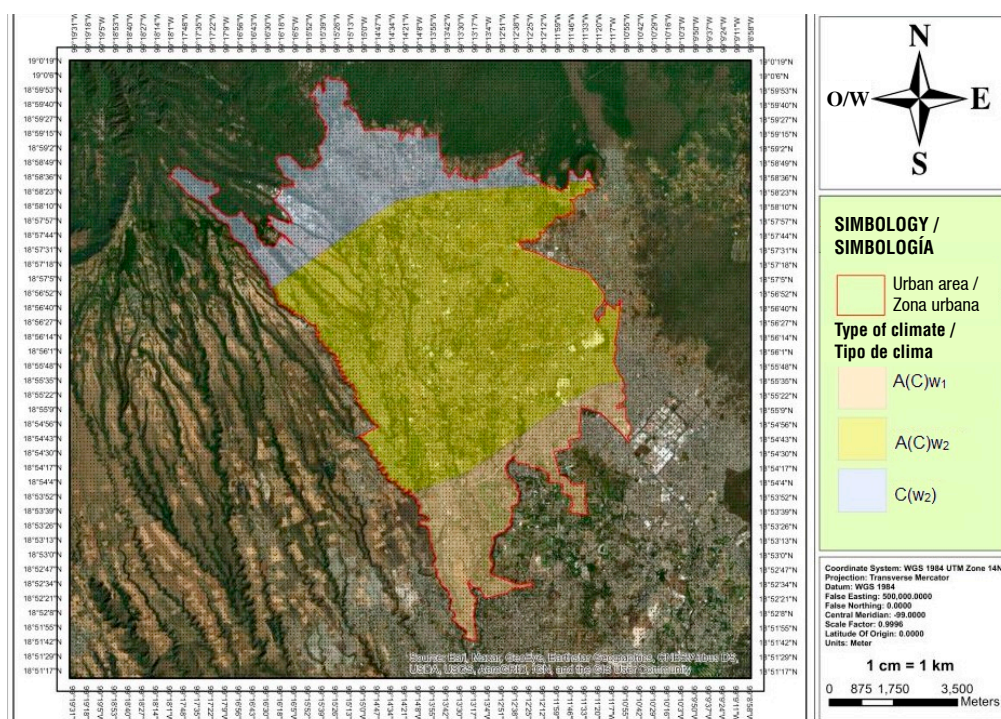


Figure 1. Map of the study area in the urban zone of Cuernavaca, Morelos, with divisions according to the type of climate. The area marked in yellow, corresponding to the A(C)w₂ climate, was selected for the health assessment of *Ficus macrocarpa*.

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio en la zona urbana de Cuernavaca, Morelos, con divisiones por tipo de clima. La zona señalada con amarillo, correspondiente al clima A(C)w₂, fue seleccionada para la evaluación de salud de *Ficus macrocarpa*.

w₂ warm subhumid (Group C); and south = A(C)w₁ warm subhumid (Group C). The central region was selected as the study area because it had the highest number of *F. microcarpa* individuals. The map was divided into 1-ha square plots, and a survey was conducted using the Google Earth® georeferencing system to select plots containing at least one individual of the target species. A total of 3 436 plots were identified, of which 98 were evaluated, representing a sampling intensity of 2.85 %.

Tree measurement variables

Total tree height (m) and crown length (m) in the vertical direction were measured using a clinometer (Suunto PM-5). Diameter at breast height (DBH) of trees with DBH ≥ 7.5 cm (measured at 130 cm above ground level) was recorded using a diameter tape (Forestry Suppliers Model 283d). Crown condition and health categories (Table 1) were evaluated following the sampling procedures of Randolph and Bechtold (2018), Bechtold et al. (1992), and Schomaker et al. (2007).

The measured variables were as follows: live crown ratio (LCR), crown density, foliage transparency, and dieback. LCR was measured as a percentage and determined as

Se hizo un mapa correspondiente a la zona urbana del municipio (Figura 1), delimitando las tres regiones climáticas características: norte = C(w₂) templado subhúmedo; centro = A(C)w₂ semicálido subhúmedo del grupo C y sur = A(C)w₁ semicálido subhúmedo del grupo C. La zona centro se seleccionó como área de trabajo, debido a que presentó mayor número de individuos de *F. microcarpa*. El mapa se dividió en parcelas cuadradas de 1 ha y con ayuda del sistema de georreferenciación Google Earth® se hizo un recorrido para la selección de parcelas en las que hubiera al menos un individuo de la especie de interés. Se obtuvieron 3 436 parcelas y se evaluaron 98 que corresponde a una intensidad de muestreo de 2.85 %.

Variables dasométricas

Con un clinómetro (Suunto PM-5) se midió la altura total (m) y longitud de copa (m) en sentido vertical. El diámetro normal (Dn) de los árboles con Dn ≥ 7.5 cm (a 130 cm sobre el nivel del suelo) se midió con ayuda de una cinta diamétrica (Forestry Suppliers Modelo 283d). El indicador condición de copa y las categorías de salud (Cuadro 1) se evaluaron de acuerdo con los procedimientos de muestreo de Randolph y Bechtold (2018), Bechtold et al. (1992) y Schomaker et al. (2007).

Table 1. Variables and health categories of the crown condition indicator (Bechtold et al., 1992; Randolph & Bechtold, 2018) for natural forests in the southern United States.

Cuadro 1. Variables y categorías de salud del indicador condición de copa (Bechtold et al., 1992; Randolph & Bechtold, 2018) para bosques naturales del sur de Estados Unidos de América.

Variable	Health categories / Categoría de salud
Live Crown ratio / Proporción de copa viva	>50 % good; 31-50 % moderate; <30 % poor / >50 % buena; 31-50 % moderado; <30 % pobre
Crown density / Densidad de copa	0-20 % poor; 21-50 % average and 51-100 % good / 0-20 % pobre; 21-50 % promedio y 51-100 % buena
Foliage transparency / Transparencia de follaje	0-30 % standard; 31-50 % moderate and 51-100 % severe / 0-30 % normal; 31-50 % moderado y 51-100 % severo
Dieback / Muerte regresiva	0-5 % none; 6-20 % light; 21-50 % moderate; 51-100 % severe / 0-5 % ninguno; 6-20 % ligero; 21-50 % moderado; 51-100 % severo

the coefficient between live crown length (measured vertically) to the total tree height. Crown density was assessed in 5 % intervals by estimating the quantity of branches, foliage, and reproductive structures that block light passing through the crown. Foliage transparency was measured based on the amount of light passing through the foliated living rate of the crown. Dieback was estimated in 5 % intervals, considering the recent mortality of branches, represented by fine twigs, starting at the terminal part of the tree towards the inner part of the tree. For the assessment of crown density and foliage transparency, the evaluation card proposed by Schomaker et al. (2007) was used (Figure 2).

Tree damage

Trees from 98 randomly selected plots were evaluated by observing the main damages, taking as a guide the manual of the of the INFYS (CONAFOR, 2017); the record was adjusted to the most frequently observed damages. All those factors that negatively affect tree development in the short or long term were considered.

Data analysis

The data from 387 trees were recorded in a Microsoft Excel™ database, and the analysis was conducted using descriptive statistics. Due to the type of data, Kolmogorov-Smirnov and Lilliefors tests were performed at a significance level of 0.05 to determine whether the data followed a normal distribution. Based on the results of these tests, histograms were generated using Sturges' rule. These analyses were carried out using R Studio (R Core Team, 2020).

Results and Discussion

A total of 32 dead trees (8.26 %) were recorded out of 387 *F. microcarpa* trees. The significance values of all variables were lower than the established threshold

Las variables medidas fueron las siguientes: proporción de copa viva (PCV), densidad de copa, transparencia de follaje y muerte regresiva. La PCV se midió en porcentaje y se determinó como el cociente entre la longitud de la copa viva (medida de forma vertical) y la longitud total del árbol. La densidad de copa se evaluó en intervalos de 5 % mediante la estimación de la cantidad de ramas de la copa, follaje y estructuras reproductivas que bloquean la luz que atraviesa la copa. La transparencia del follaje se midió a través de la cantidad de luz que pasa a través de la porción viva y foliada de la copa. La muerte regresiva se estimó en intervalos del 5 %; para ello, se consideró la mortalidad reciente de ramas, representada por ramillas finas, comenzando en la parte terminal del árbol hacia la parte interna. Para la evaluación de densidad de copa y transparencia del follaje se utilizó la tarjeta propuesta por Schomaker et al. (2007) (Figura 2).

Daños al arbolado

Los árboles de 98 parcelas seleccionadas de manera aleatoria se evaluaron mediante la observación de los principales daños, tomando como guía el manual del INFYS (CONAFOR, 2017); el registro se ajustó a los daños observados con mayor frecuencia. Se consideraron todos aquellos factores que afectan negativamente el desarrollo del árbol a corto o largo plazo.

Análisis de datos

Con la información de las variables medidas en 387 árboles se creó una base de datos en Microsoft Excel™ y se realizó el análisis a través de estadísticos descriptivos. Debido al tipo de datos, se hicieron pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Lilliefors, a un nivel de significancia de 0.05, para conocer si estos se ajustaban o no a una distribución normal. En función del resultado de estas pruebas, se realizaron histogramas mediante la regla de Sturges. Estos análisis se realizaron con el programa R studio (R Core Team, 2020).

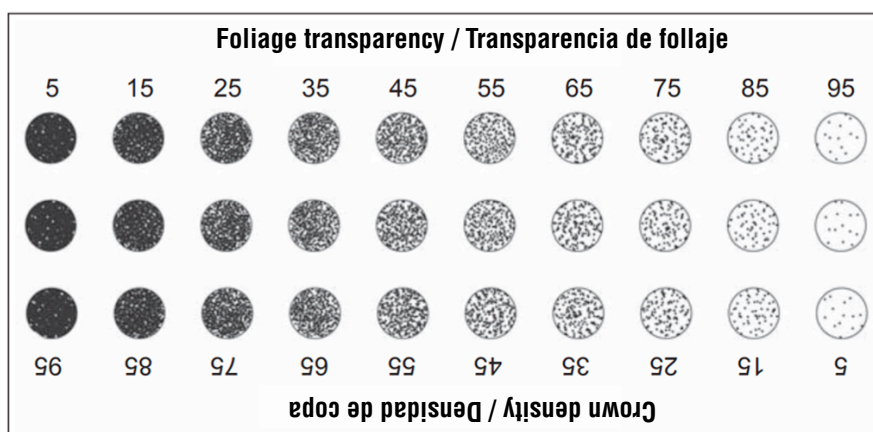


Figure 2. Card proposed by Schomaker et al. (2007) for the calculation of crown density and crown transparency.

Figura 2. Tarjeta propuesta por Schomaker et al. (2007) para el cálculo de la densidad de copa y transparencia de follaje.

($\alpha = 0.05$), indicating that the data were not normally distributed. Figure 3 shows the frequencies of tree measurement variables. The heights were distributed into 11 classes; the most frequent class, comprising 27 % of the trees, was between 3 and 5 m, while the least frequent class (1.12 %) corresponded to trees between 18 and 22 m. On the other hand, the diameters were divided into 10 classes; trees with diameters between 20.2 and 40.4 cm were the most frequent (39 %), while those with diameters greater than 60 cm exceeded 27 %. The classes 8 (141 to 162 cm) and 10 (182 to 202 cm) had the fewest individuals. Regarding crown length, 10 classes were obtained, with the first and second classes being the most frequent, with crown lengths of 1.8 m (14.7 %) and 3.63 m (37.8 %), respectively.

Tree heights in the city of Cuernavaca are similar to those recorded for trees in other urban areas of Mexico (Román-Guillén et al., 2019), where most trees have a height of around 5 m, due to pruning conducted to prevent interference with electrical wiring/overhead cables (Amer et al., 2023). It has also been reported that the average diameter of *F. microcarpa* trees in urban streets is 32.7 ± 15.6 cm, and the crown length is 4.59 ± 1.7 m (Amer et al., 2023), which matches the measurements of the trees in Cuernavaca. Height and diameter data mostly correspond to young to mature trees. Tree diameter is associated with age; smaller diameters correspond to younger trees (McPherson, 2016) and functional trees that provide more benefits to the population.

The strength and vitality of a tree are directly correlated with its stem and structure, so healthy trees are better able to withstand external damage and stress (Román-Guillén, 2019). The relationships between tree measurement variables such as total height, diameter, and crown length can help determine growth patterns and improve urban landscape planning and management practices (Chinchilla et al., 2021).

Resultados y discusión

Se registraron 32 árboles muertos (8.26 %) de un total de 387 árboles de *F. microcarpa*. Los valores de significancia de todas las variables fueron menores que el valor establecido ($\alpha = 0.05$), por lo que los datos no presentaron distribución normal. La Figura 3 muestra las frecuencias de las variables dasométricas del arbolado. Las alturas encontradas se distribuyeron en 11 clases; la más frecuente con 27 % de los árboles se encontró entre los 3 y 5 m, y la de menor frecuencia (1.12 %) correspondió a árboles de entre 18 y 22 m. Por otra parte, los diámetros se dividieron en 10 clases; los árboles con diámetro entre 20.2 y 40.4 cm fueron los de mayor frecuencia (39 %), los de diámetro superior a 60 cm rebasaron el 27 %, mientras que las clases 8 (141 a 162 cm) y 10 (182 a 202 cm) tuvieron el menor número de individuos. En cuanto a la longitud de copa se obtuvieron 10 clases, de las cuales la primera y segunda clase fueron las de mayor frecuencia con copas entre 1.8 m (14.7 %) y 3.63 m (37.8 %) de longitud..

Las alturas de los árboles de la ciudad de Cuernavaca son similares a las registradas en árboles de otras zonas urbanas de México (Román-Guillén et al., 2019), donde la mayoría tiene una altura de alrededor de 5 m, debido a las podas realizadas para evitar interferencia con el cableado eléctrico (Amer et al., 2023). También se ha reportado que el diámetro promedio de *F. microcarpa* en las calles suele ser de 32.7 ± 15.6 cm y la longitud de la copa de 4.59 ± 1.7 m (Amer et al., 2023), las cuales coinciden con las medidas de los árboles de Cuernavaca. Los datos de altura y diámetro corresponden, en su mayoría, a árboles jóvenes-maduros. El diámetro de los árboles está asociado con la edad; diámetros menores corresponden a árboles jóvenes (McPherson, 2016) y funcionales que aportan más beneficios a la población.

La fuerza y vitalidad de un árbol tiene correlación directa con el tronco y su estructura, por lo que los árboles

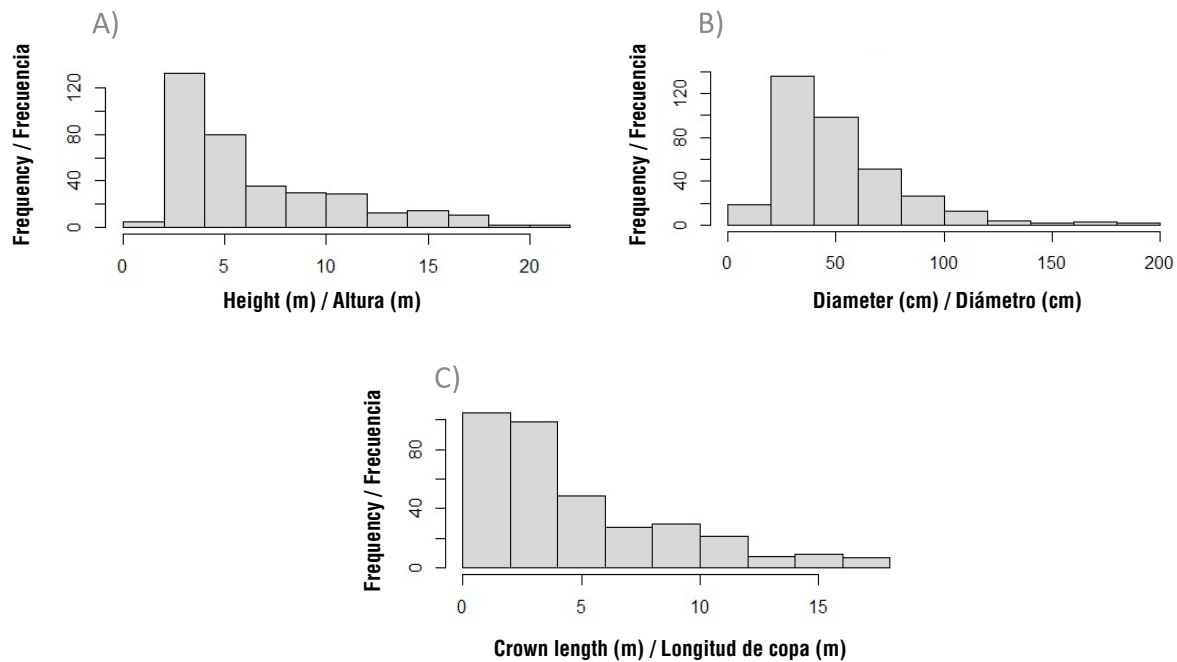


Figure 3. Tree measurement variables of *Ficus microcarpa* evaluated in the city of Cuernavaca, Morelos, for the years 2022-2023.
 Figura 3. Variables dasométricas de árboles de *Ficus microcarpa* evaluados en la ciudad de Cuernavaca, Morelos durante los años 2022-2023.

Crown conditions

Regarding the crown condition variables, Figure 4 shows that the trees were distributed into 10 classes. The most frequent category was class 9, with a live crown ratio ranging from 76.76 % to 86.35 %, classifying the trees as being in good health (Table 1; Bechtold et al., 1992; Randolph & Bechtold, 2018). Regarding crown density, 88 individuals fell into class 7, which includes values between 57.57 % and 67.16 %; these values indicate that the crowns are in good health (Table 1; Bechtold et al., 1992; Randolph & Bechtold, 2018). Concerning foliage transparency, most trees were in the range of 29.69 % to 39.5 %, with a total of 82 individuals, which classifies them as having moderate health (Table 1), according to Randolph and Bechtold (2018). Finally, dieback was considered incipient, as 195 trees fell within the 0 % to 9.8 % range (Table 1; Randolph & Bechtold 2018; Bechtold, 1992).

Foliage loss is one of the early indicators of tree stress (Schomaker et al., 2007). Crown condition indicators (such as foliage transparency, LCR, crown density, and dieback) are valuable tools for assessing tree health, primarily based on the degree of stress, which can be expressed in several ways and will depend on the stress factor and the response of the plant (Pontius & Hallett, 2014). In general, the crowns of *F. microcarpa* in Cuernavaca appear to be healthy; however, foliage transparency suggests that they are experiencing early stress. Moreover, the recorded mortality rate of 8.26 %

sanos podrán enfrentar las agresiones y daños externos, así como el estrés (Román-Guillén, 2019). Las relaciones entre variables dasométricas como altura total, diámetro y longitud de copa pueden ayudar a determinar patrones de crecimiento y a mejorar las prácticas de planificación y gestión de los paisajes urbanos (Chinchilla et al., 2021).

Condición de copa

En cuanto a las variables de condición de copa, la Figura 4 muestra que los árboles se distribuyeron en 10 clases. La proporción de copa viva de 76.76 % a 86.35 % (clase 9) fue la de mayor frecuencia, la cual clasifica a los árboles en la categoría de salud buena (Cuadro 1; Bechtold et al., 1992; Randolph & Bechtold, 2018). En cuanto a la densidad de copa, 88 individuos se encontraron en la clase 7 que incluye valores entre 57.57 % y 67.16 %; estos indican que la copa cuenta con buena salud (Cuadro 1; Bechtold et al., 1992; Randolph & Bechtold, 2018). Con respecto a la transparencia de follaje, la mayoría del arbolado se encontró en el rango de 29.69 % a 39.5 % con un total de 82 individuos, valores que lo clasifican en la categoría de salud moderada (Cuadro 1), de acuerdo con Randolph y Bechtold (2018). Finalmente, la variable muerte regresiva se considera incipiente, ya que tuvo un total de 195 árboles en un rango de 0 a 9.8 % (Cuadro 1; Randolph & Bechtold 2018; Bechtold, 1992).

La pérdida de follaje suele ser una de las formas en las que los árboles manifiestan el estrés temprano (Schomaker et al., 2007). Los indicadores de condición de copa

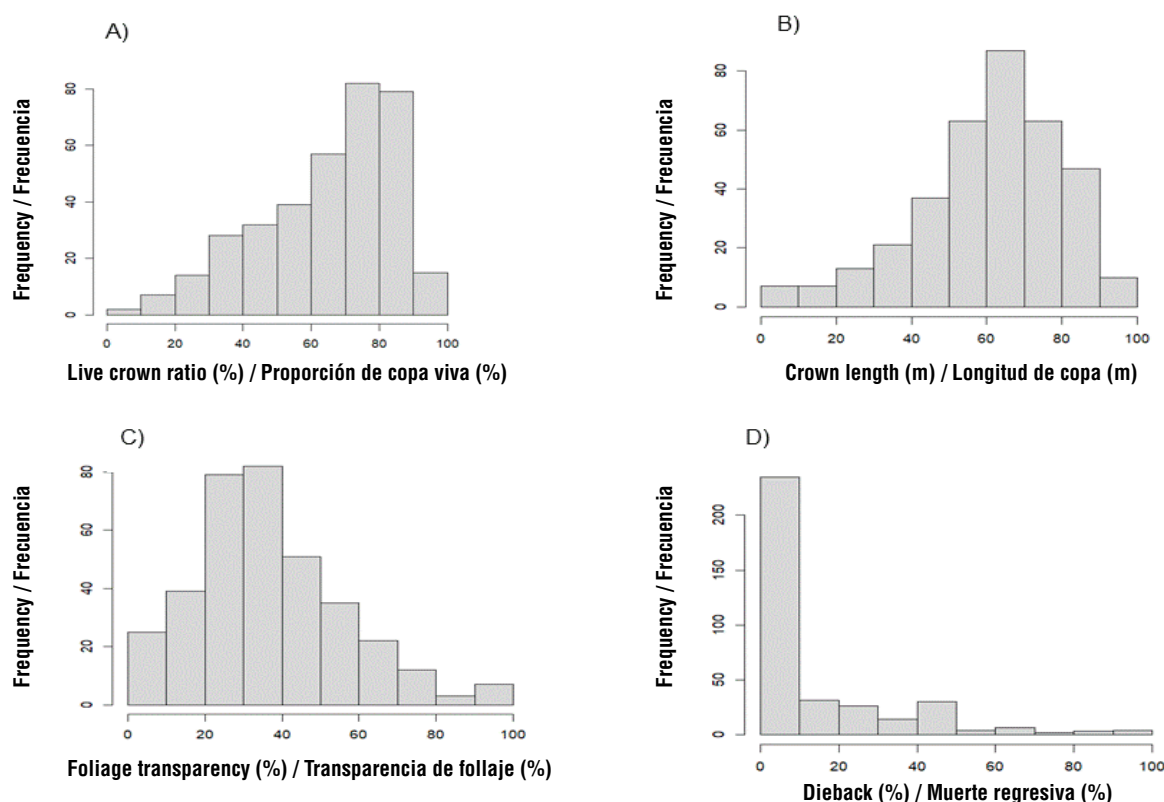


Figure 4. Crown condition variables of *Ficus microcarpa* in Cuernavaca, Morelos, for the period 2022–2023.

Figura 4. Variables de condición de copa de *Ficus microcarpa* en la ciudad de Cuernavaca, Morelos, durante el periodo 2022-2023.

indicates that while the trees seem healthy, they may be at risk of sudden death due to persistent and prolonged stress. Specifically, the continuous stress experienced by urban trees – mainly due to poor planting locations, limited growth space, and inadequate management (Tan & Shibata, 2022) – can increase their susceptibility to pests and diseases (Brace et al., 2020; Percival, 2023; Webb et al., 2023). It is important to note that certain insects are attracted to volatile compounds emitted by stressed plants (Atkinson, 2017). Likewise, some endophytic fungi can become pathogenic when trees are under stress (Hietala et al., 2018). Therefore, crown condition indicators are essential tools for detecting stress, which, as demonstrated, can significantly impact tree health in multiple ways.

Tree damage

Table 2 shows the ten damage agents affecting *F. microcarpa*. The most common issue was reduced growing space, affecting 55.21 % of trees. This category includes trees with limited root growth areas or those surrounded by pavement. The second most frequent damage was topiary, impacting 18 % of individuals. In third place, insect damage caused by species from the suborder Sternorrhyncha affected 15.7 % of trees. Only 1.1 % of the trees were considered free of damage.

(transparencia del follaje, PCV, densidad de copa y muerte regresiva) son herramientas que ayudan en la identificación del estado de salud de los árboles con base principalmente en el grado de estrés, mismo que se puede manifestar de varias maneras y dependerá del factor que lo detona y de la respuesta de la planta (Pontius & Hallett, 2014). De manera general, las copas de *F. microcarpa* en Cuernavaca se encuentran saludables; sin embargo, la transparencia de follaje indica que se encuentran bajo estrés temprano. Aunado a lo anterior, el valor de mortalidad del 8.26 % indica que los árboles se encuentran aparentemente sanos, pero pueden sufrir muerte repentina y súbita, ocasionada por estrés persistente y prolongado. Específicamente, el estrés constante al que los árboles de las ciudades son sometidos, principalmente por la mala ubicación, espacio limitado para el crecimiento y mal manejo (Tan & Shibata, 2022), pueden incrementar la susceptibilidad de los árboles a plagas y enfermedades (Brace et al., 2020; Percival, 2023; Webb et al., 2023). Cabe indicar que algunos insectos son atraídos por compuestos volátiles que las plantas emiten cuando están estresadas (Atkinson, 2017). Asimismo, algunos hongos endófitos pueden comportarse como patógenos si los árboles se encuentran bajo estrés (Hietala et al., 2018). Por lo anterior, las variables del indicador de condición de copa son una herramienta para detectar el estrés que, como se puede apreciar, repercute de varias maneras en la salud de los árboles.

Table 2. Tree damage in *Ficus microcarpa* in the municipality of Cuernavaca, Morelos.
Cuadro 2. Daños del arbolado de *Ficus microcarpa* en el municipio de Cuernavaca, Morelos.

Damage agent / Agente de daño	Trees with damage (%) / Arbolado con daño (%)
Healthy / Sano	1.1
Sternorrhyncha	15.7
<i>Ganoderma</i>	0
Parasitic plants / Plantas parásitas	2.5
Topping / Desmoche	1.9
Topiary / Poda topiaria	18.0
Reduced living space / Espacio vital reducido	55.2
Exposed root / Raíz expuesta	1.4
Spiders / Arañas	2.8
Cankers / Cancros	1.9

The damages contrast with the 37 types reported by Saavedra-Romero et al. (2016) in the San Juan Aragón urban park and the 26 damages recorded by Zaragoza Hernández et al. (2015) in different parks across Mexico City. In both studies, root growth space was not considered a damage factor, whereas in this research, it was the most frequent issue. According to Cibrián et al. (2007), urban trees are primarily affected by abiotic damage, which aligns with the findings of this study.

It has been reported that limited root growth space and water scarcity impact stem diameter, as well as crown diameter and volume, particularly in *F. microcarpa* trees (Amer et al., 2023). Trees surrounded by pavement face significant constraints, including reduced water infiltration (Suárez-Islas & Mateo-Sánchez, 2023) and restricted root growth (Orman-Ligeza et al., 2018). Studies have shown that in the absence of water, abscisic acid is released, suppressing root growth (Mehra et al., 2022). Pavement also increases site temperature, affecting photosynthesis, transpiration, and respiration (Carrillo-Niquete et al., 2022; Chaves-Barrantes & Gutiérrez-Soto, 2016). Another critical factor influencing tree development is soil compaction, which leads to poor aeration, restricting growth and potentially causing hypoxia (Habibi et al., 2023). Additionally, it can promote the formation of shallow, lateral, and thick roots (Hernández-Castro et al., 2021), which may damage urban infrastructure.

Topiary ranked as the second most frequent type of damage, which agrees with the findings of Pino et al. (2022) for trees in Venezuela. This practice disrupts the natural architecture of trees, reduces their environmental services, and diminishes their ability to recover from adverse effects (Zaragoza Hernández et al., 2015). Additionally, it alters the source-demand relationship in carbohydrate translocation (Martínez-

Daños al arbolado

El Cuadro 2 informa los 10 agentes de daño que afectan a *F. microcarpa*. El más frecuente fue el espacio vital reducido con 55.21 %, en el cual se consideraron aquellos árboles en los que el espacio de crecimiento para las raíces es limitado o se encuentra rodeado por pavimento. El segundo daño con mayor presencia fue la poda topiaria con 18 % de individuos afectados. En tercer lugar, el daño por insectos del suborden Sternorrhyncha con 15.7 % de árboles. Únicamente 1.1 % de los árboles se consideraron libres de daños.

Los daños contrastan con los 37 identificados por Saavedra-Romero et al. (2016) en el parque urbano de San Juan Aragón y por Zaragoza Hernández et al. (2015) con 26 daños identificados en diversos parques de la Ciudad de México; en ambos estudios, el espacio de crecimiento de las raíces no fue considerado, siendo que en esta investigación fue el daño más frecuente. De acuerdo con Cibrián et al. (2007), los árboles de las ciudades se ven afectados en su mayoría por daños de origen abiótico, tal como sucede en la presente investigación.

Se ha reportado que el espacio limitado para el desarrollo de raíces, así como la falta de agua, tiene repercusiones en el diámetro del tronco y en el diámetro y volumen de la copa, especialmente en árboles de *F. microcarpa* (Amer et al., 2023). Los árboles rodeados por pavimento enfrentan limitaciones, ya que hay reducción de la infiltración de agua (Suárez-Islas & Mateo-Sánchez, 2023) y restricción del crecimiento de las raíces (Orman-Ligeza et al., 2018); se ha demostrado que, en ausencia de agua, se libera ácido abscísico que suprimen el crecimiento de estas (Mehra et al., 2022). El pavimento también incrementa la temperatura del sitio, afectando la fotosíntesis, transpiración y respiración (Carrillo-Niquete et al., 2022; Chaves-Barrantes & Gutiérrez-Soto,

Trinidad et al., 2013) and affects other physiological processes. Furthermore, the wounds caused by frequent pruning delay the compartmentalization process (Kolařík et al., 2021), leaving trees vulnerable to harmful agents.

Conclusions

In the city of Cuernavaca, *Ficus microcarpa* trees predominantly range between 3 and 5 m in height and have diameters between 20 and 40 cm, classifying them as young-mature trees. Crown condition and tree damage indicators are used to evaluate the health condition of *F. microcarpa*. The crown condition variables suggest that the trees are generally in good health, except for foliage transparency, which indicates a moderate health condition. Foliage transparency is an early stress indicator, likely attributed to the identified damage agents, most of which are abiotic or anthropogenic in origin. It is essential to assess the set of factors that directly influence urban tree development, as city conditions often impose significant limitations on proper tree growth.

Acknowledgments

We thank the Colegio de Postgraduados, the Phytosanitary-Phytopathology program and CONAHCYT for the scholarship granted.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no economic conflicts of interest or known personal relationships that could have influenced the research presented in this article.

End of English version

References / Referencias

- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., Molina-Guerra, V. M., Patiño-Flores, A. M., Sigala-Rodríguez, J. Á., Zamudio-Castillo, E., & Rubio-Camacho, E. (2023). Cambios en la composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Gayana Botánica*, 80(1), 64–74. <https://doi.org/10.4067/s0717-66432023000100064>
- Alvarado-Rosales, D., Saavedra-Romero, L. L., Franco-Islas, Y., Villa-Castillo, J., & Quiroz-Reygadas, D. A. (2021). Condición de copa de bosques y selvas de México: Análisis 2014. *Madera y Bosques*, 27(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712114>
- Amer, A., Franceschi, E., Hjazin, A., Shoqeir, J. H., Moser-Reischl, A., Rahman, M. A., Tadros, M., Pauleit, S., Pretzsch, H., & Rötzer, T. (2023). Structure and ecosystem services of three common urban tree species in an arid climate city. *Forests*, 14(4), 671. <https://doi.org/10.3390/f14040671>

2016). Otro factor que afecta el desarrollo de los árboles es la compactación del suelo, ya que se presenta baja aireación que afecta el crecimiento del árbol e incluso provoca hipoxia (Habibi et al., 2023) o bien, promueve la generación de raíces superficiales, laterales y gruesas (Hernández-Castro et al., 2021) que pueden afectar la infraestructura de la ciudad.

La poda topiaria ocupó el segundo lugar de frecuencia, coincidiendo con lo reportado por Pino et al. (2022) en árboles de Venezuela. La poda topiaria altera la arquitectura natural de los árboles, reduce sus servicios ambientales y la capacidad de recuperarse de efectos adversos (Zaragoza Hernández et al., 2015); además, provoca alteración en la relación fuente-demanda en la translocación de carbohidratos (Martínez-Trinidad et al., 2013) y otros procesos fisiológicos. Aunado a ello, las heridas ocasionadas por la poda frecuente retrasan el proceso de compartimentación (Kolařík et al., 2021), dejando a los árboles expuestos ante agentes adversos.

Conclusiones

En la ciudad de Cuernavaca predominan árboles de *Ficus microcarpa* con alturas de 3 a 5 m y diámetro entre los 20 y 40 cm, catalogados como árboles jóvenes-maduros. Los indicadores de condición de copa y daños al arbolado contribuyeron a determinar la salud de *F. microcarpa*. Las variables de condición de copa sugieren que los árboles se encuentran con buena salud, con reserva de la variable transparencia de follaje que señala un estado de salud moderado. La transparencia del follaje es un indicador de estrés temprano que puede atribuirse a los agentes de daño localizados, en su mayoría, de origen abiótico y antropogénico. Es importante evaluar el conjunto de factores que intervienen directamente en el desarrollo del arbolado urbano, debido a que las condiciones de las ciudades son frecuentemente limitadas para el crecimiento apropiado de los árboles.

Agradecimientos

Se agradece a Colegio de Postgraduados al programa de Fitosanidad-Fitopatología y al CONAHCYT por la beca otorgada.

Conflicto de intereses

Los autores declaramos que no tenemos conflictos de intereses económicos ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en la investigación presentada en este artículo.

Fin de la versión en español

- Atkinson, T. H. (2017). Familia Curculionidae: Scolytinae. In D. Cibrián-Tovar (Ed.), *Fundamentos de entomología forestal* (1.ª ed., pp. 269–276). Universidad Autónoma Chapingo. https://www.researchgate.net/profile/Dulce-Zetina/publication/337447577_Fundamentos_de_Entomologia_Forestal_Conacyt/links/5e5fdb42a6fdccbeba1c6b44/Fundamentos-de-Entomologia-Forestal-Conacyt.pdf
- Bechtold, W. A., Hoffard, W. H., & Anderson, R. L. (1992). *Summary report: Forest health monitoring in the South, 1991. Forest Service General Technical Reports SE-81*. https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/gtr/gtr_se81.pdf
- Bond, J. (2021). Urban tree health what, why, and how. *Arborist News*, 30(1), 46–51. https://urbanforestanalytics.nyc3.digitaloceanspaces.com/Bond_AN-feb20_Health.pdf
- Brace, L. C., Gange, A. C., & Clover, G. R. G. (2020). What are the predominant pests and diseases afflicting gardens in the UK? *Urban Forestry & Urban Greening*, 52, 126706. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126706>
- Carrillo-Niquete, G. A., Casanoca-Domínguez A., & Santamaría, R. (2022). Cuando los árboles se estresan, ayudan menos. *Desde el herbario CICY*, 14, 64–70. http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
- Chaves-Barrantes, N. F., & Gutiérrez-Soto, M. V. (2016). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 237. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21903>
- Chinchilla, J., Carbonnel, A., & Galleguillos, M. (2021). Effect of urban tree diversity and condition on surface temperature at the city block scale. *Urban Forestry & Urban Greening*, 60, 127069. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127069>
- Cibrián, T. D., Alvarado, R. D., & García, S. E. D. (2007). *Enfermedades forestales de México*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2017). *Inventario nacional forestal y de suelos. Procedimientos de muestreo*. https://www.conafor.gob.mx/apoyos/docs/externos/2022/DocumentosMetodologicos/2019/ANEXO_Procedimientos_de_muestreo_2019.pdf
- Council of Tree and Landscape Appraisers (CTLA). (2018). *Guide for plant appraisal*. International Society of Arboriculture.
- Fang, F., Greenlee, A. J., He, Y., & Eutsler, E. (2023). Evaluating the quality of street trees in Washington, D.C.: Implications for environmental justice. *Urban Forestry & Urban Greening*, 85, 127947. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127947>
- Habibi, F., Liu, T., Shahid, M. A., Schaffer, B., & Sarkhosh, A. (2023). Physiological, biochemical, and molecular responses of fruit trees to root zone hypoxia. *Environmental and Experimental Botany*, 206, 105179. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105179>
- Hernández-Castro, W., Badilla-Valverde, Y., Esquivel-Segura, E., & Murillo-Gamboa, O. (2021). Comportamiento de clones de *Gmelina arborea* Roxb. en condiciones de suelo ácidos. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 229–249. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.11>
- Hietala, A. M., Børja, I., Cross, H., Nagy, N. E., Solheim, H., Timmermann, V., & Vivian-Smith, A. (2018). Dieback of European ash: what can we learn from the microbial community and species-specific traits of endophytic fungi associated with ash? In A. Pirttilä, & A. Frank (Eds.), *Endophytes of forest trees. Forestry Sciences*, 86, 229–258. https://doi.org/10.1007/978-3-319-89833-9_11
- Houlden, V., Jani, A., & Hong, A. (2021). Is biodiversity of greenspace important for human health and wellbeing? A bibliometric analysis and systematic literature review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 66, 127385. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127385>
- Kolařík, J., Oikawa-Radscheit, J., Dujesiefken, D., Joye, T., Witkos-Gnach, K., Pachnowska, B., Cristini, V., Pietrobon, P., Scherpenzeel, H., Passola, G., Strele, D., Davenis, A., Frano, T., & Huljenic, G. (2021). *Poda de árboles. Estándar europeo de poda de árboles*. Asociación Española de Arboricultura. https://www.aytocoladomediano.es/images/noticias/2023/noviembre/NUEVO-ESTANDAR-EUROPEO-PODA7903-5_compressed.pdf
- Martínez-Trinidad, T., Hernández López, P., López-López, S. F., & 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). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.880>
- Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F. O., & Islas-Rodríguez, L. (2013). La relación entre los carbohidratos y la vitalidad en árboles urbanos. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(3), 459–468. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.03.016>
- McPherson, E. G., van Doorn, N. S., & Peper, P. J. (2016). *Urban tree database and allometric equations*. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. <http://doi.org/10.2737/PSW-GTR-253>
- Mullaney, J., Lucke, T., & Trueman, S. J. (2015). A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landscape and Urban Planning*, 134, 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.013>
- Nesbitt, L., Hotte, N., Barron, S., Cowan, J., & Sheppard, S. R. J. (2017). The social and economic value of cultural ecosystem services provided by urban forests in North America: a review and suggestions for future research. *Urban Forestry & Urban Greening*, 25, 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.05.005>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2023). *Informe de los objetivos de desarrollo sostenible. Edición especial. Por un plan de rescate para las personas y el planeta*. https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf
- Orman-Ligeza, B., Morris, E. C., Parizot, B., Lavigne, T., Babé, A., Ligeza, A., Klein, S., Sturrock, C., Xuan, W., Novák, O., Ljung, K., Fernandez, M. A., Rodriguez, P. L., Dodd, I. C., De Smet, I., Chaumont, F., Batoko, H., Périlleux, C., Lynch, J. P., ... Draye, X. (2018). The xerobranching response represses lateral root formation when roots are not in contact with water. *Current Biology*, 28(19), 3165–3173.e5. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.07.074>
- Percival, G. C. (2023). Heat tolerance of urban trees A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 86, 128021. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128021>
- Pino, M. Y., Rangel, R., Quintana, L. M., & Gómez, A. (2022). Caracterización florística y condición actual del arbolado

- urbano, El Vigía, Mérida – Venezuela. *Recursos Rurais*, 18, 17–30. <https://doi.org/10.15304/rr.id8568>
- Pontius, J., & Hallett, R. (2014). Comprehensive methods for earlier detection and monitoring of forest decline. *Forest Science*, 60(6), 1156–1163. <https://doi.org/10.5849/forsci.13-121>
- Ramírez-Rodríguez, R., Ocampo-Bautista, F., Rojas-Flores, B. M., Flores-Franco, G., Tovar-Sánchez, E., & Sánchez-Popoca, A.D. (2020). Flora arbórea no nativa, un potencial riesgo para la biodiversidad. In CONABIO (Ed.), *La biodiversidad en Morelos. Estudio de estado* (vol. 2, pp. 234–240). https://appsds.morelos.gob.mx/storage/app/public/pdf/La%20biodiversidad%20en%20Morelos_Vol_III.pdf
- Randolph, K., & Bechtold, W. (2018). *FIA Crown Analysis Guide Version 2.0*. <https://www.fs.usda.gov/srsfia/crowns/Crown%20Analysis%20Guide%20v2.pdf>
- Román-Guillén, L. M., Orantes-García, C., Del Carpio-Penagos, C. U., Sánchez-Cortés, M. S., Ballinas-Aquino, M. L., & 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. L., Alvarado-Rosales, D., Hernández-de la Rosa, P., Martínez-Trinidad, T., Mora-Aguilera, G., & Villa-Castillo, J. (2016). Condición de copa, indicador de salud en árboles urbanos del Bosque San Juan de Aragón, Ciudad de México. *Madera y Bosques*, 22(2), 15–27. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2221321>
- Schomaker, M. E., Zarnoch, S. J., Bechtold, W. A., Latelle, D. J., Burkman, W. G., & Cox, S. M. (2007). *Crown-condition classification: a guide to data collection and analysis*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. <https://doi.org/10.2737/SRS-GTR-102>
- Suárez-Islas, A., & Mateo-Sánchez, J. J. (2023). El arbolado urbano en la gestión del agua pluvial. In A. Ortiz-Lazcano, & J. Medina-Marín (Eds.), *Agua para la vida* (1.ª ed., pp. 37–52). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Tan, X., & Shibata, S. (2022). Factors influencing street tree health in constrained planting spaces: Evidence from Kyoto City, Japan. *Urban Forestry & Urban Greening*, 67, 127416. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127416>
- USDA Forest Service. (2013). *I-Tree Eco User's Manual V 5.0*. www.itreetools.org
- USDA Forest Service. (2016). *Forest inventory and analysis strategic plan*. <https://research.fs.usda.gov/understory/forest-inventory-and-analysis-strategic-plan>
- Webb, C. R., Avramidis, E., Castle, M. D., Stutt, R.O.H., & Gilligan, C. A. (2023). Modelling the spread of tree pests and pathogens in urban forests. *Urban Forestry & Urban Greening*, 86, 128036. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128036>
- Zaragoza Hernández, A. Y., Cetina Alcalá, V. M., López López, M. Á., Chacalo Hilú, A., Isla de Bauer, M. L., Alvarado Rosales, D., & González Rosas, H. (2015). Identificación de daños en el arbolado de tres parques del Distrito Federal. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(25), 34–51. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322015000600063&lng=es&tln=es