



DOI: [10.29298/rmcf.v15i82.1452](https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i82.1452)

Artículo de investigación

Servicios ambientales de la vegetación arbórea de los parques de Texcoco de Mora, Estado de México

Environmental services of tree vegetation of the parks of *Texcoco de Mora, State of Mexico*

Miguel Mancilla Morales¹, Leopoldo Mohedano Caballero¹, Ro Linx Granados
Victorino², Diódoro Granados Sánchez^{1*}, Alejandro Corona Ambriz¹

Fecha de recepción/Reception date: 31 de octubre de 2023.
Fecha de aceptación/Acceptance date: 7 de febrero de 2024.

¹Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Preparatoria Agrícola. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: didorog@hotmail.com

*Corresponding author; e-mail: didorog@hotmail.com

Resumen

El arbolado urbano desempeña un papel importante dentro de las ciudades por los servicios ambientales que provee y por su contribución a la mitigación de la actual crisis climática. En ese contexto, el objetivo del presente estudio consistió en evaluar la vegetación arbórea de cinco parques públicos del municipio Texcoco de Mora a fin de estimar los servicios ambientales que proporcionan. Se realizó un censo por parque y se procesaron los datos a través del *software i-Tree® Eco V6*. Se registraron 1 325 individuos de 23 familias y 37 géneros con una riqueza de 55 especies en los cinco parques, una densidad promedio de 157 árboles ha⁻¹ y un total de 242.6 megagramos de almacenamiento de carbono con una captura de 10.5 Mg año⁻¹. El escurrimiento de lluvia evitado fue de 481 m³ año⁻¹ y el valor que representan estos servicios ambientales en pesos es de MXN \$894 514.93 para el almacenamiento de carbono, MXN \$38 650 anuales para la captura del mismo y MXN \$481.93 para el escurrimiento. El valor de sustitución del arbolado es de MXN \$24 408 534.00. Se estimó una cobertura arbórea de 30 485 m², lo cual representa un factor de 0.86 m² habitante⁻¹. Se concluye que Texcoco está por debajo del factor recomendado de arbolado por habitante propuesto por la ONU. Es necesario estudiar las áreas verdes, camellones, árboles de alineamiento y parques comunitarios para tener un panorama del municipio más completo.

Palabras clave: Árboles urbanos, calidad de vida, cambio climático, captura de carbono, infraestructura verde, *i-Tree®*.

Abstract

Urban trees play an important role within cities due to the environmental services they provide and their contribution to mitigating the current climate crisis. In this context, the objective of this study was to evaluate the tree vegetation of five public parks in the *Texcoco de Mora* municipality in order to estimate the environmental services they provide. A census was carried out per park and the data were processed through the *i-Tree® Eco v6* software. 1 325 individuals from 23 families and 37 genera were recorded with a richness of 55 species in the five parks, an average density of 157 trees ha⁻¹ and a total of 242.6 megagrams of carbon storage with a carbon capture of 10.5 Mg year⁻¹. The avoided rain runoff was 481 m³ year⁻¹ and the value represented by these environmental services is MXN \$894 514.93 for carbon storage, MXN \$38 650 annually for carbon capture, and MXN \$481.93 for runoff. The replacement value of the trees reaches MXN \$24 408 534. A tree cover of 30 485 m² was estimated, which represents a factor of

0.86 m² inhabitant⁻¹. It is concluded that *Texcoco* is below the recommended factor of trees per inhabitant proposed by the UN. It is necessary to study the green areas, medians, alignment trees and community parks, to achieve a more complete panorama of the municipality.

Key words: Urban trees, quality of life, climate change, carbon sequestration, green infrastructure, i-Tree®.

Introducción

En el contexto actual del cambio climático y la creciente población humana, los árboles en las ciudades desempeñan un papel crucial en la provisión de servicios ambientales vitales para la sociedad y el planeta (IPCC, 2022), ya que mejoran la calidad del aire, ayudan en la mitigación de los efectos de la isla de calor, captan el agua de lluvia que ayuda a la recarga de los acuíferos, sirven como centros de reunión social, son referentes de los vecindarios y comunidades y contribuyen de manera positiva a la salud mental de los visitantes (Martínez-Soto *et al.*, 2016; Herrera y Romo, 2021).

El cambio climático, causado en gran medida por las emisiones de gases de efecto invernadero, ha llevado a un aumento en la temperatura global, principalmente dentro de las ciudades, así como a cambios en los patrones de precipitación (Bárcena *et al.*, 2020). En este escenario, los árboles fungen como reservorios de carbono absorbiendo dióxido de carbono de la atmósfera y almacenándolo en su biomasa y suelos. Además, actúan como reguladores del clima local al proporcionar sombra, reducir la temperatura ambiental y disminuir la demanda de energía para refrigeración en las áreas urbanas densamente pobladas (FAO, 2022).

La sobrepoblación, por otro lado, genera una serie de desafíos en términos de recursos limitados, aumento de la demanda de alimentos, energía y espacio habitable (Zamora, 2015). Los árboles favorecen la mitigación de estos problemas al proporcionar servicios ecosistémicos clave. Por ejemplo, los árboles frutales y forestales pueden ayudar a satisfacer la demanda de alimentos y recursos

maderables, al tiempo que mejoran la calidad de vida de las comunidades al proporcionarles espacios verdes y recreativos (Sader, 2020).

En esta perspectiva, entender y valorar los árboles y los servicios ambientales que proporcionan resulta esencial para abordar los desafíos del cambio climático y la sobrepoblación. Lo anterior implica la conservación y restauración de las áreas verdes en la ciudad, así como la implementación de estrategias de reforestación y agroforestería en áreas urbanas y rurales (ONUAA, 2021). Además, es necesario promover una gestión sostenible de los recursos forestales y la adopción de políticas que fomenten la protección y expansión de los ecosistemas arbóreos urbanos (Bárcena *et al.*, 2020). Implementar esas acciones preparará a las ciudades para afrontar futuros desafíos medioambientales, las disparidades sociales y la seguridad alimentaria (Giannotti *et al.*, 2020).

Para cuantificar los servicios que los árboles brindan, existen varios métodos; una de las herramientas que recientemente se están utilizando, por su utilidad y eficiencia, es el *software i-Tree® Eco* (De la Concha, 2018); el cual es un instrumento que permite una evaluación más eficiente de las áreas urbanas con arbolado, ya sean pequeñas o grandes. Los resultados obtenidos a través de esta evaluación ayudan a gestionar y mejorar la toma de decisiones sobre dichas áreas de manera efectiva (i-Tree, 2021).

En el presente trabajo se cuantificaron y evaluaron los beneficios de los servicios ambientales que proveen los árboles de distintos parques del municipio de Texcoco, Estado de México por la importancia de su conservación y mantenimiento para maximizar sus beneficios y con ello, la calidad de vida de los habitantes. Además, se evalúa el desempeño del *software i-Tree® Eco V6* para la toma de datos y su análisis.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el municipio Texcoco de Mora, Estado de México, cuya superficie es de 6 212.17 km² y tiene 35 491 habitantes de acuerdo con el Inegi (2021). Se analizó el arbolado en los cinco parques más visitados del municipio que tienen 14.41 ha: (a) Parque Niños Héroes, con un área de 1 600 m² (19°30'32.53" N, 98°52'32.57" O); (b) Jardín Municipal, con un área de 9 000 m² (19°30'51.56" N, 98°52'56.04" O); (c) Parque de la Tercera Edad, con un área de 9 100 m² (19°30'37.55" N, 98°53'6.67" O); (d) Parque Alameda de Texcoco con un área de 42 950 m² (19°31'8.56" N, 98°52'31.99" O); y (e) Parque Deportivo Silverio Pérez, con un área de 81 500 m² (19°31'16.80" N, 98°53'4.37" O) (Figura 1).

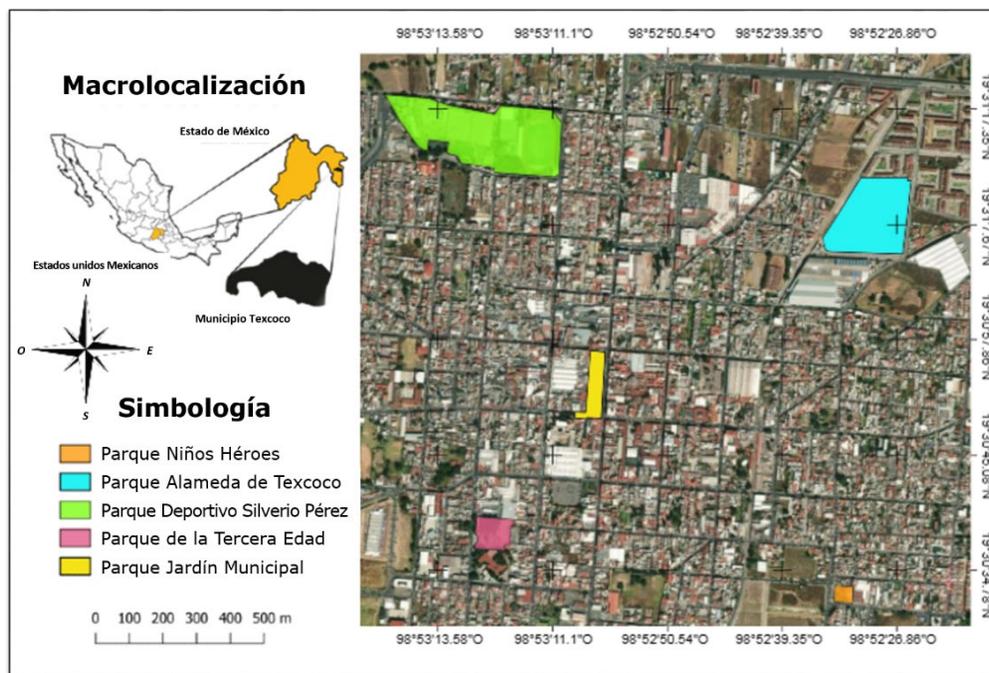


Figura 1. Mapa de ubicación de los cinco parques censados en Texcoco de Mora, Estado de México, México.

Censo del arbolado urbano

Se realizó un censo del arbolado urbano basado en el método VTA (*Visual Tree Assessment*) propuesto por la ISA (*International Society of Arboriculture*) (Calaza e Iglesias, 2016). El registro de los datos se apegó al manual de *i-Tree*[®] (i-Tree, 2021) con base en la localidad, el número de identificador y la especie de los individuos censados en cada uno de los parques.

Para estimar la altura de los árboles, se utilizó un *software* para dispositivos móviles de gama alta llamado *Arboreal*[®]-*Height of tree*, el cual trabaja con tecnología de realidad aumentada (AR) para medir la distancia del árbol al dispositivo y posteriormente tomar los ángulos y distancia a la parte superior (ápice de la copa) e inferior del árbol (base del fuste) y con estos datos estimar la altura total del árbol. De igual manera, se obtuvo la altura del fuste limpio y la altura de la copa limpia (Arboreal, 2023).

El diámetro se midió con una cinta diamétrica flexible de tela sintética de 320 cm diámetro/10m lineal de la marca *Forestry Supplier*[®] modelo 283D. Para el diámetro de copa se usó una cinta métrica larga flexible de 50 m de la marca *Trupper*[®] modelo TP50ME. En cada individuo se obtuvo el diámetro de la copa en dirección norte-sur y este-oeste, información que posteriormente se promedió.

Para la condición de salud de la copa se registró la proporción en porcentaje saludable o presente de la copa, basado en el manual del *i-Tree*[®] (i-Tree, 2021).

Densidad de población

Se determinó la relación que hay entre el número de personas que viven en la ciudad de Texcoco de Mora (35 491 habitantes) y la extensión del espacio que habitan (6 212.17 km²) para obtener la densidad poblacional por kilómetro cuadrado dentro del área urbana (Inegi, 2022).

Factor de espacio verde por habitante

Se calculó la relación entre la superficie (km²) de la cobertura arbórea de los cinco parques evaluados y la extensión (km²) de la ciudad de Texcoco de Mora para obtener el factor de espacio verde por habitante (ONU, 2015).

Análisis de datos

Los datos se capturaron en el *software i-Tree[®] Eco V6* (i-Tree, 2021) mediante el uso de un dispositivo móvil, y finalmente se procesaron en un proyecto por parque con base en los datos de referencia.

A continuación, se mencionan ya que son de carácter obligatorio para que cada proyecto se pueda ejecutar y analizar dentro del *software i-Tree® Eco V6* (i-Tree, 2021). Se utilizó información de la estación meteorológica móvil Licenciado Benito Juárez Intl. con ID: 766793-99999, con datos del tiempo de 2020 (año más reciente en el *software*). Para la valoración económica, el precio de la tonelada de carbono almacenada y capturada que se usó fue de MXN \$3 687.66 ton⁻¹, de acuerdo con los valores del mercado (i-Tree, 2021). El valor de la escorrentía evitada que se utilizó fue de \$44.90 MXN m⁻³; debido a que no se tiene una evaluación de escorrentía para México, se usó el valor promedio nacional para Estados Unidos de América y se convirtió a moneda local (i-Tree, 2021).

Únicamente, se consideraron los árboles superiores a 2 m de altura y diámetro > 3 cm; se excluyeron los ejemplares cuya altura de copa fue menor que su altura de fuste limpio antes de realizar el análisis en el *software i-Tree® Eco*, pues el programa no reconoce individuos con esas características. El censo del arbolado se efectuó de agosto de 2022 a febrero de 2023.

Resultados

En los cinco parques evaluados se censaron 1 477 árboles; sin embargo, después de excluir aquellos que no pueden procesarse por el *software i-Tree® Eco*, se analizaron 1 325 individuos. Se registraron 55 especies arbóreas pertenecientes a 23 familias y 37 géneros (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición de especies arbóreas en los cinco parques censados en Texcoco de Mora, Estado de México, México.

Especie	Nombre común	Origen	Abundancia
<i>Acacia baileyana</i> F. Muell.	Acacia azul	Nueva Gales del sur	5

<i>Acacia melanoxyton</i> R. Br.	Acacia negra	Australia	35
<i>Acacia retinodes</i> Schtdl.	Acacia	Australia	4
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Aile	América del sur	4
<i>Araucaria columnaris</i> (J. R. Forst.) Hook.	Araucaria	Nueva Caledonia	6
<i>Bauhinia divaricata</i> L.	Pata de vaca	América	14
<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	Casuarina	Australia	100
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Naranja	Asia	1
<i>Cupressus arizonica</i> Greene	Cedro	México	37
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	Cedro blanco	México	29
<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw. ex Gordon	Cedro limón	Estados Unidos de América	95
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	Ciprés panteonero	Mediterráneo	77
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	Níspero	Asia	2
<i>Erythrina coralloides</i> DC.	Colorín	México	1
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	Eucalipto	Australia	194
<i>Eucalyptus cinerea</i> F. Muell. ex Benth.	Eucalipto dólar	Australia	1
<i>Euphorbia cotinifolia</i> L.	Sangre de Líbano	Sudamérica	3
<i>Ficus benjamina</i> L.	Ficus	India	103
<i>Ficus microcarpa</i> L. f.	Laurel de la india	Asia	78
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	Fresno	México	133
<i>Grevillea robusta</i> A. Cunn. ex R. Br.	Grevillea	Australia	12
<i>Hibiscus tiliaceus</i> L.	Tulipán	Hawai	18
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Jacaranda	Sudamérica	97
<i>Larix</i> spp.	Alerce	Norteamérica	5
<i>Leucaena esculenta</i> (DC.) Benth.	Guaje rojo	México	3
<i>Ligustrum lucidum</i> W. T. Aiton	Trueno	Asia	58
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	Liquidambar	México	7
<i>Magnolia mexicana</i> DC.	Magnolia	México	6
<i>Malus domestica</i> (Suckow) Borkh.	Manzano	Asia	2
<i>Olea europaea</i> L.	Olivo	Europa	6
<i>Persea americana</i> Mill.	Aguacate	Mesoamérica	1
<i>Phoenix canariensis</i> Wildpret	Palma canaria	África	25
<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	Pino piñonero	México	3
<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.	Pino greggi	México	2
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schtdl. & Cham.	Pino leiophylla	México	1
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schtdl. & Cham.	Pino patula	México	2

<i>Pinus pinceana</i> Gordon & Glend.	Pino piñonero llorón	México	1
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	Ocote blanco	México	1
<i>Pinus radiata</i> D. Don.	Pino radiata	California	3
<i>Pinus</i> spp.	Pino	México	8
<i>Pinus teocote</i> Schlttdl. & Cham.	Pino teocote	México	1
<i>Platanus mexicana</i> Moric.	Platanus	México	2
<i>Populus alba</i> L.	Álamo blanco	Asia	103
<i>Populus nigra</i> L.	Álamo negro	Europa	1
<i>Prunus domestica</i> L.	Ciruelo	Asia	1
<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	Durazno	Asia	19
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	Capulín	México	2
<i>Quercus virginiana</i> Mill.	Encino blanco	Norteamérica	3
<i>Roystonea regia</i> (Kunth) O. F. Cook	Palma real	Asia	32
<i>Salix bonplandiana</i> Kunth	Ahuejote	México	1
<i>Schinus molle</i> L.	Pirul	Perú	85
<i>Senna multiglandulosa</i> (Jacq.) H. S. Irwin & Barneby	Retama	México	14
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	Tulipán africano	África	4
<i>Taxodium mucronatum</i> Ten.	Ahuehuete	México	16
<i>Washingtonia filifera</i> (Gloner ex Kerch., Burv., Pynaert, Rodigas & Hull) de Bary	Palma washingtonia	California	9

Se estimó la abundancia de las especies de cada parque y resultó que solamente seis especies de las 55 registradas representaron 49.25 % del total de los individuos presentes en los parques, lo que significa que aun con una alta riqueza en especies, no existe equidad en la abundancia. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. (13.13 % de la abundancia total) encabezó la lista de los taxa más abundantes, seguido de *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh. (9 %), *Populus alba* L. (6.97 %), *Ficus benjamina* L. (6.97 %), *Casuarina equisetifolia* L. (6.7 %) y *Jacaranda mimosifolia* D. Don. (6.56 %). Tan solo esas seis especies conformaron casi 50 % del total de individuos registrados. Se estimó que 82.89 % de los ejemplares son exóticos.

El Parque Niños Héroes, a pesar de ser el de menor superficie (1 600 m²), presentó la mayor densidad arbórea, respecto a los demás (256.3 individuos ha⁻¹). Debido al promedio en diámetro y altura de sus árboles, al Parque Deportivo

Silverio Pérez le correspondieron los valores más altos para almacenamiento (242.6 Mg) y captura de carbono (10.5 Mg año⁻¹), así como para el escurrimiento evitado (481.9 m³ año⁻¹) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Superficie, densidad arbórea, cobertura arbórea y servicios ambientales que proveen los cinco parques evaluados en Texcoco de Mora, Estado de México, México.

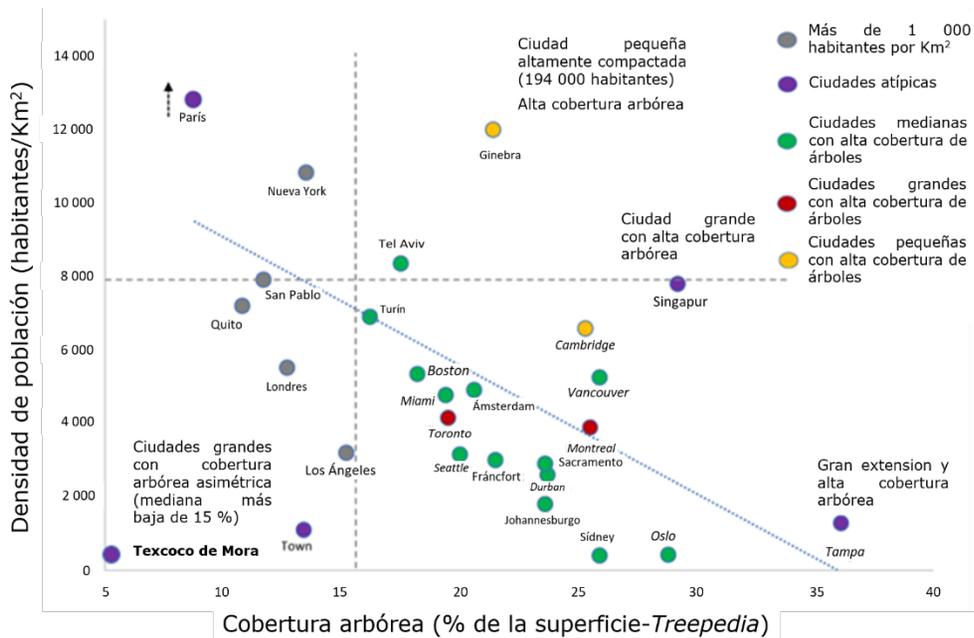
Localidad	Área (m ²)	Densidad (árboles ha ⁻¹)	Número de individuos	Cobertura arbórea (m ²)	Almacenamiento de carbono (Mg)	Captura bruta de carbono (Mg año ⁻¹)	Escurrimiento evitado (m ³ año ⁻¹)
Parque Niños Héroes	1 600	256.3	41	938	8.26	0.35	13.84
Parque Jardín Municipal	9 000	168.9	152	4 692	29.21	1.00	40.15
Parque de la Tercera Edad	9 100	194.5	177	4 304.5	22.41	0.56	71.76
Parque Alameda de Texcoco	42 950	111.3	478	4 173.7	22.65	2.10	33.50
Parque Deportivo Silverio Pérez	81 500	58.5	477	16 377	160.05	6.47	322.68
Total	144 150	157.9	1 325	30 485.2	242.6	10.5	481.9

Se estimó la cobertura arbórea en m² para cada parque, se determinó que el Parque Niños Héroes tiene 58.6 % de su superficie cubierta por dosel, 47.3 % para el Parque de la Tercera Edad, 52 % para el Parque Jardín Municipal, 20.1 % para el Parque Deportivo Silverio Pérez, y finalmente 9.7 % para el Parque Alameda de Texcoco. Al igual que la densidad de árboles, el Parque Niños Héroes fue el área evaluada con más cobertura vegetal, en relación con su extensión.

Con el valor de la cobertura arbórea de los cinco parques censados (30.48 km²) y la superficie que comprende la ciudad de Texcoco de Mora (6 212.17 km²), se estimó el factor de espacio verde por habitante, y resultó que la contribución de estas áreas para la población de Texcoco fue de 0.86 m² por habitante.

Li *et al.* (2015), Seiferling *et al.* (2017) y Lüttge y Buckeridge (2020) consideraron como referencia un análisis computacional basado en la vista de *Google® Street*

para calcular un índice de vista verde para cada ciudad, mismo que arroja el porcentaje de cobertura vegetal respecto al total de población por km². Al hacer una comparación de los datos de 27 ciudades del mundo, apreciaron que la tendencia en la cobertura arbórea aumenta conforme la densidad poblacional disminuye. Dado que el *software* no tiene datos para la ciudad de Texcoco y son pocos los trabajos publicados sobre cobertura arbórea (Martínez-Trinidad *et al.*, 2021; Hernández-López *et al.*, 2023), los datos generados en este trabajo son lo más cercano a lo que localmente se conoce sobre sus áreas verdes; por lo tanto, contrastarlo con otras ciudades alrededor del mundo ofrece una perspectiva de la realidad de dicha información sobre el municipio (Figura 2).



Fuente: Modificado de Lüttge y Buckeridge (2020).

Figura 2. Comparación entre el porcentaje de la cobertura arbórea y la densidad de población por km² en 27 ciudades.

Como se aprecia en la Figura 2, la ciudad de Texcoco de Mora se ubica en un lugar no cercano a la recta de tendencia, por lo que se le podría definir como una ciudad atípica. Debido a que solamente se consideró la cobertura arbórea de los cinco parques, la relación en cuanto a la superficie de la ciudad fue de 0.49 % de cobertura verde, y la densidad poblacional se calculó en 5.7 habitantes por Km².

Se estimaron los valores en pesos mexicanos que tendrían los servicios que brinda el arbolado urbano anualmente en los parques de Texcoco para justificar una mejor gestión y mantenimiento. En cuanto al valor del almacenamiento de carbono, el Parque Silverio Pérez obtuvo la mayor cantidad con MXN \$590 204.05, ya que su arbolado es de edad madura y posee los promedios más altos en diámetros y alturas (34.6 cm y 11 m). De la misma forma, tuvo la captura de carbono más elevada, la cual se estimó en MXN \$23 862.06 anuales; asimismo, para el escurrimiento evitado fue de MXN \$322.68 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valor en pesos mexicanos que representan los servicios ambientales que brindan los cinco parques evaluados.

Localidad	Valor en pesos mexicanos del almacenamiento de carbono (Mg)	Valor en pesos mexicanos de la captura de carbono (Mg año ⁻¹)	Valor en pesos mexicanos del escurrimiento evitado (m ³ año ⁻¹)	Valor de sustitución (MXN)
Parque Niños Héroes	83 509.08	7 728.95	33.5	4 603 802.51
Parque Jardín Municipal	30 454.54	1 285.44	13.84	961 314.47
Parque de la Tercera Edad	107 713.61	3 697.71	40.15	3 679 594.48
Parque Deportivo Silverio Pérez	590 204.05	23 862.06	322.68	11 836 976.69
Parque Alameda de Texcoco	82 633.65	2 076.57	71.76	3 326 845.86
Total	894 514.93	38 650.73	481.93	24 408 534.01

Se obtuvo un total de 242.6 Mg para el almacenamiento de carbono, con un valor estimado en MXN de \$894 514.93 y un registro de 10.5 Mg anuales para la captura de carbono, cuyo valor estimado en MXN de \$38 650.73 anuales. El escurrimiento evitado por el arbolado de los cinco parques fue de 481.9 m³

anuales, y un valor estimado en MXN de \$481.93. De acuerdo con los valores estimados de los servicios ecosistémicos anuales y el valor de sustitución, o el valor que tienen los parques con las condiciones del arbolado actual, suman MXN \$24 408 534.01.

Discusión

La pérdida de la diversidad biológica constituye un problema ambiental global que la humanidad debe resolver (Almaguer, 2006), y uno de los principales problemas que atraviesa es la presencia de las especies introducidas (Badii *et al.*, 2015). En Texcoco, 82.89 % de los taxa arbóreos presentes en los parques evaluados son de este tipo, lo que amerita medidas inmediatas para su manejo. Las consecuencias más preocupantes, de no hacer caso a este bioindicador, son el daño a la salud y al bienestar económico humano, así como al funcionamiento de los ecosistemas y la supervivencia de especies nativas (Rodríguez, 2001).

En cuanto a los servicios ambientales, se tiene un antecedente con el trabajo de Martínez-Trinidad *et al.* (2021), quienes evaluaron los que brinda el arbolado urbano de la ciudad de Texcoco de Mora, pero únicamente se realizó para cuatro parques y se registraron 391 individuos respecto a los 1 325 para cinco parques que se censaron en el presente trabajo. Se obtuvieron valores por arriba de los citados por dichos autores para la captura de carbono en el Parque Niños Héroe, donde se registraron 3.35 Mg respecto a 8.26 Mg, para el Parque de la Tercera Edad, 17.13 Mg respecto al registro actual de 22.41 Mg, y finalmente en el que hubo mayor diferencia debido al número de árboles censados fue en el Parque Deportivo Silverio Pérez, donde calcularon 16.76 Mg contra 160.05 Mg del presente trabajo. Estas

diferencias se deben al número de árboles contabilizados y al tiempo transcurrido hasta el 2023.

A partir de la relevancia reconocida de los servicios ambientales que proveen los espacios verdes para mejorar la calidad de vida de la población en entornos urbanos, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un umbral mínimo de 9 m² de espacio verde por habitante (ONU, 2015). De acuerdo con los resultados que aquí se documentan, en la ciudad de Texcoco de Mora hacen falta 8.14 m² de cobertura arbórea por habitante para cumplir con esta condición; es decir, se requieren 10.46 veces la superficie arbolada actual estimada en los cinco parques de Texcoco, a partir de los datos de estas áreas verdes.

Con base en el trabajo de Lüttge y Buckeridge (2020), debido a la baja densidad poblacional, Texcoco tiene potencial para crecer como una ciudad caracterizada por su infraestructura verde, la cual define Quiroz (2018) como un ambiente natural con suma importancia en la mitigación y la adaptación ante el cambio climático. Sin embargo, si la autoridad no brinda el apoyo necesario para la creación de áreas verdes, así como para la investigación de la condición actual de otras áreas con vegetación urbana como los camellones, el arbolado vial y los pequeños parques dispersos, Texcoco seguirá siendo un caso atípico fuera de una media ideal y con muy poca superficie de cobertura arbórea.

Una ciudad que posee un abundante arbolado proyecta una imagen positiva a sus visitantes, lo cual tiene efectos en la economía local a partir de la creación de oportunidades de empleo gracias a políticas municipales que se enfoquen en la generación de actividades que involucran a las áreas verdes y al mantenimiento de dichos espacios (Figueroa y Díaz-Galiano, 2018). En Texcoco, la falta de mantenimiento especializado es una de las razones principales que genera problemas en el arbolado urbano; los que, a su vez, se convierten en pérdidas económicas y ambientales. Por lo tanto, es muy valioso establecer áreas arboladas nuevas en zonas donde no las hay, en las que se considere un diseño funcional, así

como una correcta selección y distribución de especies para maximizar los beneficios que puedan brindar.

Conclusiones

El presente trabajo tuvo como objetivo visibilizar la parte ambiental que ofrece el arbolado urbano, y se centró en cinco parques de la ciudad Texcoco de Mora.

El *software i-Tree® Eco V6* es una herramienta que, al usarse de manera correcta, brinda datos confiables para la toma de decisiones sobre la administración y el manejo del arbolado urbano. Sin embargo, es necesaria la retroalimentación de los usuarios para la mejora del *software* debido a que tiene ciertas limitantes, entre las que destacan que el programa no permite el registro y análisis de los individuos cuya altura de la copa sea menor que la altura del fuste limpio, así como la falta de estaciones meteorológicas y años actualizados de registro de contaminantes.

Se obtuvo un valor total de 242.6 Mg para el carbono almacenado en los árboles en pie, 10.5 Mg anuales para la captura de carbono y el escurrimiento evitado de 481.9 m³ anuales para los cinco parques. De los individuos censados 82 % corresponden a especies introducidas. El factor de área verde por habitante es de 0.86 m² de espacio verde por habitante para la ciudad.

Los datos aportados por este estudio brindan alternativas clave, tal como el valor económico, para que las autoridades concentren su atención en los problemas reales de los parques y puedan convertirlos en espacios comunes en excelente estado, y así contribuir a una mejor calidad de vida para sus habitantes.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Ing. Abigail Ivonne Merino Laris por la ayuda en la toma de datos del proyecto.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Miguel Mancilla Morales: planeación, levantamiento y análisis de datos, redacción del manuscrito; Leopoldo Mohedano Caballero: dirección, planeación y seguimiento del proyecto, análisis de datos y revisión del manuscrito; Ro Linx Granados Victorino: seguimiento del proyecto y revisión del manuscrito; Diódoro Granados Sánchez: dirección, seguimiento del proyecto y revisión del manuscrito; Alejandro Corona Ambriz: revisión de datos y del manuscrito.

Referencias

- Almaguer H., S. N. 2006. La pérdida de la diversidad biológica: un problema de todos. LUZ 5(3):7-15. <https://luz.uho.edu.cu/index.php/luz/article/view/256>. (28 de agosto de 2023).
- Arboreal. 2023. Arboreal®-Height of tree. <https://www.arboreal.se/en/arboreal-forest>. (20 de julio de 2023).

- Badii, M. H., A. Guillen, C. E. Rodríguez, O. Lugo, J. Aguilar y M. Acuña. 2015. Pérdida de biodiversidad: causas y efectos. *Daena: International Journal of Good Conscience* 10(2):156-174. [http://www.spentamexico.org/v10-n2/A10.10\(2\)156-174.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n2/A10.10(2)156-174.pdf). (28 de agosto de 2023).
- Bárcena, A., J. Samaniego, W. Peres y J. E. Alatorre. 2020. La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe ¿Seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción? Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) y Organización de las Naciones Unidas (ONU). Santiago de Chile, RM, Chile. 375 p.
- Calaza M., P. y M. I. Iglesias D. 2016. El riesgo del arbolado urbano. Contexto, concepto y evaluación. Mundi Prensa. Madrid, MD, España. 526 p. https://www.researchgate.net/publication/305210265_El_riesgo_del_arbolado_urbano_Contexto_concepto_y_evaluacion. (14 de julio de 2023).
- De la Concha, H. 2018. i-Tree ECO-Sistema de información para mejorar el arbolado público. *Revista Parques*:28-32. https://www.itreetools.org/documents/210/RevistaParques_Sept-Nov2018_iTreeEco.pdf. (14 de enero de 2023).
- Figueroa C., M. E. y L. A. Díaz-Galiano M. 2018. Los árboles urbanos y la salud ambiental. *Revista oficial de la Asociación Española de Arboricultura* 80:54-59. https://www.researchgate.net/publication/342563818_Los_arboles_urbanos_y_la_salud_ambiental. (15 de julio de 2023).
- Food and Agriculture Organisation (FAO). 2022. *Biodiversity*. <https://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/regulating-services/es/>. (5 de agosto de 2023).
- Giannotti, E., A. Vásquez y P. Velásquez. 2020. Policy Brief: Propuestas para un sistema de áreas verdes para ciudades sostenibles y saludables. Universidad de Chile. Santiago de Chile, RM, Chile. 10 p.
- Hernández-López, P., T. Martínez-Trinidad, P. Hernández-de la Rosa, L. Mohedano-Caballero and M. de J. González G. 2023. Ecological characterization of trees at

Molino de Flores Netzahualcóyotl National Park. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 29(3):93-108. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2023.01.002.

Herrera C., V. M. y M. de L. Romo A. 2021. La distribución de las áreas verdes públicas en relación con las características socioeconómicas de la población en Ciudad Juárez, México. *Acta universitaria* 31:e3101. Doi: 10.15174/au.2021.3101.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2021. Principales resultados por localidad (ITER) del Censo de Población y Vivienda 2020. Datos oportunos. (MEX-INEGI.ESD2.01-CPV-2020). Inegi. <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/ficha.html?tit=325913&ag=0&f=csv>. (6 de enero de 2023).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2022. Espacio y datos de México. Sistemas de consulta. Inegi. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?ag=150990001>. (10 de enero de 2023).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution of to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, CAM, United Kingdom. 3056 p.

i-Tree. 2021. *i-Tree® Eco User's Manual Versión 6.0*. United States Department of Agriculture. Whashington, D. C., United States of America. 93 p. https://www.itreetools.org/documents/275/EcoV6_UsersManual.2021.09.22.pdf. (10 de enero de 2023).

Li, X., C. Zhang, W. Li, R. Ricard, Q. Meng and W. Zhang. 2015. Assessing street-level urban greenery using Google Street View and a modified green view index. *Urban Forestry & Urban Green* 14(3):675-685. Doi: 10.1016/j.ufug.2015.06.006.

Lüttge, U. and M. Buckeridge. 2020. Trees: structure and function and the challenges of urbanization. *Trees* 37:9-16. Doi: 10.1007/s00468-020-01964-1.

Martínez-Soto, J., M. Montero y L.-L. y J. M. de la Roca C. 2016. Efectos psicoambientales de las áreas verdes en la salud mental. *Interamerican Journal of*

Psychology 50(2):204-214. <https://www.redalyc.org/pdf/284/28447010004.pdf>. (15 de enero de 2023).

Martínez-Trinidad, T., P. Hernández L., S. F. López-López y L. Mohedano C. 2021. Diversidad, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado en cuatro parques de Texcoco mediante *i-Tree Eco*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(67):202-223. Doi: 10.29298/rmcf.v12i67.880.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2015. Habitat III 11-Espacio público. ONU. Nueva York, NY, Estados Unidos de América. 8 p. https://habitat3.org/wp-content/uploads/Issue-Paper-11_Public_Space-SP.pdf. (11 de enero de 2023).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONUAA). 2021. Los bosques para la salud y el bienestar de los seres humanos. Fortalecimiento del nexo entre los bosques, la salud y la nutrición. ONUAA. Roma, RM, Italia. 81 p.

Quiroz B., D. E. 2018. Implementación de infraestructura verde como estrategia para la mitigación y adaptación al cambio climático en ciudades mexicanas, hoja de ruta. Secretaria de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (Sedatu), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Coyoacán, Cd. Mx., México. 69 p. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/394115/Hoja_de_ruta_IV_Infraestructura_Verde.pdf. (11 de enero de 2023).

Rodríguez, J. P. 2001. La amenaza de las especies exóticas para la conservación de la biodiversidad suramericana. *Interciencia* 26(10):479-483. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33906110>. (14 de julio de 2023).

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Sader). 2020. *Los árboles como fuente de vida indispensable*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/los-arboles-como-fuente-de-vida-indispensable>. (14 de agosto de 2023).

Seiferling, I., N. Naik, C. Ratti and R. Proulx. 2017. Green streets—Quantifying and mapping urban trees with street-level imagery and computer vision. *Landscape and Urban Planning* 165:93-101. Doi: 10.1016/j.landurbplan.2017.05.010.

Zamora M., M. C. 2015. Cambio climático. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 6(31):4-7. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/190>. (25 de enero de 2023).



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.