



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

**COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y CONDICIÓN ACTUAL DEL
ARBOLADO URBANO DE CINCO PARQUES PÚBLICOS DE
TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:



APROBADA

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES



Presenta: **MIGUEL MANCILLA MORALES**

Bajo la supervisión de: **DIÓDORO GRANADOS SANCHÉZ, DR.**



Chapingo, Estado de México, noviembre de 2023

COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y CONDICIÓN ACTUAL DEL ARBOLADO
URBANO DE CINCO PARQUES PÚBLICOS DE TEXCOCO, ESTADO DE
MÉXICO

Tesis realizada por **MIGUEL MANCILLA MORALES** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:


DR. DIÓDORO GRANADOS SÁNCHEZ

ASESOR:


DR. LEOPOLDO MOHEDANO CABALLERO

ASESOR:


MC. RO LINX GRANADOS VICTORINO

ASESOR:


DR. ALEJANDRO CORONA AMBRIZ

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE CUADROS	VIII
LISTA DE APÉNDICES	VIII
ABREVIATURAS USADAS	X
DEDICATORIA	XII
AGRADECIMIENTOS.....	XIII
DATOS BIOGRÁFICOS.....	XIV
RESUMEN GENERAL.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	17
1.1 Introducción	¡Error! Marcador no definido.
1.2 Antecedentes.....	18
1.3 Planteamiento del problema	27
1.4 Justificación	27
1.5 Objetivos.....	29
1.6 Hipótesis.....	29
1.7 Literatura citada.....	30
CAPITULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	32
2.1 Arbolado urbano	32
2.2. El papel de los bosques urbanos.....	33
2.2.1 Beneficios ambientales.....	33

2.2.2 Beneficios socioculturales.....	35
2.2.3 Beneficios económicos	36
2.2.4 Beneficios a la salud	36
2.3 Infraestructura verde.....	37
2.4 Indicadores paisajísticos de vegetación urbana	38
2.4.1 Regla del 10 - 20 - 30 (Santamour)	38
2.4.2 Regla del 3-30-300 (Konijnendijk).....	39
2.5 i-Tree® Eco	40
2.6 Censo de árboles urbanos.....	41
2.7 Riesgo de arbolado urbano	41
2.8 Problemática del arbolado urbano	42
2.9 Estudios en México.....	43
2.9.1 Investigaciones sobre estructura y condición de arbolado urbano ...	44
2.9.2 Investigaciones sobre servicios ambientales del arbolado urbano ...	46
2.9.3 Investigaciones sobre riesgo de arbolado urbano	47
2.9.4 Investigaciones sobre biodiversidad en parques urbanos	47
2.10 Problemática e investigaciones en Texcoco	48
2.11 Literatura citada	50
CAPÍTULO 3. COMPOSICIÓN BOTÁNICA, ESTADO FITOSANITARIO Y RIESGO DE FALLA DEL ARBOLADO DE CINCO PARQUES PÚBLICOS DE TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO	55
3.1 Resumen	55
3.2 Introducción	55

3.3 Materiales y métodos.....	56
3.4 Resultados.....	63
3.4.1 Parque Niños Héroes.....	65
3.4.2 Parque de la Tercera Edad.....	69
3.4.3 Deportivo Silverio Pérez	73
3.4.4 Parque Jardín Municipal de Texcoco.....	76
3.4.5 Parque Alameda de Texcoco.....	79
3.5 Discusión	83
3.6 Conclusiones	87
3.7 Literatura citada.....	88
CAPÍTULO 4. SERVICIOS AMBIENTALES DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA DE LOS PARQUES DE TEXCOCO DE MORA, EDO. MÉX.	92
4.1 Resumen	92
4.2 Introducción	92
4.3 Materiales y métodos.....	94
4.4 Resultados.....	97
4.5 Discusión	102
4.6 Conclusiones	104
4.7 Literatura citada.....	104
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES GENERALES	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación del árbol <i>chichihuacuauhco</i> para la cultura mexicana. Lámina 3v del <i>Códice Vaticano Latino</i> 3738 (Roldan, 2015).	20
Figura 2. Mapa de ubicación de los cinco parques censados en Texcoco de Mora, Estado de México.	57
Figura 3. Mapa de ubicación de especies presentes en Parque Niños Héroes, Texcoco, Estado de México.	66
Figura 4. Individuos registrados por categoría de altura y diamétrica en Parque Niños Héroes.	68
Figura 5. Mapa de ubicación de especies presentes en Parque de la Tercera Edad, Texcoco, Estado de México.....	70
Figura 6. Individuos registrados por categoría de altura y diamétrica, registrados en Parque de la Tercera Edad.	72
Figura 7. Mapa de ubicación de especies presentes en Parque Deportivo Silverio Pérez, Texcoco, Estado de México.....	73
Figura 8. Individuos por categoría de altura y diamétrica registrados en Parque Deportivo Silverio Pérez.	75
Figura 9. Mapa de ubicación de especies presentes en Parque Jardín Municipal de Texcoco, Texcoco, Estado de México.	77
Figura 10. Individuos registrados por categoría de altura y diamétrica en Parque Jardín Municipal de Texcoco.	79
Figura 11. Mapa de ubicación de especies presentes en Parque Alameda de Texcoco, Texcoco, Estado de México.	80
Figura 12. Individuos registrados por categoría de altura y diamétrica en Parque Alameda de Texcoco.	83
Figura 13. Mapa de ubicación de los cinco parques censados en Texcoco de Mora, Estado de México.	95

Figura 14. Comparación entre el porcentaje de la cobertura arbórea y la densidad de población por km ² en 27 ciudades	100
--	-----

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Categoría y puntaje de altura y categoría y puntaje diamétrico para la obtención del riesgo dasonómico.....	61
Cuadro 2. Forma, categoría y puntaje de la condición de copa saludable para la obtención del riesgo dasonómico.....	62
Cuadro 3. Presencia de plagas y enfermedades, daños físicos, mecánicos y apariencias observados.....	62
Cuadro 4. Categoría de inclinación del fuste y puntaje para la obtención del riesgo dasonómico.....	63
Cuadro 5. Especie y abundancia por parques. *PNH = Parque Niños Héroes, *PTE = Parque de la Tercera Edad. *PDSP = Parque Deportivo Silverio Pérez. *PJM = Parque Jardín Municipal y *PAT = Parque Alameda de Texcoco.	64
Cuadro 6. Condición de copa del arbolado en Parque Niños Héroes.....	67
Cuadro 7. Presencia de plagas, enfermedades y daños en el arbolado censado por localidad.....	68
Cuadro 8. Condición de copa del arbolado en Parque de la Tercera Edad.	71
Cuadro 9. Condición de copa del arbolado en Parque Deportivo Silverio Pérez.	74
Cuadro 10. Condición de copa del arbolado urbano de Parque Jardín Municipal de Texcoco.	78
Cuadro 11. Condición de copa del arbolado en Parque Alameda de Texcoco.	81
Cuadro 12. Composición de especies en los cinco parques censados de Texcoco de Mora, Estado de México.	97
Cuadro 13. Superficie, densidad arbórea, cobertura arbórea y servicios ambientales que proveen los cinco parques evaluados.....	99
Cuadro 14. Valor en pesos mexicanos que representan los servicios ambientales que brindan los cinco parques evaluados.....	101

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Formato con adecuación, utilizado para el censo de arbolado urbano.	107
Apéndice 2. Modelos ejemplo para medir el porcentaje de la copa saludable en arbolado urbano.....	110

ABREVIATURAS USADAS

Abreviatura de instituciones	Palabras	Significado
AMA	Asociación Mexicana de arboricultura	
CNDH	Comisión Nacional de Derechos Humanos	
DOF	Diario Oficial de la Federación	
FAO	Food and Agriculture Organization	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
INAFED	Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal	
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática	
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
ISA	International Society of Arboriculture	Sociedad Internacional de Arboricultura
IUCN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza	
MXN	Peso mexicano	
OMS	Organización Mundial de la Salud	
ONU	Organización de las Naciones Unidas	
SEDEMA	Secretaría del Medio Ambiente	

SMA	Secretaría de Medio Ambiente	
SSA	Secretaría de Salubridad y Asistencia	
USDA	United States Department of Agriculture	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
VTA	Visual Tree Assessment	Evaluación visual del árbol
Abreviaturas comunes	Palabras	Significado
ID	Identificación	Identificación
ed.	Edición	
<i>et al.</i>	et alii	y otros
d.C.	Después de Cristo	
no., núm..	Número	
p., pp.	Página (s)	
sp.	Especie	
spp.	Especies	
vol., v.	Volumen	

DEDICATORIA

Con mucho cariño:

A mis padres, por ser el pilar de mi vida y darme todo para poder desarrollarme como la persona que soy.

A mis hermanos por el apoyo incondicional que he tenido desde siempre.

A mis amigos que me han acompañado durante este largo camino brindando su tiempo, comprensión y cariño.

A mi compañera de vida, Abigail Ivonne Merino Laris, por acompañarme día con día en este camino, por brindarme su apoyo incondicional, su cariño y comprensión.

A mis profesores, que me han compartido su tiempo, conocimiento y amistad.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por permitirme estudiar la licenciatura y ahora alcanzar esta nueva meta profesional de ser Maestro en Ciencias.

Al Posgrado de Ciencias en Ciencias Forestales por brindarme la oportunidad y haber confiado en mí para desarrollarme como alumno de maestría. Por su atención y su apoyo durante estos años.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) por hacer posible mis estudios de maestría.

A los miembros del comité asesor por haber formado parte de esta etapa, por su apoyo, su tiempo e ideas. Por todos los momentos y la experiencia compartida.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales:

Nombre: Miguel Mancilla Morales

Fecha de nacimiento: 11 de abril de 1996

Lugar de Nacimiento: Texcoco de Mora, Estado de México

CURP: MAMM960411HMCNRG08

No. Cartilla Militar: D-4322230

Profesión: Ingeniería en Restauración Forestal

Cedula profesional: 12924724

Desarrollo académico:

Bachillerato: Preparatoria agrícola, Universidad Autónoma Chapingo

Licenciatura: Ingeniería en Restauración Forestal, Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN GENERAL

Composición, estructura y condición actual del arbolado urbano de cinco parques públicos de Texcoco, Estado de México.

La falta de planeación urbana es uno de los principales problemas que conllevan a la falta de arbolado en las ciudades, al mal estado de este y al mal aprovechamiento de sus beneficios potenciales. La presente investigación tuvo como objetivo determinar la composición, condición fitosanitaria y estructural, así como la riqueza del arbolado de cinco parques del municipio de Texcoco, además del análisis de potencial de riesgo y con estos datos evaluar si cumplen con reglas de distribución paisajística que hablan sobre la importancia de la biodiversidad arbórea y la relevancia del papel de los bosques urbanos para la salud. Se realizó un censo de arbolado urbano en diferentes parques y se procesaron los datos con ayuda del Software i-Tree® Eco.v6. Se registraron 1477 individuos arbóreos pertenecientes a 23 familias, 37 géneros y 55 especies, de los cuales 1442 se encontraron vivos. Las especies más abundantes fueron *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. (13.13%), *Fraxinus uhdei* L. (9%) y *Populus alba* L. (6.97%). La mayor parte de los árboles presenta daños de tipo mecánico que se deben al mantenimiento que se les brinda. La salud y condición general del arbolado son aceptables, pero este provee menos servicios ambientales potenciales para la población que los que proporcionaría si las condiciones fueran óptimas. Conocer el arbolado urbano es de gran ayuda para poder gestionar y darle un mantenimiento especializado a cada área.

Palabras clave: parques urbanos, infraestructura verde, i-Tree, diversidad arbórea, riesgo dasonómico

ABSTRACT

Composition, structure and current condition of urban trees in five public parks in Texcoco, State of Mexico.

The lack of urban planning is one of the main problems that lead to the lack of trees in cities, the poor state of the tree and the misuse of its potential benefits. The present research aimed to determine the phytosanitary and structural condition, as well as the richness of the trees in five parks of the municipality of Texcoco in addition to the analysis of risk potential and with these data evaluate if they comply with landscape distribution rules that talk about the importance of tree biodiversity and the relevance of the role of urban forests for health. A census of urban trees was carried out in different parks and the data was processed with the help of the i-Tree[®] Eco.v6 software. A total of 1477 tree individuals belonging to 23 families, 37 genera and 55 species were recorded, of which 1442 were found alive. The most abundant species were *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. (13.13%), *Fraxinus uhdei* L. (9%) and *Populus alba* L. (6.97%). Most of the trees showed mechanical damage due to the maintenance they receive. The overall tree health and condition are acceptable, but they provide lower potential environmental services for the population than they would if conditions were optimal. Understanding urban trees is of great assistance in managing and providing specialized maintenance to each area.

Keywords: urban parks, urban green, i-Tree, tree diversity, dassonomic risk.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En México, como en muchos otros países, el aumento poblacional representa uno de los mayores retos a enfrentar para el bienestar común como sociedad hoy día y en un futuro proyectado. Datos del INEGI (2020) indican que actualmente más de tres cuartas partes de la población mexicana viven en zonas urbanas en donde los problemas ambientales y sociales de estas áreas derivan de su velocidad de cambio y crecimiento.

Este crecimiento poblacional ha dado pautas para realizar proyectos y programas para satisfacer muchas de las necesidades de la población, como lo son la alimentación, transporte o educación; sin embargo, una de estas necesidades ha sido subestimada y se le ha prestado poca atención, la de satisfacer los servicios que brindan los árboles de la ciudad a la población, directa e indirectamente.

Estos beneficios, imperceptibles para muchos, van desde la sombra que proporcionan los árboles a los automóviles en un estacionamiento, las partículas de contaminantes que retienen anualmente, la disminución en el impacto de calor por el aumento de la temperatura en las ciudades de todo el mundo, hasta el árbol que se utiliza para embellecer el fondo de una fotografía, entre otros.

En México, la información sobre las áreas verdes presentes en las zonas urbanas de ciudades considerablemente grandes, como la Ciudad de México, es escasa. La atención se ha centrado en la evaluación de estas áreas verdes en las metrópolis consideradas como más importantes (Benavides 1992; Leal *et al.*, 2018).

En el municipio de Texcoco se cuenta con muy pocos antecedentes sobre investigación de sus áreas verdes, así como en arbolado de vialidad. Sin embargo, no existen estudios detallados ni comparaciones entre los parques de la localidad con la finalidad de contrastar su composición y estado de salud.

Un problema que atañe al municipio es la falta de conocimiento de su infraestructura verde y su falta de mantenimiento especializado. Esto se ve reflejado en la gran mayoría de los árboles al ver podas destructivas y deformantes en las copas, árboles derribados o trozados en zonas públicas donde no se les da mantenimiento y los locales e incluso trabajadores de gobierno lo hacen por su propia cuenta sin tener en ocasiones el conocimiento mínimo sobre la poda de árboles.

El presente trabajo genera resultados sobre las condiciones actuales del arbolado de cinco parques públicos y de esta manera resaltan las áreas que necesitan atención, a su vez se genera un listado de los factores que aumentan las condiciones negativas (estructurales y fitosanitarias) del arbolado urbano con lo que se pueden tomar decisiones estratégicas para el mantenimiento de cada uno de los parques.

1.1 Antecedentes

El arbolado en la historia humana

De acuerdo con Benito *et al.*, (2018) a lo largo de la historia, el arbolado ha sido un recurso esencial que ha acompañado a las poblaciones humanas desde tiempos ancestrales. Su importancia se ha manifestado en la selección de especies, la propagación de plantas y la introducción de árboles en nuevos territorios con fines prácticos, culturales y simbólicos. Estos árboles han desempeñado un papel clave en la transformación del paisaje, la provisión de sustento y la expansión de los imperios, demostrando así su relevancia continua en la relación entre las sociedades humanas y la naturaleza.

El mercadeo de árboles era una actividad común entre los pueblos. A través del comercio y la conquista, se introdujeron especies de alto valor en diferentes regiones, lo que impulsó el desarrollo de técnicas avanzadas de cultivo y la transferencia de conocimientos entre generaciones de arboricultores. Esta práctica desempeñó un papel crucial en la propagación de especies exóticas y

en la creación de paisajes frondosos y productivos en diversas partes del mundo (Benito *et al.*, 2018).

Pasaron años llevando a cabo prácticas que implicaban el manejo de los árboles y fue así como surgió, el “Arboricultor”, nombre que se les atribuyó a las personas que literalmente cultivaban los árboles, y fue así como comenzó la cultura de cuidar y reproducir los árboles para obtener beneficios que hasta ese entonces eran principalmente económicos y culturales (Martínez, 2019).

El árbol en México

Época prehispánica

El uso ancestral del arbolado en beneficio de los seres humanos tiene una larga historia. En el contexto mexicano, su uso comenzó de manera empírica en la creación de las primeras ciudades antiguas, donde los árboles adquirieron un valor no solo como organismos vivos, sino también como elementos estructurales, culturales e incluso sagrados para las antiguas civilizaciones. Alrededor del siglo XII d.C. (1325), el grupo humano conocido como chichimecas, proveniente del legendario lugar llamado Aztlán, invadió el altiplano Central y llegó a la Cuenca de México, estableciéndose en una pequeña isla en el Lago de Texcoco y realizando una primera apropiación del paisaje natural. A pesar de encontrarse en un terreno fangoso e inundable, este asentamiento humano logró prosperar en menos de dos siglos gracias a la implementación de un sistema agrícola altamente complejo conocido como chinampas, así como a la expansión de un sistema de canales que impulsaría la economía de lo que posteriormente se convertiría en México-Tenochtitlan (López, 2021).

Este sistema de chinampas consistió en el uso de troncos de árboles dispuestos dentro del fango, formando estructuras que posteriormente se rellenaron y compactaron con tierra hasta, formarse una especie de islas artificiales donde se pudo llevar a cabo el cultivo de alimentos. Para que este sistema funcionara se utilizaron arboles endémicos de la zona, por su gran capacidad para vivir en

niveles de humedad demasiado altos, conocidos como ahuejotes (*Salix bonplandiana* Kunt), los cuales se dispusieron en las orillas de las chinampas con el fin de fijar la tierra y retenerla (Rodríguez de Lejía, 2021).

En varias civilizaciones, incluyendo la Mexica, los árboles poseían un profundo valor y significado. Por ejemplo, en la cultura Mexica se creía en la existencia de un lugar llamado Tamoanchán, un paraíso donde los niños que fallecían antes o durante el parto eran alimentados por árboles conocidos como *Chichihuacuauhcos*, hasta que tuvieran otra oportunidad de nacer. Esta creencia refleja la importancia que se le atribuía a los árboles como seres sagrados y la conexión entre la vida humana y el mundo natural (Chacalo, 2016; Chacalo y Corona, 2009).

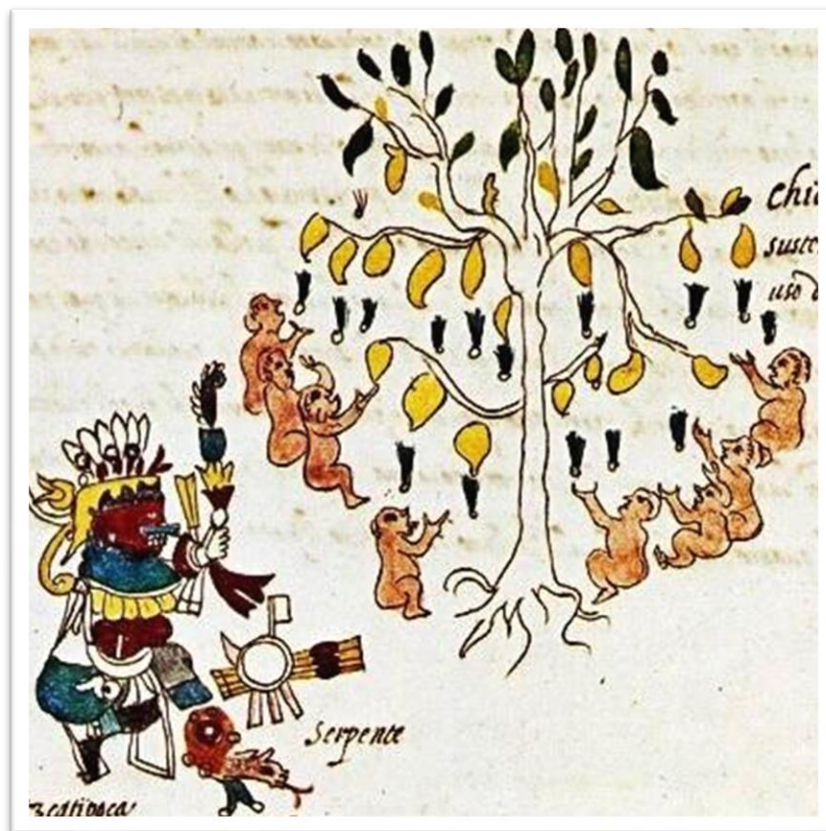


Figura 1. Representación del árbol *chichihuacuauhco* para la cultura mexica. Lámina 3v del *Códice Vaticano Latino 3738* (Roldan, 2015).

A partir del siglo XII, los antiguos mexicanos desarrollaron jardines botánicos con una organización precisa, enfocados tanto en aspectos médicos como ecológicos. Se les dio especial atención a las plantas ornamentales, destacando la habilidad para manejar y diseñar sus jardines de manera notable. Estos jardines reflejaban la importancia que se le daba a la botánica y al cuidado estético de las plantas, demostrando un conocimiento avanzado en el manejo y la disposición de los elementos naturales en su entorno (Suhail y Robles, 2008).

En el año 1357, en la región de Texcoco, el rey poeta Netzahualcōyotl estableció el Tetzcotzincó, lo que podría considerarse el primer jardín botánico del Anáhuac. Aunque originalmente era una casa de descanso, fue reorganizado, embellecido y convertido en el principal jardín botánico de la antigua México. Este jardín botánico funcionó hasta la llegada de los conquistadores, a principios de la época colonial. Otros jardines fundados por Netzahualcōyotl, donde se cultivaban plantas de regiones muy remotas fueron los de Tollantzinco (Tulancingo), Cuahuchinanco (Guachinango), Quahunahuac (Cuernavaca), Xichitepetl (Villa Juárez), el bosque de Chapultepetl (Chapultepec), Cuahuyacac, Tzinacanoztoc, Cozcacaunanhco y Tlateitec (Suhail y Robles, 2008; Granados y Mendoza, 1992).

Época virreinal

Tras la llegada de los españoles en el año 1492 y la conquista de México Tenochtitlan durante el periodo de 1519 – 1521, resultó en la desecación del Lago de Texcoco, lo cual marcó una nueva transformación del entorno natural. Mediante modificaciones en el sistema agrícola artificial existente, se llevó a cabo una segunda apropiación del paisaje. El proceso de conquista también trajo consigo un rediseño urbano, adoptando características propias del estilo occidental. Esto provocó cambios en el uso de las áreas arboladas, fusionando elementos prehispánicos en el nuevo ordenamiento urbano bajo la colonia española (López, 2021).

En 1788, el virrey De Bucareli introdujo la idea de las avenidas arboladas como paseos peatonales y vías de comunicación. La inclusión de árboles en estas avenidas brindaba sombra y frescura a quienes transitaban por ellas (Suhail y Robles, 2008; Martínez y Chacalo, 1994).

En 1830 Alexander Von Humboldt, explorador alemán del siglo XVIII y Antonio de Alzate y Ramírez, científico y naturalista mexicano del siglo XVIII, destacaron los efectos perjudiciales de la deforestación. Von Humboldt, cuyas ideas repicaron en toda América, afirmó que la disminución del agua en el valle de México se debía, en parte, a la tala de árboles. Además, sugirió que los españoles aparentemente deseaban que el hermoso valle de Tenochtitlan se asemejara al paisaje árido y despojado de vegetación de España (López, 2021).

En 1853, durante el siglo XVIII, la nueva Ciudad de México experimentó una consolidación que implicó la eliminación de elementos naturales clave para la zona lacustre. Se introdujeron nuevas especies vegetales que empeoraron los problemas en la cuenca y se crearon espacios verdes inspirados en el estilo occidental, como la Alameda Central (López, 2021).

Época moderna

Durante la época de la Intervención Francesa, al igual que durante el Porfiriato, México experimentó un importante impulso en la actividad de desarrollo urbano. Se construyeron numerosas calzadas repletas de árboles y se crearon diversos parques y jardines en todo el país (Suhail y Robles, 2008; Granados y Mendoza, 1992), como la Avenida del Imperio o Paseo de la Emperatriz, conocido hoy en día como Paseo de la Reforma en la Ciudad de México (Suhail y Robles, 2008).

El ingeniero Miguel Ángel de Quevedo, conocido como "el apóstol del árbol", desempeñó un papel fundamental en la actividad forestal en México durante el período más reconocido de la historia moderna, que abarcó de 1930 a 1940. Se le considera el pionero del conservacionismo en el país. Su labor se centró en la reforestación urbana y suburbana en la ciudad de México, donde introdujo

especies exóticas y promovió conceptos innovadores, como la recuperación de áreas erosionadas. La contribución de Quevedo fue sumamente exitosa y tuvo un impacto significativo en la conservación y mejora del entorno urbano (Suhail y Robles, 2008; Granados y Mendoza, 1992), la creación de plazas, parques y viveros, incluyendo el renombrado Vivero de Coyoacán. Su labor también contribuyó a la formación de la Sociedad Forestal Mexicana en 1921. Un hito importante durante ese mismo año fue la declaración del ahuehuete como árbol nacional de México por parte de dicha sociedad (Suhail y Robles, 2008).

Durante el periodo que comprende de los años 1970 a 1976, a cargo de la presidencia de Luis Echeverría Álvarez, se introdujo el tema ambiental como parte de la política nacional. En 1971, se promulgó la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, la cual estableció normas obligatorias para la mejora, conservación y restauración del medio ambiente. Esta ley fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de marzo de 1971 y representó la primera medida en materia ambiental en el país. En 1972, se creó la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente (SMA) como una dependencia de alto nivel en la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA), encargada de desarrollar programas relacionados con la prevención y control de la contaminación (López, 2021).

Ante la ausencia de legislación ambiental a nivel global, se comenzó a generar conciencia sobre la crisis ambiental mundial. Esto llevó a la organización de la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, conocida como la Cumbre de la Tierra de Estocolmo realizada en el año 1972, en la cual se reconoce la necesidad de tomar medidas frente al impacto negativo causado por las políticas de producción predominantes. En esta conferencia se plantea la urgencia de abordar los problemas ambientales y promover prácticas más sostenibles para proteger el medio ambiente y garantizar un futuro saludable para el planeta (ONU, 1973).

Algunos de los principios más significativos que han llevado al reconocimiento de la importancia y la necesidad de investigar y trabajar en el campo del arbolado

urbano para el beneficio de la sociedad se mencionan en el documento oficial de la Cumbre de la tierra Estocolmo 1972 (ONU, 1973):

Principio 13: “A fin de lograr una más racional ordenación de los recursos y mejorar así las condiciones ambientales, los estados deberían adoptar un enfoque integrado y coordinado de la planificación de su desarrollo, de modo que quede asegurada la compatibilidad del desarrollo con la necesidad de proteger y mejorar el medio ambiente humano en beneficio de su población”

Principio 15: “Debe aplicarse la planificación a los asentamientos humanos y a la urbanización con miras a evitar repercusiones perjudiciales sobre el medio y a obtener los máximos beneficios sociales, económicos y ambientales para todos...”

Principio 19: “...Es también esencial que los medios de comunicación de masas eviten contribuir al deterioro del medio humano y difundan, por el contrario, información de carácter educativo sobre la necesidad de protegerlo y mejorarlo, a fin de que el hombre pueda desarrollarse en todos los aspectos.”

Principio 20: “Se deben fomentar en todos los países, especialmente en los países en desarrollo, la investigación y el desarrollo científicos referentes a los problemas ambientales, tanto nacionales como multinacionales. A este respecto, el libre intercambio de información científica actualizada y de experiencia sobre la transferencia debe ser objeto de apoyo y asistencia, a fin de facilitar la solución de los problemas ambientales; las tecnologías ambientales deben ponerse a disposición de los países en desarrollo en unas condiciones que favorezcan su amplia difusión sin que constituyan una carga económica excesiva para esos países.”

Después de la Cumbre de la Tierra de Estocolmo, en las décadas de los 70 a los 90 del siglo XX, se promovió una arborización masiva en la Ciudad de México en calles, avenidas y camellones, sin embargo, no hubo una adecuada planificación (López, 2021).

Después de la creación de la Sociedad Internacional de Arboricultura (ISA) en 1974 y el impulso generado por la cumbre de Estocolmo 1972, se estableció una delegación de la ISA en México conocida como Asociación Mexicana de Arboricultura (AMA) (Orozco, 2018).

La Asociación Mexicana de Arboricultura fue constituida en febrero de 1999 y se estructuró en delegaciones por zonas geográficas, como la Ciudad de México, Noreste, Bajío y Sureste. Su misión y objetivo principal al surgir fue “impulsar la ciencia de la arboricultura, así como su práctica profesional y sensibilizar acerca del valor y los beneficios de los árboles y bosques urbanos para una mejor calidad de vida en un medio ambiente sano” (Orozco, 2018).

Actualmente, en México hay estados de la República donde la arboricultura y el cuidado de los árboles se está volviendo parte de una cultura cada vez más consciente, donde se impulsa la preservación, expansión y estudio de las áreas verdes para conseguir un bien común.

En el año 2000, se promulgó a nivel local la Ley Ambiental para el Distrito Federal, estableciendo los fundamentos para regular diversos aspectos relacionados con el medio ambiente en la Ciudad. Uno de los temas abordados fue la inclusión del arbolado como objeto de regulación y control, asignando gran parte de esta responsabilidad a las entonces delegaciones. Esta situación se mantiene hasta la actualidad (López, 2021).

En el año 2000, también se lanzó el Manual Técnico para la Poda, Derribo y Trasplante de Árboles y Arbustos, un documento técnico destinado a orientar las actividades y buenas prácticas en el manejo del arbolado urbano que sienta muchas de las bases usadas en la actualidad. Posteriormente, en 2012, se publicó el proyecto de Norma Ambiental NADF-001-RNAT-2012, con el propósito de fortalecer los lineamientos técnicos y establecer medidas más estrictas en esta materia. El objetivo de estas iniciativas fue mejorar la gestión y protección del arbolado en entornos urbanos, promoviendo prácticas más adecuadas y garantizando su conservación y manejo sostenible (López, 2021).

De acuerdo con López (2011), del año 2000 al 2015 se observó un mayor impulso en la educación ambiental en México con el objetivo de mejorar las condiciones del arbolado urbano. Además, se incorporaron otras temáticas como los huertos urbanos, los jardines verticales y los jardines de azotea. Durante este periodo, también se priorizó el uso de especies nativas y se reconoció el valor ambiental del arbolado urbano en el contexto del cambio climático.

Para el Estado de México fue hasta el año 2017 que se creó la primera Norma Técnica estatal ambiental NTEA-019-SeMAGEM-DS-2017, que estableció las condiciones de protección, conservación, fomento, creación, rehabilitación y mantenimiento de las áreas verdes y macizos arbóreos de las zonas urbanas en el territorio del Estado de México. Con esta norma operan actualmente los municipios de toda la entidad incluyendo Texcoco, sin embargo, cada una trabaja de distinta manera y deciden si acatan o no, dicha norma.

Actualmente existen programas a nivel federal como el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales cuya agenda que contempla del año 2020 al 2024, tiene como objetivo aumentar el número de árboles en zonas urbanas y promover las practicas forestales urbanas a nivel nacional, además que contempla el compromiso de alcanzar varios de los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas que tienen como objetivo proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los recursos en todo tipo de ecosistemas, incluido las áreas urbanas (DOF, 2020).

Para el municipio de Texcoco, actualmente se tiene contemplada la Agenda Ambiental 2030 para el Desarrollo Sostenible, un plan de acción a largo plazo que se ha diseñado considerando enfoques transversales con el objetivo de asegurar la coherencia de las políticas de desarrollo en relación con las tres dimensiones fundamentales del desarrollo sostenible: social, económica y ambiental (Gaceta Municipal Texcoco, 2022)

Es de remarcar que, si bien la parte ambiental es fundamental, si no es llevada a cabo por profesionales, termina siendo negativa como se puede ver en algunas

de las acciones que se llevan a cabo en el municipio, como las reforestaciones masivas de árboles en las calles que terminan con una tasa alta de mortalidad, además de la nula elección de especies y sitios adecuados para plantar.

1.2 Planteamiento del problema

De acuerdo con INEGI (2020), uno de los problemas más grandes que se afronta en todo el mundo es la sobrepoblación, y consecuencia de ello, la expansión urbana. Las ciudades son cada vez más grandes y demandan más recursos para satisfacer las necesidades de toda la población. Las áreas verdes naturales brindan recursos y servicios invaluable para la población como proveer oxígeno, filtrar contaminantes en el aire, disminuir las temperaturas en la ciudad por el impacto de los rayos del sol, entre otros; sin embargo, estas áreas están siendo devoradas por la mancha urbana. El estado de salud del arbolado urbano influye en qué tanto puede potenciar esos servicios o, por el contrario, qué tanto se ven minimizados por estar en malas condiciones.

Debido a esto, la correcta implementación, mantenimiento y fomento de áreas verdes dentro de las ciudades es una tarea crucial para asegurar una mejor calidad de vida para la sociedad.

1.3 Justificación

Las deficiencias en la planeación urbana es uno de los principales problemas que conllevan a la falta de arbolado en las ciudades, al mal estado de éste y al mal aprovechamiento de sus beneficios potenciales.

Los entornos urbanos tienden a desalentar la actividad física por diversos factores urbanos que incluyen el hacinamiento, el gran volumen de tráfico, el intenso uso de medios de transporte motorizados, la mala calidad del aire y la

falta de espacios públicos seguros y de instalaciones recreativas y deportivas (OMS, 2010).

La incorporación de elementos naturales en entornos urbanos, como la naturalización urbana y los jardines comunitarios, tiene efectos positivos en la percepción de seguridad, ya que ayudan a reducir los delitos y la violencia. Los ambientes boscosos dentro de las áreas urbanas proporcionan entornos estéticos, mejoran la satisfacción de la vida cotidiana y fomentan una conexión significativa entre las personas y el medio ambiente natural (Barreto y Martínez 2018).

Ballester (1991) citado por González (2002) afirma que la vegetación influye directamente sobre la temperatura de la ciudad, amortiguando los rigores estivales y disminuyendo la intensidad de las islas de calor (valores superiores de temperatura en el centro de la ciudad, respecto su entorno natural).

Es innegable que los bosques urbanos son cruciales para dar respuesta a los desafíos esenciales actuales como el calentamiento global, el cambio climático, la degradación del ambiente y la pandemia COVID-19. Lo anterior ha provocado que en los últimos años se esté adquiriendo mayor conciencia de la importancia de los árboles urbanos en el bienestar de los habitantes de la ciudad y, por otra parte, la pandemia ha provocado un despertar sobre la importancia de los espacios verdes (Corrales, 2021).

Durante el período de confinamiento en el hogar debido a la pandemia del virus SARS-CoV-2, salir al aire libre para dar un paseo, hacer ejercicio o disfrutar de áreas verdes ha sido crucial para sobrellevar mejor la situación. Esta necesidad evidencia que los espacios verdes y públicos en las ciudades están dispersos, son escasos o presentan una calidad deficiente (García, 2021).

Por ello, el presente estudio da a conocer el estado actual del arbolado urbano de cinco áreas verdes municipales en Texcoco, Estado de México, lo cual es

importante para evaluar si su manejo es el adecuado, o es necesario emprender mejoras para el bienestar de la sociedad.

1.4 Objetivos

Objetivo general

Evaluar la condición de la vegetación arbórea de cinco parques del municipio de Texcoco, Estado de México, por medio de un censo del arbolado urbano, a fin de determinar el cumplimiento de los indicadores paisajísticos de vegetación para ser considerados parques de calidad dentro de la infraestructura verde del municipio.

Objetivos específicos

Identificar la riqueza de especies y abundancia de especies de arbolado urbano de los parques en estudio.

Evaluar el estado fitosanitario y estructural del arbolado de los parques a fin de identificar el nivel de riesgo dasonómico en que se encuentran.

Evaluar la condición de salud de la copa del arbolado urbano.

Determinar si estos parques cumplen con los indicadores paisajistas de vegetación.

Evaluar a través del software i-Tree® el aporte de los servicios ambientales y económicos del arbolado de los cinco parques evaluados.

1.5 Hipótesis

La ausencia de un diseño paisajístico y un plan de manejo del arbolado urbano público genera malas condiciones fitosanitarias y estructurales de éste. Por tal motivo no cumplen con los indicadores paisajísticos de vegetación.

1.6 Literatura citada

- Barreto R, M. A. y Martínez S, F. A (2018). Beneficios del arbolado urbano. Universidad Autónoma Metropolitana. Disponible en http://www.evaluacion.azc.uam.mx/assets/importancia_del_arbolado_urbano.pdf
- Benito G, Palermo M, y Bertucelli C. (2018). Arboricultura urbana: antecedentes y evolución. Universidad de Buenos Aires - Facultad de Agronomía. Revista Agronomía y Ambiente. No 30 (1) 1-12.
- Chacalo H, A. (2016). Temas de arboricultura, árboles, arbustos, palmas y frutales para las ciudades. Tomo 1. (1.a ed.). Editorial Universidad Autónoma Metropolitana.
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano. (1972). Declaración de Estocolmo sobre el medio ambiente humano. https://drive.google.com/file/d/1JC2tNyCZ6Ar_GjIFzqW1t5zsPArjYk71/view
- Corrales I. (2021). Una ciudad verde requiere reglas de arborización y espacios verdes. Página web Ojo al Clima, Disponible en https://ojoalclima.com/entrada_blog/una-ciudad-verde-requiere-reglas-de-arborizacion-y-espacios-verdes/
- DOF (2020). Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2024. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Disponible en https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596232yfecha=07%2F07%2F2020#gsc.tab=0
- Gaceta Municipal Texcoco (2022) Reglamento del Consejo Municipal de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Texcoco, Estado de México. Disponible en: <https://www.texcocoedomex.gob.mx/Documentos/Reglamento%20del%20Consejo%20Municipal%20de%20la%20Agenda%202030.pdf>
- García A. (2021). La regla 3-30-300 o cómo una ciudad verde te ayuda a vivir mejor. Blog Green Peace España. Disponible en <https://es.greenpeace.org/es/noticias/regla-3-30-300-ciudades-verdes/>
- González C. C. (2002) Beneficios del Arbolado Urbano. Ensayo Doctorado. Disponible en <https://digital.csic.es/bitstream/10261/24578/1/Beneficios%20del%20arbolado%20urbano.pdf>
- INEGI (2020). Población rural y urbana. Disponible en http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx
- Leal E. C, Leal E. N, Alanís R. E, Pequeño I. M, Mora O. A, Buendía R. E. (2018). Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de linares,

- nuevo león. Revista mexicana de ciencias forestales. 16jul.2018. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.129>
- López C. M. (2021). La evolución del arbolado en el paisaje modificado. El caso de la Alcaldía Cuauhtémoc. Presentación, Ciudad de México, México. Recuperado en La evolución del arbolado en el paisaje modificado. <https://www.timetoast.com/timelines/1-ra-alteracion-del-paisaje-natural-del-lago-de-tenexcoco>
- Martínez-Trinidad, Tomas. (2019). La Rbor y culture (The Arboriculture/La Arboricultura). 10.13140/RG.2.2.22260.88963.
- ONU (1973). Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, - Estocolmo, 5 a 16 de junio de 1972. Disponible en: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N73/039/07/PDF/N7303907.pdf?OpenElement>
- OMS (2010). Urbanización y salud. Boletín de la organización mundial de la salud. Volumen 88, abril 2010, 241-320. Disponible en <https://www.who.int/bulletin/volumes/88/4/10-010410/es/>
- Orozco, M. E. (2018). Documento base de planeación estratégica de la asociación mexicana de arboricultura. Recuperado en Planeacion-Estratégica-AMA-2018.pdf (arboricultura.mx)
- Rodríguez De Leija, M. Ángel. (2021). Las chinampas: historia breve y sus usos. Bloch. Revista Estudiantil De Historia, 1(1), 64–71. Recuperado a partir de <https://revistabloch.uanl.mx/index.php/b/article/view/24>
- Roldán O, E. (2015). Reflexiones sobre la muerte entre los antiguos nahuas II. Crónicas y fuentes de origen indígena del siglo XVI novohispano. <http://blogs.acatlan.unam.mx/scronicas/2015/09/26/reflexiones-sobre-la-muerte-entre-los-antiguos-nahuas-ii/>
- Suhail S, A. y Robles Q, E. F. (2008). Dasonomía Urbana del Municipio de Oaxaca de Juárez, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, No 97. ISSN 1696-835

CAPITULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se presenta información clave sobre el arbolado urbano, así como la importancia que tiene y que ha ido adquiriendo por sus múltiples beneficios que brinda para las ciudades y sus habitantes.

2.1 Arbolado urbano

A lo largo del tiempo se han acuñado diferentes definiciones al término arbolado urbano que resultan interesantes revisar debido a que cada definición se ve cambiante debido a la dinámica constante en la que está el arbolado urbano durante el paso de los años. Algunas de ellas son:

“Comunidad biológica dominada por árboles, incluyendo la fauna asociada, que se encuentran dentro de la zona urbana de una ciudad o pueblo, incluyendo las áreas de transición urbana rural. Los bosques urbanos son de diversas escalas y tamaños tales como, pero sin limitarse a, lineal, periferal y de parcho” (Ley de Bosques de Puerto Rico, 1975).

“Los árboles y vegetación asociada que se encuentra en la ciudad conforman el bosque urbano, del cual sus principales componentes son el arbolado de alineación, que se ubica a lo largo de las banquetas de calles, avenidas y camellones; así como las áreas verdes entre las que destacan los parques, jardines, glorietas y otros espacios abiertos con vegetación como lo son cementerios, barrancas y riberas de los ríos o arroyos que surquen la ciudad” (Benavides, 1989).

“El árbol urbano es un elemento fundamental en el paisaje de la ciudad, brinda diversos beneficios de orden ambiental, estético, paisajístico, recreativo, social y económico, los cuales son aprovechados de variadas formas por los pobladores locales, estos disfrutan de su presencia y lo convierten en un elemento integrante del paisaje urbano, a tal punto que se constituye en uno de los indicadores de los aspectos vitales y socioculturales de la ciudad” (Wiesner, 2000)

“Son quizá el elemento fundamental por excelencia en los entornos urbanos, ya que conforman y caracterizan el paisaje de las ciudades y pueblos, son referentes simbólicos y fuente de inagotables beneficios frente al hostil ambiente de lo construido, regulando y armonizando microclimas, y aspectos ambientales significativos como los relacionados con la movilidad y la industria, en fin, con la dinámica propia de las ciudades y centros urbanos” (Llanos, 2015).

“Sistemas que comprenden todos los árboles ubicados en las áreas urbanas y periurbanas; incluyendo bosques, árboles en las calles, árboles en los parques y jardines y árboles en las esquinas de las calles” (FAO, 2017)

2.2. El papel de los bosques urbanos

Diversos autores hablan sobre los bienes y servicios que ofrecen y la mayoría coinciden en dividirlos en las siguientes categorías:

2.2.1 Beneficios ambientales

Arbor Day Foundation (2022) destaca el papel fundamental que desempeñan los árboles en las ciudades, especialmente en el contexto actual del cambio climático. Uno de los beneficios más subestimados y pasados por alto de los árboles urbanos es su capacidad para reducir el flujo de agua que corre por las calles y desagües después de una tormenta. Al disminuir esta escorrentía se reduce la necesidad de invertir en costosa infraestructura y se mejora la calidad del agua que llega a los ríos y lagos. Los árboles interceptan la lluvia y retienen parte de ella en sus hojas y corteza. Una fracción de esta lluvia interceptada se evapora, mientras que otra se libera gradualmente en el suelo. Este proceso ayuda a mitigar el impacto de las tormentas y a regular el flujo de agua en las áreas urbanas.

La caída de las hojas de los árboles desempeña otro papel fundamental, en la formación de una capa esponjosa en el suelo que tiene múltiples beneficios. Esta capa ayuda a regular la temperatura del suelo y a retener la humedad. Además, proporciona un hábitat para organismos que descomponen y reciclan la materia

orgánica, lo que contribuye al crecimiento de las plantas. Esta capa también juega un papel importante en la filtración de la lluvia, evitando que se precipiten y arrastren contaminantes como petróleo, metales y otras sustancias tóxicas. Las raíces de los árboles, por su parte, ayudan a mantener el suelo en su lugar y absorben agua, que luego se libera a la atmósfera a través de la transpiración (Arbor Day Foundation, 2022).

Los árboles desempeñan un papel esencial en la protección contra las condiciones climáticas adversas y contribuyen a crear un entorno más seguro y protegido. La densidad del follaje de un árbol o grupo de árboles influyen en su capacidad de resistencia al viento. Cuanto más frondoso sea el follaje, mayor será la protección contra las ráfagas de viento asimismo tienen la capacidad de absorber y amortiguar la lluvia, aguanieve y granizo, proporcionando protección a las personas, vehículos y edificios ubicados debajo de ellos (ISA, 2013).

Sobre el efecto de la temperatura y el calor en la ciudad, Arbor Day Foundation (2022), afirma que, en algunas áreas urbanas, las temperaturas tienden a ser más altas que en sus contrapartes suburbanas. Éstas se conocen como islas de calor, y las temperaturas del aire de verano en las islas urbanas pueden ser de 2 °C a 22 °C más altas que las áreas circundantes. El efecto de isla de calor no solo aumenta la temperatura, contribuye a las muertes relacionadas con el calor y algunas enfermedades entre los residentes de la ciudad. Este problema se agrava con las temperaturas extremas de verano que cada vez son más comunes ante el cambio climático.

Varias investigaciones demuestran que los árboles desempeñan un papel crucial en el enfriamiento de las comunidades y en la reducción de los problemas de salud relacionados con el estrés por calor. La plantación de árboles ya sea en parques urbanos, a lo largo de las calles o en áreas privadas de césped, puede ser una medida efectiva para mitigar las temperaturas urbanas y reducir las consecuencias para la salud del estrés por calor. Al romper las islas de calor urbanas y aumentar la vegetación en las comunidades, no solo se combate el aumento de las temperaturas, sino que también se mejora el bienestar general

de las personas y se pueden prevenir tragedias (Arbor Day Foundation, 2022). La sombra de los árboles puede promover ambientes estables de temperatura del aire con una oscilación térmica de menos de 2 ° C en las horas más calurosas del día (Castro, 2022).

La presencia de vegetación en entornos urbanos contribuye a conservar la biodiversidad en las ciudades. Los árboles y arbustos desempeñan un papel crucial al ofrecer refugio, lugares de descanso y sitios de anidación a numerosas especies de aves, tanto residentes como migratorias. Estos elementos verdes en el paisaje urbano son esenciales para prevenir la desaparición de las aves y mantener su presencia en las áreas urbanas (Figueroa y DSaz-Galiano, 2018).

2.2.2 Beneficios socioculturales

La vegetación cumple un papel crucial en la arquitectura al desempeñar diversas funciones, como definir espacios al delimitar rutas de tránsito y marcar los límites de áreas específicas. También puede actuar como pantalla o cortina, ocultando vistas desagradables, brindando privacidad y realzando el paisaje. La presencia de vegetación suaviza las líneas arquitectónicas y aporta un aspecto más natural a las construcciones (Mohedano, 2005; De la rosa y Picazo, 2020). Reducen el resplandor y los reflejos solares (ISA, 2013).

La presencia de árboles y vegetación en general mejora la belleza de la ciudad y forma una parte integral del paisaje urbano, según la perspectiva del ciudadano. Los árboles y arbustos aportan un carácter distintivo a las ciudades y pueblos, con su diversidad de formas, colores y flores. El sistema verde de la ciudad agrega textura y enriquece su identidad. En resumen, los árboles y la vegetación desempeñan un papel esencial en la estética urbana, mejorando la belleza visual de la ciudad y aportando un elemento distintivo que contribuye a definir su identidad (Figueroa y DSaz-Galiano, 2018).

Los árboles y los bosques urbanos ofrecen experiencias emocionales y espirituales de gran importancia en la vida de las personas, lo cual puede generar

un fuerte vínculo y apego hacia lugares específicos y los propios árboles (Chenoweth y Goster, 1990; González 2002).

2.2.3 Beneficios económicos

La presencia de vegetación urbana tiene un impacto positivo en la economía de las ciudades. Una ciudad que cuenta con una buena cobertura arbórea crea una impresión favorable en sus visitantes. Además, una ciudad con una amplia presencia de áreas verdes genera empleo a través de políticas municipales orientadas a la generación de empleo verde y el mantenimiento de dichos espacios (Figueroa y DSaz-Galiano, 2018).

Los hogares con jardines tienen un valor de mercado entre un 5% y un 20% más alto que los hogares sin áreas ajardinadas. Los beneficios económicos directos están relacionados principalmente con los costos energéticos. Los hogares con sombra natural experimentan menores gastos en aire acondicionado, mientras que aquellos con elementos que los protegen del viento reducen los gastos de calefacción (ISA, 2013).

2.2.4 Beneficios a la salud

La presencia de árboles tiene un impacto profundo en nuestras emociones. La neuropsicología urbana, un campo emergente de la psicología se enfoca en investigar las interacciones entre los seres humanos y la naturaleza en entornos urbanos. Los árboles desempeñan un papel fundamental en el equilibrio psicológico al mejorar la calidad de vida y el bienestar de las personas, y establecer conexiones entre los ciudadanos y la naturaleza. Tanto los árboles como los arbustos presentes en calles y plazas generan un sentimiento de orgullo en los residentes de un vecindario y contribuyen a la formación de una identidad comunitaria. Los tonos verdes transmiten una sensación de tranquilidad y pueden generar estados de ánimo pacíficos, lo cual es especialmente valioso en entornos urbanos que suelen ser estresantes (Figueroa y DSaz-Galiano, 2018).

Incluso desde la perspectiva de una oficina, la cercanía a la naturaleza puede brindar beneficios psicológicos significativos, influyendo en la satisfacción laboral y el bienestar general (Kaplan, 1993; González 2002). Las personas que carecen de vistas a paisajes urbanos con presencia de árboles experimentan con mayor frecuencia sentimientos de ansiedad, irritabilidad, tristeza y estrés (Ulrich, 1984; Chacalo 2016).

El ruido es un factor significativo en las ciudades que afecta negativamente la calidad de vida y puede generar enfermedades. Los árboles y las plantas desempeñan un papel importante en la reducción de la contaminación acústica a través de diversas formas, como la absorción, desviación, reflexión y refracción del sonido. Estas acciones ayudan a disminuir la reverberación del ruido generado por los vehículos en las fachadas de los edificios (Figuerola y DSaz-Galiano, 2018).

2.3 Infraestructura verde

De acuerdo con la Comisión Europea (2014), la infraestructura verde puede definirse, en términos generales, como una red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad con otros elementos medioambientales, diseñada y gestionada para proporcionar un amplio abanico de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad tanto de los asentamientos rurales como urbanos. Y sus principios son:

- Fomentar una mejor calidad de vida y bienestar humano, por ejemplo, ofreciendo un medio ambiente de alta calidad en el que poder vivir y trabajar
- Mejorar la biodiversidad, por ejemplo, reconectando zonas naturales aisladas y aumentando la movilidad de la fauna silvestre en un paisaje más amplio
- Proteger contra el cambio climático y otras catástrofes medioambientales, por ejemplo, reduciendo las inundaciones, almacenando carbono o evitando la erosión del suelo

- Fomentar un enfoque más inteligente e integrado del desarrollo, que garantiza que el limitado espacio se utiliza de la forma más eficiente y coherente posible.

Para México, el término infraestructura verde es reciente y no tiene mucho tiempo que se empieza a usar. La Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) es uno de los organismos públicos que está atendiendo e impulsando de la mejor manera las necesidades de gestionar y aumentar las áreas verdes en la Ciudad de México.

La SEDEMA (2023) define los principios de la infraestructura verde como una acción para contribuir al amortiguamiento de riesgos y de esta manera contribuir a la construcción de resiliencia de las ciudades mediante la conservación de la biodiversidad, disminución de inundaciones, control de escorrentías y manejo de drenajes, aumento y mejoramiento de espacios verdes y la creación de empleo y el aumento del valor económico de bienes inmuebles. Quiroz (2018) afirma que día tras día, los ambientes naturales en las ciudades tienen cada vez mayor importancia debido a la mitigación y la adaptación al cambio climático como sus principales beneficios.

2.4 Indicadores paisajísticos de vegetación urbana

Varios autores, que a lo largo de los años se han dedicado al estudio de la vegetación arbórea, han creado y propuesto indicadores para determinar si cierta área cumple o no con determinados parámetros de presencia, abundancia, diversidad y proximidad. Se presentan a continuación dos reglas propuestas como indicadores de calidad de un área verde:

2.4.1 Regla del 10 - 20 - 30 (Santamour)

Propuesta por el difunto Dr. genetista investigador del *Arboretum* Nacional de los Estados Unidos, Frank Santamour, la regla del 10-20-30 publicada en su artículo “Trees for urban planting: Diversity, uniformity, and common sense” y presentada en 1990 en la conferencia “Metropolitan Tree Improvement Alliance”, establece qué, en un área verde, ninguna especie arbórea debe componer más del 10%

del bosque urbano de un municipio, ningún género debe tener una cuota superior al 20%, y ninguna familia debe componer más del 30% del bosque urbano.

El principal objetivo de esta regla surge como guía para evitar el ataque devastador de las plagas que arremeten contra poblaciones vulnerables de árboles, donde la posibilidad de daño se incrementa en aquellas comunidades donde hay pocas especies. El aumento en la diversidad de especies promete una mejora en la defensa contra las plagas en el arbolado urbano (Marrritz, 2013)

Aunque esta regla ha sido debatida a lo largo de los años, se ha hecho ampliamente conocida y adoptada, lo que muy probablemente ha tenido un efecto positivo en la estructura y diversidad de los bosques urbanos (Corrales, 2021).

2.4.2 Regla del 3-30-300 (Konijnendijk)

De acuerdo con Arbor Day Foundation (2022), otra regla que ha venido a tomar importancia en la decisión para la implementación de bosques urbanos es la regla 3-30-300, que habla sobre la calidad y la cercanía de las áreas verdes para la población. Dicha regla fue propuesta por el Dr. Cecil Konijnendijk van den Bosch, el director del Instituto de Soluciones Basadas en la Naturaleza (Nature Based Solutions Institute) y director del programa Maestría en Liderazgo Forestal Urbano en la Universidad de British Columbia.

Ésta regla se centra en las contribuciones cruciales de los bosques y otras naturalezas urbanas a la salud y bienestar. También aborda la necesidad de que los bosques urbanos se filtren en los entornos de vida. Al mismo tiempo, es sencillo de implementar y monitorear.

Los tres principios que componen esta regla son:

- 3 árboles desde cualquier casa: La idea es que todos los ciudadanos tengan el acceso a observar al menos tres árboles de tamaño decente desde su casa. La importancia de esto se ha remarcado con la reciente pandemia.

- 30% de cobertura de copas en cada vecindario: Brindando todos los beneficios para la salud que proveen los árboles, 30% es un mínimo que debería alentar a las ciudades a esforzarse por más.
- 300 metros hasta el parque o espacio verde más cercano: Esto promueve el uso recreativo de las áreas verdes para mejorar el bienestar mental y la salud física. La Oficina Regional Europea de la Organización Mundial de la Salud ofrece esta recomendación de los 300 metros y describe que el espacio verde debe tener al menos una hectárea en tamaño. Cada componente de esta regla se basa no solo en la vasta experiencia del Dr. Cecil Konijnendijk en el campo de la silvicultura urbana, sino también en una profundidad de los hallazgos de la investigación con respecto a los árboles urbanos. El investigador cree firmemente que aplicar la regla 3-30-300 mejorará y ampliará el bosque urbano local en muchas ciudades, y con eso, promoverá la salud, el bienestar y la resiliencia.

2.5 i-Tree® Eco

Se trata de un software de acceso libre que está diseñado para utilizar datos recopilados en el campo, tanto de árboles individuales, como de inventarios completos o parcelas ubicadas al azar en un área de estudio, junto con datos meteorológicos y de contaminación del aire locales, por hora para cuantificar la estructura forestal; los efectos ambientales y el valor para las comunidades. Programas como la Cooperación Forestal de México – Estados Unidos, promueven el uso de esta aplicación con fines de investigación y gestión del arbolado en diversos medios y cada vez su uso va tomando más importancia.

Este software fue diseñado en 2006 por y para el uso del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA); actualmente, México es uno de los pocos países a los cuales ya se está adaptando tanto en metodología como lenguaje, lo cual hace que sea más eficaz y sencillo de usar. Cuenta también con un listado de especies en un catálogo o base de datos que puede ser retroalimentado por los mismos usuarios y que frecuentemente se está actualizando.

La herramienta i-Tree® Eco sirve para evaluar de manera eficiente, con la correcta capacitación, espacios pequeños o grandes que cuentan con arbolado urbano y con los resultados arrojados poder gestionar y mejorar la toma de decisiones sobre esas áreas (i-Tree, 2017).

2.6 Censo de árboles urbanos

Los censos de árboles son herramientas importantes para la gestión efectiva de los recursos arbóreos, la evaluación de servicios ecosistémicos y la participación comunitaria en la conservación y mejora de los espacios verdes. Conocer el arbolado urbano, en cuanto a su estado actual, su tamaño, localización, estado sanitario, articulación, agregación, abundancia, frecuencia, dominancia, composición (riqueza de especies), y la fauna asociada considerando el número de géneros, especies, la ecología de estos grupos e individuos, el valor ecológico, el valor económico, el valor patrimonial e histórico, es fundamental para gestionar adecuadamente un recurso (Llanos, 2015).

2.7 Riesgo de arbolado urbano

El riesgo dasonómico es el estado estructural y fitosanitario de cada árbol, con base en sus atributos físicos y la presencia de daños (naturales y antropogénicos). Este valor indica cuánto riesgo de daño representa el entorno para el arbolado y a su vez el riesgo de falla que le puede significar a la sociedad. Además, se identifica la severidad de los problemas que presenta cada árbol, para poder recomendar las medidas correctivas y preventivas, a fin de brindar mejores condiciones que se reflejen en individuos sanos y vigorosos (Mohedano, comunicación personal, 2022)

Las intervenciones urbanas, como la expansión de calles, el mantenimiento de infraestructuras y la construcción de viviendas, tienen un impacto directo en los árboles. Estos factores pueden afectar el desarrollo y la supervivencia de los árboles en entornos urbanos de diversas maneras, más allá de los problemas de plagas y enfermedades. Algunos de los factores que influyen incluyen la compactación del suelo, la disponibilidad de agua inadecuada o excesiva, la

contaminación ambiental y el estrés causado por condiciones climáticas adversas. Como resultado, los árboles urbanos pueden experimentar un crecimiento más lento en comparación con los árboles de la misma especie en entornos naturales (Chacalo, 2016).

La falta de planificación urbana y la selección inadecuada de especies arbóreas reflejan la falta de criterios técnicos en la plantación y gestión adecuada de los árboles en entornos urbanos. Esto lleva a una incompatibilidad entre los árboles y la infraestructura existente, como postes de iluminación, cables subterráneos y cajas de inspección. Como resultado, los árboles están expuestos a daños, lo que puede provocar el deterioro de la madera debido a microorganismos e insectos. Además, el estrés al que se ven sometidos los árboles en entornos urbanos a menudo los hace más susceptibles a plagas y enfermedades, lo que aumenta el riesgo de caída de los árboles en la ciudad. Por lo tanto, es crucial realizar una evaluación técnica para diagnosticar adecuadamente el riesgo de caída de los árboles y prevenir posibles daños a personas, vehículos y edificios (Chacalo, 2016)

2.8 Problemática del arbolado urbano

El arbolado urbano en México enfrenta una serie de desafíos y problemas que han surgido desde hace años y han ido creciendo; Algunos de los principales son (Benito y Arce, 2022):

Pérdida de áreas verdes: La expansión urbana y el desarrollo infraestructural han llevado a la deforestación y la pérdida de áreas verdes en muchas ciudades de México. Esto ha resultado en la disminución de la cantidad de árboles y espacios verdes disponibles en las ciudades.

Contaminación del aire y del suelo: Las ciudades mexicanas a menudo experimentan altos niveles de contaminación del aire y del suelo debido a la industria, el tráfico vehicular y otras actividades humanas. Esta contaminación puede tener un impacto negativo en la salud y el crecimiento de los árboles urbanos.

Estrés hídrico: En muchas ciudades mexicanas, la disponibilidad de agua es limitada y los árboles urbanos a menudo enfrentan estrés hídrico debido a la falta de riego adecuado. La falta de agua suficiente puede afectar la salud y la supervivencia de los árboles.

Enfermedades y plagas: Los árboles urbanos en México pueden verse afectados por diversas enfermedades y plagas, como los barrenadores, palomillas, heno, hongos y muérdagos, entre los principales. Estas enfermedades y plagas pueden debilitar y matar a los árboles si no se manejan adecuadamente.

Falta de mantenimiento adecuado: En algunas ciudades mexicanas, la falta de recursos y personal para el mantenimiento regular de los árboles urbanos puede resultar en un cuidado deficiente, lo que puede llevar a problemas de salud y crecimiento de los árboles.

Falta de conciencia y participación ciudadana: La falta de conciencia y participación ciudadana en la protección y conservación del arbolado urbano puede dificultar los esfuerzos de manejo y conservación. La falta de comprensión de los beneficios de los árboles urbanos puede llevar a la falta de apoyo y compromiso por parte de la comunidad.

2.9 Estudios en México

De acuerdo con Suhail y Robles (2008), con el auge que tuvo Miguel Ángel de Quevedo y la formación de la Sociedad Forestal Mexicana en 1921, comienza una época nueva para México y el estudio de las áreas verdes urbanas por primera vez. Sin embargo, las investigaciones sobre el arbolado urbano comienzan a publicarse después de la década de los años 90 del siglo XX, momento en el que se impulsó la arborización en todo México.

Son pocas las investigaciones pioneras que comenzaron lo que hoy en día es la arboricultura y dasonomía urbana en México, y a través del paso de los años han ido aumentando el número de publicaciones y las diversas ramas de

investigación han ido creciendo, cada una de ellas con el mismo fin, estudiar al arbolado urbano.

La Ciudad de México es una de las metrópolis donde los trabajos de arbolado urbano comenzaron desde los inicios del siglo XX y de los cuales se tienen algunos trabajos registrados. A continuación, se mencionan algunos de los trabajos publicados en México, ordenados por ejes temáticos de los que se compone la presente investigación:

2.9.1 Investigaciones sobre estructura y condición de arbolado urbano

Llanos (2015) afirma que conocer la estructura y condición del arbolado urbano es esencial para una gestión efectiva y sostenible de los árboles en entornos urbanos. Esto garantiza la seguridad pública, mejora la calidad de vida de los habitantes de las ciudades, promueve la sostenibilidad ambiental y contribuye a la planificación urbana y paisajística adecuada.

En uno de los primeros trabajos publicados en México, Glaforo (2005) evaluó el estado del arbolado urbano del área metropolitana de Monterrey, encontró que solo uno de los nueve municipios evaluados cumplió con los m^2 de área verde por habitante que recomienda la ONU ($15 m^2$). Recomienda fomentar la conservación de “áreas de amortiguamiento” así como promover la expansión de áreas verdes y programas de educación ambiental que siembren el valor y la importancia de los árboles en las ciudades.

En el trabajo de Benavides y Fernández (2012), realizado en el área verde más grande de la Ciudad de México – El bosque de Chapultepec – con el fin de estudiar su estructura horizontal y generar indicadores de su masa arbórea, encontraron una densidad promedio de 295 árboles/Ha y un valor promedio de cobertura de copa de árbol de $27.19 m^2$. Dicho estudio es una referencia clave para posteriores trabajos y fundamental para prescribir un futuro plan de manejo para el bosque de Chapultepec.

Parte fundamental de la salud y vigor de un árbol proviene de su copa, ya que ahí es donde se lleva a cabo el proceso de la fotosíntesis. Zaragoza *et al.* (2014) realizaron una investigación en tres áreas verdes de la ciudad de México para conocer la proporción de árboles que se encontraban con un mal estado de su copa. Una copa densa se relaciona directamente con una alta tasa de crecimiento por lo que puede ser un indicador confiable de la salud del arbolado urbano. Como resultado obtuvieron que las especies con el mejor estado de salud fueron aquellas con los valores más altos para la variable densidad de copa y los valores más bajos para las variables transparencia de follaje y deterioro de copa.

Otro caso es el de Saavedra *et al.*, (2016) donde se evaluó la condición de copa en el Bosque de Aragón en la Ciudad de México en 28 parcelas aleatorias. Se tomaron variables de diámetro, altura, condición de copa y densidad. Se evaluaron 760 árboles pertenecientes a 10 familias y 12 especies. Se obtuvieron valores promedio de copa viva de 53.37%, densidad de copa de 44.4% y transparencia de copa del 38.4%. Únicamente el promedio de copa viva alcanzó el mínimo estándar establecido para salud arbórea. Recomiendan estudiar los diferentes agentes que causan estrés y que empobrecen la condición de la copa del arbolado.

Para el año 2018, dentro de la misma localidad, Velasco *et al.* realizan un diagnóstico y caracterización del arbolado del bosque de San Juan Aragón mediante un inventario completo. Contabilizaron 27,756 individuos de 88 especies, de los cuales el 73% de la población es representado solo por 7 especies. Evalúan el riesgo y también encuentran una diversidad baja y concluyen con una condición general buena aceptada para el bosque evaluado.

También para ese año, los autores Leal *et al.* (2018) determinaron la estructura, composición y biodiversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. Recabaron información de 14 parques y registraron 2066 individuos pertenecientes a 41 especies donde la familia más representativa fue Fabaceae. *Fraxinus americana* L. fue la especie más abundante. Este es un caso donde la mayor parte de la composición de los parques son especies introducidas.

2.9.2 Investigaciones sobre servicios ambientales del arbolado urbano

Hoy día los servicios ambientales que proveen los árboles para la salud están siendo más valorados por las personas y esto se debe en gran parte a la investigación y a la difusión científica.

En el trabajo de Escobedo y Chacalo, (2008) utilizan registros sobre las especies presentes y la cobertura arbórea, además de utilizar los datos meteorológicos y de contaminantes de la estación más cercana de la Ciudad de México. Ellos obtuvieron la cantidad de Ozono que remueve dicha cobertura arbórea (representó 26% del área total de 1480 km²) y estimaron que reduciendo tan solo en 1% la cantidad de ozono y de partículas, podrían ahorrar hasta 10 millones de dólares al año.

Para el año 2010, Reyes *et al.* destacan los servicios ambientales que provee la arborización para la ciudad de Toluca, Estado de México, y plantean los retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad. Cabe destacar que Toluca es la capital del Estado de México y ha estado en constante crecimiento en cuanto a la arborización y el aumento de la infraestructura verde de la ciudad. Recientemente, en abril de 2023 se llevó a cabo el primer Congreso de Arboricultura y Dasonomía Urbana cuyo principal fin fue la difusión de investigaciones y la conservación del arbolado urbano como parte indispensable de una ciudad saludable.

En el trabajo de Gómez *et al.* (2013) se sintetizan conocimientos y métodos para clasificar y valorar los servicios ecosistémicos para la planificación urbana en tres pasos. En primer lugar, clasifican los servicios que provee el arbolado, en segundo describen la valoración económica de estos y finalmente identifican los desafíos que enfrentan. Finalmente señalan que conservar y restaurar los servicios ecosistémicos en las zonas urbanas puede reducir las huellas y las deudas ecológicas de las ciudades, al tiempo que mejora la resiliencia, la salud y la calidad de vida de sus habitantes.

2.9.3 Investigaciones sobre riesgo de arbolado urbano

Una de las líneas de investigación en donde la literatura escasea es el riesgo de arbolado urbano. Para la segunda década del siglo XXI apenas comienzan en México a publicarse investigaciones enfocadas en este tema.

Zaragoza *et al.* (2015) evalúan la efectividad de la metodología propuesta por el inventario nacional forestal y de suelos para diagnosticar la salud del arbolado. Se evaluaron tres áreas de la ciudad de México y se estimaron las frecuencias y el índice de severidad de daño. El principal problema identificado fue el vandalismo y otras actividades como el escaso mantenimiento también fueron parte fundamental del problema. La presencia de daños repercute de manera negativa en los beneficios que brindan los árboles a los habitantes.

Tal es el caso de Pérez *et al.*, (2018) donde realizaron un inventario de árboles urbanos, dentro del Instituto Tecnológico Superior Venustiano Carranza, para establecer indicadores de riesgo y posteriormente un plan de manejo para disminuir la probabilidad de caída de algún individuo. Registraron 143 individuos de 12 especies y obtuvieron un índice de 0.3 árboles por habitante. El riesgo de caída de un árbol hacia una persona o edificio se explicó en un 38% de la varianza total de los datos. Concluyen que entre más información se tiene sobre las consecuencias de caída de un árbol, la percepción del riesgo es menor.

2.9.4 Investigaciones sobre biodiversidad en parques urbanos

El trabajo de Pujol (2007) aborda el efecto que ha tenido la acción antrópica a lo largo del tiempo en la biodiversidad y cómo ésta ha ido disminuyendo y esto a su vez ha generado una problemática que pone en riesgo la biodiversidad existente y con ello sus servicios ambientales que provee, así como los beneficios sociales, económicos y éticos.

Ortega *et al.* (2011) realizaron una evaluación de riqueza y densidad de especies a lo largo de un gradiente de urbanización en la megaciudad conocida actualmente como Ciudad de México. Los resultados demostraron que la mayor

densidad de especies tanto nativas como exóticas fue mayor en áreas verdes destinadas como espacios de vegetación y, por el contrario, la riqueza de especies fue mayor en zonas con niveles intermedios de desarrollo urbano. Se sugiere para aumentar la calidad ecológica de las ciudades, seleccionar una mayor variedad de especies para promover áreas verdes saludables y heterogéneas.

Los autores Alanís *et al.* (2014) estudiaron el arbolado urbano del *campus* universitario de la Facultad de Ciencias Forestales de Nuevo León, encontrando 39 especies de las cuales 12 fueron introducidas y 27 nativas. La familia Fabaceae fue la dominante con 10 especies representando. Determinaron una alta riqueza con el índice de Margalef con 7.62 y el índice de Shannon con 3.05. Los autores determinan que, solamente aplicando el índice de riqueza a las especies nativas de la investigación, es decir excluyendo a las introducidas, se obtuvo una riqueza similar e incluso mayor a la de un ecosistema nativo de matorral espinoso. Este ejemplo de área con arbolado urbano constituye un excelente sitio demostrativo de la buena implementación de especies nativas.

Un trabajo muy interesante se llevó a cabo en los Valles Centrales de Oaxaca, Martínez *et al.* (2017) realizaron un estudio para comparar la riqueza de especies arbóreas entre una zona urbana y una rural. Registraron 110 especies, 99 presentes en la zona urbana y 43 en la zona rural. Para la zona rural se registraron 43% de la población como especies nativas y el otro 57% como especies introducidas. Para la zona urbana el 70% resultó ser especies nativas y el 30% especies introducidas. Las especies más abundantes fueron *Ficus benjamina* L. para la zona urbana y *Pithecellobium dulce* Mart. para la zona rural.

2.10 Problemática e investigaciones en Texcoco

En el municipio de Texcoco de Mora existen distintas problemáticas a distintos niveles. Una de las principales es la falta de personal capacitado en materia de arboricultura, derivado de una mala administración central que no ha priorizado las áreas verdes dentro de los ejes de acción del municipio. Esto se ve reflejado

en la mayoría de las calles, avenidas y jardines. Las malas podas conllevan a tener individuos deformes (Respecto a una copa natural) con copas en mal estado y, por ende, se aprecia un empobrecimiento en el desarrollo de los árboles en la ciudad (De la Rosa y Picazo, 2020).

Otro problema importante es la falta de manejo especializado en podas. De esta forma, se aprecian árboles, a lo largo de la ciudad, en mala condición. Y debido a las malas podas, solamente están sufriendo sin poder expresar sus potenciales máximos en cuanto a crecimiento y en cuanto a los servicios ambientales que brindan.

La falta de biodiversidad es otra de las dificultades por las que atraviesan las áreas verdes del municipio, y esto se ve reflejado en la mayoría de las calles y parques con la monotonía del arbolado que existe. Tal como menciona López (2021) se presenta desde la década de los 70 una arborización masiva en todo México donde se tuvieron buenas intenciones, pero no existió una organización; Texcoco tiene relictos de dichos programas, donde géneros como: *Eucalyptus* Dehnh., *Ficus*, *Jacaranda* D. Don. y *Casuarina* L., entre otros, dominan la diversidad de ciertas áreas a pesar de ser especies introducidas y aunque actualmente ya no son tan bien aceptadas por la población, se siguen utilizando y plantando debido a su gran demanda por sus adaptaciones climáticas.

Finalmente, otro problema importante es el desconocimiento del tema de la arboricultura tanto de las autoridades como de la población en general. Esto se ve reflejado en el maltrato que reciben los árboles por parte de los usuarios e incluso de los mismos trabajadores municipales.

Para el municipio de Texcoco existen muy pocos trabajos, algunos de ellos tesis de licenciatura que hablan sobre el arbolado urbano de la zona, tal es el caso de Morales (2015) que elabora una propuesta para la creación de áreas verdes aprovechando los espacios ociosos de la ciudad de Texcoco, o el trabajo de De La Rosa y Picazo (2020) donde realizan una propuesta de manejo del arbolado

urbano de banqueta. Sin embargo, hay muchos campos y áreas que no se han estudiado.

El trabajo publicado en una revista indizada más reciente para Texcoco es el de Martínez *et al.*, (2021) donde evalúan la diversidad, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado en cuatro parques de Texcoco (Deportivo Silverio Pérez, Jardín Niños Héroes, Jardín municipal y Parque de la Tercera Edad) mediante el uso de i-Tree® Eco. Los autores encuentran una población arbórea compuesta por 391 individuos pertenecientes a 34 especies donde las especies más comunes fueron especies no nativas de México entre los que encabezan en cuanto a abundancia *Ficus benjamina* y *Schinus molle* L. Se determinó una alta biodiversidad mediante el índice de Shannon con 3.89, además de confirmar que ninguna de las tres poblaciones aprobó la regla 10-20-30.

2.11 Literatura citada

- Alanís Eduardo, J. J, Mora-Olivo A., Canizales P., Rocha L. (2014). Estructura y composición del arbolado urbano de un campus universitario del noreste de México Revista Iberoamericana de Ciencias ISSN 2334-250 RelbCi – Diciembre. <http://www.reibci.org/publicados/2014/diciembre/0700111.pdf>
- Arbor Day Foundation (2022) Community Health and Well-being: Follow the 30-30-300 Rule. Tree City USA Bulletin®. <https://www.arborday.org/trees/bulletins/coordinators/resources/pdfs/114.pdf>
- Benavides Meza. H. M. 1989. Bosque urbano: la importancia de su investigación y correcto manejo. In: Memoria del Congreso Forestal Mexicano 1989. Tomo II. Toluca, Estado de México. 19 al 22 de julio de 1989. Gobierno del Estado de México y Academia Nacional de Ciencias Forestales, A. C. 966-992 pp.
- Benavides Meza, H. M., y Fernández Grandizo, D. Y. (2012). Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. *Madera y bosques*, 18(2), 51-71. Recuperado en 02 de julio de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712012000200004&lng=es&ing=es.
- Benito, G. y Arce, M. (2022). El árbol en la ciudad. Manual de Arboricultura Urbana. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/358965480_El_arbol_en_la_ciudad_Manual_de_Arboricultura_Urbana/citation/download

Castro-Mendoza, I. (2022). La vegetación como amortiguador de temperaturas extremas. (Tesis Doctoral, Colegio de Postgraduados, Montecillos Texcoco, Edo. México.) Consultada en: <http://hdl.handle.net/10521/4898>

Chacalo H, A. (2016). Temas de arboricultura, árboles, arbustos, palmas y frutales para las ciudades. Tomo 1. (1.a ed.). Editorial Universidad Autónoma Metropolitana.

Comisión Europea. (2014). Construir una infraestructura verde para Europa. Editorial Unión europea. <https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/GI-Brochure-210x210-ES-web.pdf#:~:text=La%20infraestructura%20verde%20puede%20definirse%2C%20en%20t%C3%A9rminos%20generales%2C,biodiversidad%20tanto%20de%20los%20asentamientos%20rurales%20como%20urbanos>.

Cooperación Forestal México - Estados Unidos. (2020). i – Tree Eco – Una herramienta para el manejo del bosque urbano. [Webinar]. Zoom. <https://fb.watch/ej1KeSIJQy/?fs=eysc=cl>

Corrales I. (2021). Una ciudad verde requiere reglas de arborización y espacios verdes. Página web ojo al clima, disponible en https://ojoalclima.com/entrada_blog/una-ciudad-verde-requiere-reglas-de-arborizacion-y-espacios-verdes/

De la Rosa R, D. M. y Picazo C, N. V. (2020). Propuesta de manejo del arbolado urbano de banqueta en Texcoco de Mora. (Tesis profesional de Ingeniería, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. México)

Escobedo, F., y Chacalo, A. (2008). Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la ciudad de México. Revista Interciencia, 33(1), 29-32. Recuperado en 30 de noviembre de 2021, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000100007&lng=es&tying=es

FAO. (2017). Proyecto de Ley sobre Arbolado Urbano e Infraestructura Verde Boletín N° 14.213-12. Recuperado en https://senado.cl/appsenado/index.php?mo=tramitacion&ac=getDocto&yiddocto=11606&tipodoc=docto_comision

Figueroa C, M. E. y DSaz-Galiano M, L. A. (2018). Los Árboles urbanos y la salud ambiental. Revista oficial de la Asociación Española de Arboricultura. Número 80. Consultada en: https://www.researchgate.net/publication/342563818_Los_arboles_urbanos_y_la_salud_ambiental

- Glaforo J., A. F. (2005). El arbolado urbano en el área metropolitana de Monterrey. Ciencia UANL, enero-marzo, año/vol. VIII, número 001. Universidad Autónoma de Nuevo León Monterrey, México pp. 20-32. <https://www.redalyc.org/pdf/402/40280104.pdf>
- Gómez-Baggethun, E., Barton, D. N., y Iniesta-Arandia, I. (2013). El arbolado urbano y la sostenibilidad de las ciudades: una perspectiva socioecológica. Revista de Estudios Urbanos y Ciencias Sociales, (31), 141-161. <https://doi.org/10.1016/j.eusp>.
- González C. C. (2002) Beneficios del Arbolado Urbano. Ensayo Doctorado. Disponible en <https://digital.csic.es/bitstream/10261/24578/1/Beneficios%20del%20arbolado%20urbano.pdf>
- ISA. (2013). Beneficios de los árboles. <https://www.treesaregood.org/portals/0/docs/treecare/Beneficios%20de%20los%20Arboles.pdf>
- i-Tree (2017). i-Tree® Eco Manual de usuario. <https://www.itreetools.org/support/resources-overview/i-tree-manuals-workbooks>
- Leal Elizondo, C. E., Leal Elizondo, N., Alanís Rodríguez, E., Pequeño Ledezma, M. Á., Mora-Olivo, A. y Buendía Rodríguez, E. (2018). Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. Revista mexicana de ciencias forestales, 9(48), 252- 270. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.129>
- Ley de Bosques de Puerto Rico. (1975). Ley Núm. 133 de 1 de Julio de 1975. Recuperado en “Ley de Bosques de Puerto Rico” [Ley 133 de 1 de julio de 1975, según enmendada] (pr.gov)
- Llanos R, C. (2015). Elementos de manejo de árboles urbanos. (p. 11). Disponible en <https://vdocuments.mx/articulo-elementos-demanejodearbolesurbanos.html>.
- López C. M. (2021). La evolución del arbolado en el paisaje modificado. El caso de la Alcaldía Cuauhtémoc. Presentación, Ciudad de México, México. Recuperado en La evolución del arbolado en el paisaje modificado. <https://www.timetoast.com/timelines/1-ra-alteracion-del-paisaje-natural-del-lago-de-texcoco>
- Marritz Leda. (2013). Is The 10-20-30 Rule for Tree Diversity Adequate? Urban Trees Blog. Disponible en: <https://www.deeprooot.com/blog/blog-entries/is-the-10-20-30-rule-for-tree-diversity-adequate/>
- Martínez López C, P., Hernández Santiago E. y Matthias Rös (2017) Comparación de la riqueza y abundancia arbórea entre zona urbana y rural

en Valles Centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* Vol. 4(2): 103-112, 2017 ISSN: 2007-9559

- Martínez-Trinidad, T., Hernández López, P., López-López, S. F., y Mohedano Caballero, L. (2021). Diversidad, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado en cuatro parques de Texcoco mediante i-Tree Eco. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(67), 202-223. Epub 25 de octubre de 2021. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.880>
- Morales G, L. M. (2015). Propuesta para la creación de áreas verdes aprovechando los espacios ociosos de la ciudad de Texcoco De mora, Estado de México. (Tesis de ingeniería, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. México)
- Ortega-Álvarez R., Rodríguez-Correa H. y MacGregor-Fors I. (2011). Trees and the City: Diversity and Composition along a Neotropical Gradient of Urbanization. *International Journal of Ecology*. Volume 2011, Article ID 704084, 8 pages Doi: 10.1155/2011/704084
- Pérez Miranda, R., Santillán Fernández, A., Narváez Álvarez, F. D., Galeote Leyva, B., y Vásquez Bautista, N. (2018). Riesgo del arbolado urbano: estudio de caso en el Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, Puebla. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 9(45). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.143>
- Pujol L, L. (2007). Biodiversidad y su importancia para la sustentabilidad. *Ecología y sustentabilidad*. https://www.researchgate.net/publication/237313097_Biodiversidad_y_su_importancia_para_la_sustentabilidad
- Quiroz-Benítez D. E. (2018). Implementación de infraestructura verde como estrategia para la mitigación y adaptación al cambio climático en ciudades mexicanas, hoja de ruta. Edición SEDATU, SEMARNAT y GIZ. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/394115/Hoja_de_ruta_IV_Infraestructura_Verde.pdf
- Saavedra-Romero LL., Alvarado-Rosales D., Hernández-de la Rosa P., Martínez-Trinidad T., Mora-Aguilera G. y 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*. 2016;22(2):13-25. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2221321>
- Santamour, F. S. (1990). Trees for urban planting: Diversity, Uniformity, and Common Sense. *Proceedings of the Seventh Conference of The Metropolitan Tree Improvement Alliance*, 7, 57–65.

- Suhail S, A. y Robles Q, E. F. (2008). Dasonomía Urbana del Municipio de Oaxaca de Juárez, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, No 97. ISSN 1696-8352
- Velasco Bautista, E., Cortés Barrera, E. N., González Hernández, A., Moreno Sánchez, F., y Benavides Meza, H. M. (2018). Diagnóstico y caracterización del arbolado del bosque de San Juan de Aragón. Revista mexicana de ciencias forestales, 4(19), 102-111. Consultado en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322013000500009&lng=es&tylng=es
- Wiesner, C. D. (2000). Metodología para la definición de una Estrategia de Arborización. Foro de Arborización Urbana. Bogotá. Consultado en: [Arborizacion-Urbana.pdf \(googlegroups.com\)](#)
- Zaragoza-Hernández A.Y., Cetina-Alcala V.M., Lopez-Lopez M.A, Chacalo-Hilu A., Bauer M.L. de la I-de and Gonzalez-Rosas H. (2014). General Health Condition in Forest Species in Three Parks in Mexico City: Crown Condition. Research Journal of Environmental Sciences, 8: 1-16. DOI: 10.3923/rjes.2014.1.16
- Zaragoza Hernández, A. Y., Cetina Alcalá, V. M., López López, M. Á., Chacalo Hilú, A., Isla de Bauer, M. de L., Alvarado Rosales, D., y González Rosas, H. (2015). Identificación de daños en el arbolado de tres parques del Distrito Federal. Revista mexicana de ciencias forestales, 6(32), 63-82. Consultado en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322015000600063&lng=es&tylng=es.

CAPÍTULO 3. COMPOSICIÓN BOTÁNICA, ESTADO FITOSANITARIO Y RIESGO DE FALLA DEL ARBOLADO DE CINCO PARQUES PÚBLICOS DE TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

Botanical composition, phytosanitary status and risk of tree failure in five public parks in Texcoco, Mexico State.

3.1 Resumen

El arbolado urbano se ha vuelto una parte vital de las ciudades debido a los servicios ambientales que brindan a la población y su importante papel en la mitigación del cambio climático. El objetivo de este trabajo fue determinar la composición, condición de salud de copa, estructura, estado fitosanitario y riesgo de arbolado urbano en cinco parques públicos de Texcoco, Estado de México con el fin de saber si estos cumplen con propuestas internacionales de biodiversidad. Con ayuda de un censo de arbolado urbano, llevado a cabo de agosto 2022 a febrero de 2023, se registraron un total de 1477 individuos pertenecientes a 23 familias y 37 géneros con una riqueza total de 55 especies, de las cuales, *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., *Fraxinus uhdei* L. y *Populus alba* L., son las especies más abundantes. El 82.89% de los individuos censados se reportan como especies introducidas. Se determinó un riesgo bajo de arbolado urbano general. Se concluye que ninguno de los parques cumple con la regla de biodiversidad 10-20-30 propuesta por Frank Santamour debido a la alta abundancia de pocas especies y que hay mucho trabajo por hacer en el manejo adecuado de buenas prácticas para mejorar la calidad y la condición del arbolado.

Palabras clave: *Eucalyptus camaldulensis*, *Fraxinus uhdei*, *Populus alba*, riesgo dasonómico, infraestructura verde, software i-Tree®.

3.2 Introducción

El arbolado urbano desempeña un papel vital en el entorno de las ciudades y comunidades humanas. Estos árboles no solo aportan belleza estética y sombra refrescante, sino que también desempeñan un papel crucial en la mejora del medio ambiente urbano y la calidad de vida de sus habitantes. Sin embargo, este arbolado enfrenta numerosos desafíos, como la contaminación, las enfermedades, el estrés ambiental y la falta de mantenimiento adecuado.

En este contexto, conocer el estado de salud de los árboles urbanos se vuelve fundamental para garantizar su supervivencia y maximizar los beneficios que brindan a la comunidad. La salud de los árboles no solo se refiere a su apariencia física, sino también a su resistencia a enfermedades, su capacidad para capturar carbono, su función en la regulación del clima, la provisión de hábitats para la fauna urbana y la mejora de la calidad del aire (Reyes y Gutiérrez, 2010).

En este sentido, la evaluación del estado de salud del arbolado urbano se vuelve esencial para identificar posibles problemas y tomar medidas correctivas oportunas. Esto implica la realización de inspecciones regulares, el monitoreo de los árboles y la utilización de técnicas y herramientas específicas para evaluar su vitalidad y vigor.

El presente trabajo tiene como objetivo destacar la importancia de conocer el estado de salud del arbolado urbano, resaltando los beneficios que brinda a la comunidad y el entorno urbano. A través de la comprensión de la importancia del arbolado urbano y la necesidad de evaluar su estado de salud, se pueden implementar estrategias de manejo adecuadas y tomar decisiones informadas para su conservación y cuidado a largo plazo. Esto contribuirá a promover entornos urbanos más saludables, sostenibles y agradables, donde los árboles desempeñen un papel fundamental en la calidad de vida de los habitantes de la ciudad.

3.3 Materiales y métodos

Zona de estudio

Ubicado en el Estado de México, de acuerdo con datos del último censo del INEGI (2020), en Texcoco habitan 277,562 personas. La cabecera municipal Texcoco de Mora se localiza en la cercanía de las coordenadas geográficas 98°52'55" O de longitud y 19°30'20" N de latitud. El municipio se encuentra a una altitud de 2,247.

En cuanto a las características climatológicas y de temperatura; el municipio cuenta con clima semifrío y subhúmedo, con lluvias en verano. El promedio de la temperatura para la época de invierno es de 6°C y fuera de esta temporada, de 22°C y su rango de precipitación de 500 – 1,200 mm (INAFED, 2020).

Áreas de estudio

El estudio se llevó a cabo en cinco parques públicos de la ciudad de Texcoco donde se levantó un censo total de su arbolado, ahí se recopilaron los datos de cada individuo arbóreo. Los cinco parques públicos son visitados cotidianamente por los pobladores de la zona y se encuentran distribuidos en puntos aparentemente equidistantes, sin embargo, cada una de las áreas cuenta con diferencias en cuanto al objetivo principal de uso, superficie, elementos arbóreos y edificaciones. Las coordenadas geográficas y la superficie que contempla cada área se obtuvieron de la página web de Google Maps (2023).

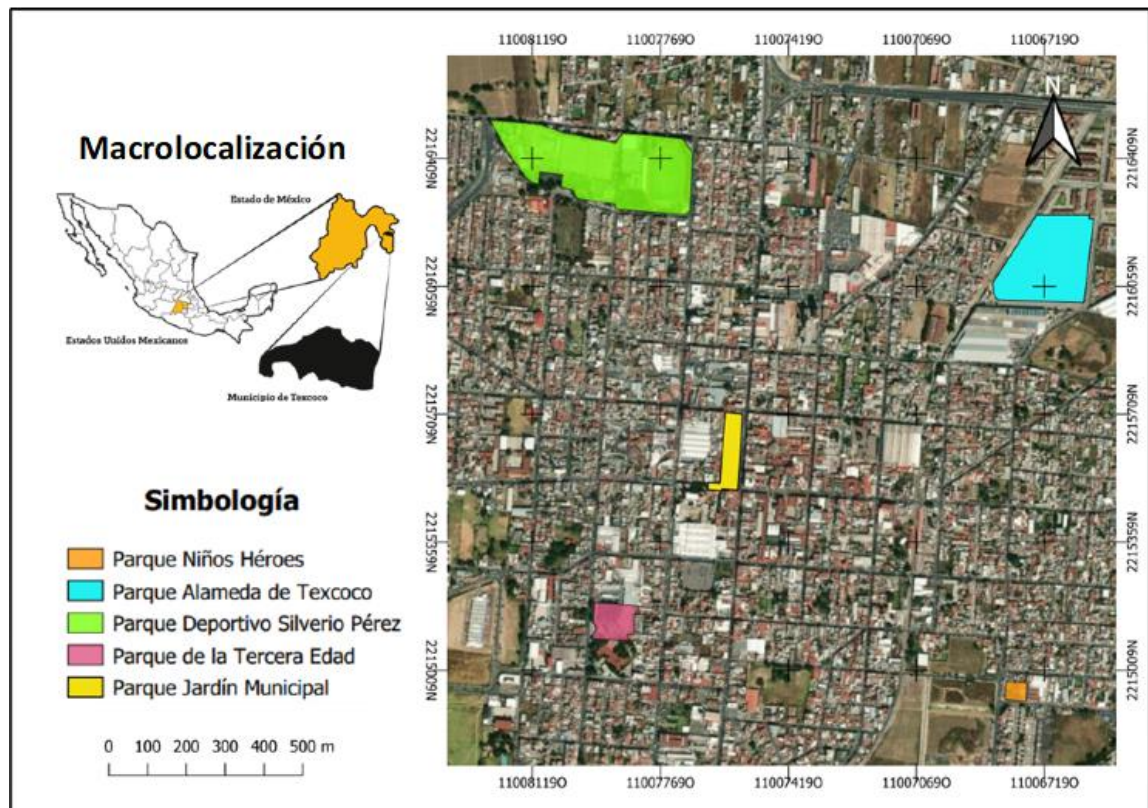


Figura 2. Mapa de ubicación de los cinco parques censados en Texcoco de Mora, Estado de México.

Jardín Municipal de Texcoco

Este jardín se encuentra ubicado hacia el noroeste del centro del municipio (19°30'51.56"N, 98°52'56.04"O). Es conocido como Jardín Central, Municipal o Jardín del Quiosco. Posee un área de 9000 m². Es el jardín más concurrido de la zona debido a su ubicación. Está rodeado de las avenidas principales y grandes comercios y mercados que hacen que el flujo de gente sea constante. Cuenta con diversas especies vegetales, infraestructura para el disfrute y esparcimiento social y cultural de la gente, además de incorporar el elemento del agua en una fuente central.

Unidad deportiva Silverio Pérez

Dicho parque se encuentra al noroeste del centro de Texcoco (19°31'16.80"N, 98°53'4.37"O). Posee un área de 81,500 m². Su principal función es la recreación y el fomento de la práctica del deporte, contando con canchas de futbol, baloncesto, voleibol, tenis, futbol americano, pista de atletismo e incluso gimnasio de pesas. Cabe resaltar que es el parque más grande en superficie dentro del municipio.

Jardín alameda de Texcoco

Este parque se encuentra al noreste del centro del municipio (19°31'8.56"N, 98°52'31.99"O) y cuenta con un área de 42,950 m². Posee una explanada techada donde se realizan eventos públicos de todo tipo, zonas de juegos y zona de ejercicio para niños y adultos. La función principal de este parque es la recreación, aunque los pobladores la usan de manera deportiva viéndoseles realizar actividades físicas alrededor del parque.

Parque de la Tercera edad

Es un parque pequeño ubicado hacia el suroeste del centro de Texcoco (19°30'37.55"N, 98°53'6.67"O) y cuenta con un área de 9,100 m². Como su

nombre lo indica, este parque fue diseñado para la contemplación y el reposo de personas adultas mayores, no obstante, es de acceso libre para todos.

Jardín Niños Héroes

Este último es uno de los parques más pequeños del municipio, contando con 1,600 m². Se ubica al sureste del centro de Texcoco (19°30'32.53"N, 98°52'32.57"O) y su función principal es para la recreación de niños pequeños. Cuenta con escasos elementos arbóreos, una cancha de fútbol rápido y una de baloncesto, además de zona de juegos infantiles.

Censo forestal urbano

Para el levantamiento de los datos de campo, se tomó como referencia el trabajo de De la Rosa y Picasso (2020), se adecuó un formato basado en la metodología V.T.A. (Visual Tree Assessment) planteada por la International Society of Arboriculture (ISA), con las modificaciones pertinentes. Incluye los principales atributos de los árboles que permiten estimar su estado de salud y los posibles riesgos para el sitio donde se encuentran, y para las personas que interactúan con ellos, además que en esta versión se le agregan atributos de manejo tanto de problemas físicos, así como de plagas y enfermedades.

Riesgo dasonómico

Para la obtención del riesgo dasonómico de cada individuo arbóreo de cada parque, se empleó la metodología usada por Noh y Salinas (2019) y De la Rosa y Picasso (2020) donde:

Riesgo dasonómico = Categoría de altura + Categoría de diámetro en la base del fuste + Forma de la copa + Presencia de plagas y enfermedades + Daños físicos y mecánicos + Apariencia + Inclinación del fuste

De acuerdo con la fórmula establecida, se categorizó los puntajes máximos y mínimos obtenidos de riesgo y se les asignó un valor de condición:

Sin riesgo (Valor de ≤ 5). La condición más segura para el arbolado, ya que sólo se perciben factores ambientales que pueden causar algún grado de estrés en los individuos susceptibles, pero no de manera generalizada ni inminente. Se recomiendan intervenciones preventivas de apoyo, contempladas dentro del programa de manejo del arbolado.

Bajo (Valores $>5 - \leq 10$). Son árboles que muestran solamente uno de los factores de estrés, y en una etapa inicial, prácticamente no necesitan intervenciones de manera inmediata, sino que estas pueden programarse para un futuro cercano, en un período que oscila entre uno y tres años. Esto se debe contemplar en un plan de manejo continuo y sostenible para el arbolado.

Medio (Valores $>10 - \leq 15$). Son árboles que exhiben daños, han sido afectados por plagas o enfermedades, o presentan defectos estructurales en alguna de sus partes, pero solo son detectables por un experto en arboricultura. En esta situación, los árboles no muestran signos evidentes de estrés. Se aconseja implementar medidas correctivas en un plazo breve, generalmente entre seis meses y un año a partir del diagnóstico.

Alto (Valor >15). Esta situación de riesgo se caracteriza por la presencia de individuos sin una estructura saludable, que muestran daños graves en algunas de sus partes, signos claros de plagas y síntomas evidentes de enfermedades, o que están creciendo en lugares con serias restricciones en el suelo. Estos árboles presentan una apariencia de deterioro y estrés evidentes. Se sugiere tomar medidas correctivas de forma inmediata, en un plazo que va de uno a seis meses, incluso considerando la posibilidad de su eliminación.

Descripción de las variables involucradas en el estudio

Categoría de altura y diámetro a la base

Para estimar la altura total de cada individuo se utilizó el software “Arboreal® – Height of tree” la cual trabaja con tecnología de realidad aumentada para medir la distancia del árbol al dispositivo y posteriormente tomar los ángulos a la parte superior (ápice de la copa) e inferior del árbol (base del fuste) y con estos datos se estima la altura del árbol (Arboreal, 2023).

Para medir el diámetro se utilizó una cinta diamétrica flexible de tela sintética de 320 cm. diámetro/10 m. lineal FORESTRY SUPPLIER®.

De acuerdo con los puntajes máximos de altura y diámetro, se agrupó en las siguientes categorías y su respectiva puntuación para el análisis de riesgo dasonómico (Noh y Salinas, 2019):

Cuadro 1. Categoría y puntaje de altura (Izquierda) y categoría y puntaje diamétrico (Derecha) para la obtención del riesgo dasonómico.

Categoría de altura (m)	Puntaje	Categoría diamétrica (cm)	Puntaje
2> y ≥ 5	0	3> y ≥ 10	0
5> y ≥ 10	1	10> y ≥ 20	1
10> y ≥ 15	2	20> y ≥ 40	2
15> y ≥ 20	3	40> y ≥ 60	3
20> y ≥ 25	4	60> y ≥ 100	4
25>	5	100>	5

Forma de la copa

Se obtuvieron los diámetros de copa de cada individuo con ayuda de una cinta métrica de 50 m. TRUPPER®. Se tomaron dos datos de diámetro por individuo; el primero de norte a sur y el segundo de este a oeste para promediarlo y obtener el diámetro general de copa.

Además, se registró el porcentaje de la copa saludable de manera visual conociendo previamente la naturaleza de copa de cada especie, lo anterior considerando las figuras modelo recomendadas en el manual de i-Tree® (i-Tree,

2017) (Apéndice 2). De acuerdo con el porcentaje obtenido se agrupó en las siguientes categorías con su respectiva puntuación para el análisis de riesgo dasonómico:

Cuadro 2. Forma, categoría y puntaje de la condición de copa saludable para la obtención del riesgo dasonómico.

Forma de la copa	Porcentaje de copa saludable (%)	Puntaje
Regular	$75 \geq y \geq 100$	0
Irregular	$75 < y \geq 50$	1
Descopado	$50 >$	2
Sin copa	0	S/n

Presencia de plagas y enfermedades, daños físicos, mecánicos y apariencia

Se registraron de manera visual los principales agentes que dañan la salud del arbolado urbano, separándolos según el tipo de daño empezando con las plagas y enfermedades presentes o sus signos y síntomas, siguiendo con los daños físicos o mecánicos para finalizar con la apariencia de cada uno de los individuos censados.

La evaluación se realizó para cada tipo de daño presente en los tres principales componentes de cada árbol: raíz, fuste y copa. Finalmente, se le asignó un punto por cada daño diferente presente en cada árbol censado (Noh y Salinas, 2019).

Cuadro 3. Presencia de plagas y enfermedades, daños físicos, mecánicos y apariencia observados.

Plagas y enfermedades	Daños físicos y mecánicos	Apariencia
Patógeno	Descopado	Compartimentación
Signo	Grafitis/Cicatrices	Marchitamiento
Síntoma	Ramas rotas	Muerte descendente
	Tronco encalado	Pudrición
	Incrustaciones	Raíces expuestas

Inclinación del fuste

Con ayuda de un transportador graduado se registró la inclinación perpendicular desde la base del fuste de cada árbol hasta el punto central de la copa para determinar las categorías de inclinación y su puntaje para la fórmula de riesgo dasonómico (Noh y Salinas, 2019).

Cuadro 4. Categoría de inclinación del fuste y puntaje para la obtención del riesgo dasonómico.

Inclinación del fuste (°)	Puntaje
0> y ≥ 25	1
25> y ≥ 50	2
50> y ≥ 75	3
70>	4

Análisis de datos

Los datos se recopilaron y posteriormente capturaron en el software i-Tree® para finalmente ser procesados en un proyecto individual por parque, tomando los siguientes datos de referencia:

Para cada proyecto, se utilizó la estación meteorológica móvil Licenciado Benito Juárez con ID: 766793-99999, con datos del tiempo del 2020 (año más reciente dentro del software).

Los árboles cuya altura de copa fue menor que su altura de fuste limpio, se excluyeron antes de realizar el análisis en el software i-Tree® debido a que este no reconoce individuos con estas características.

3.4 Resultados

Se registraron 1,477 árboles, pertenecientes a 23 familias, 37 géneros y 55 especies, repartidos de la siguiente manera: 43 individuos en Parque Niños

Héroes, 183 en Jardín Municipal, 197 en Parque de la Tercera Edad, 524 en Parque Deportivo Silverio Pérez y 530 en Parque Alameda.

Cuadro 5. Especie y abundancia por parques. *PNH = Parque Niños Héroes, *PTE = Parque de la Tercera Edad. *PDSP = Parque Deportivo Silverio Pérez. *PJM = Parque Jardín Municipal y *PAT = Parque Alameda de Texcoco.

Especie	Abundancia				
	PNH	PTE	PDSP	PJM	PAT
<i>Acacia baileyana</i> F. Muell.					5
<i>Acacia melanoxydon</i> R. Br.		25	3		7
<i>Acacia retinodes</i> Schtdl.	1		1		2
<i>Alnus acuminata</i> Kunth			4		
<i>Araucaria columnaris</i> J.R. Forst					6
<i>Bauhinia divaricata</i> L.		8		2	4
<i>Casuarina equisetifolia</i> L.			100		
<i>Citrus sinensis</i> Osbeck		1			
<i>Cupressus arizonica</i> Greene	8	4	10		15
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill		3	21	1	4
<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw	1		2		93
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	16	27	10		24
<i>Eriobotrya japonica</i> L.		1		1	
<i>Erythrina coralloides</i> DC.					1
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.			192		2
<i>Eucalyptus cinerea</i> F. Muell			1		
<i>Euphorbia cotinifolia</i> L.				3	
<i>Ficus benjamina</i> L.	1	2	1	95	4
<i>Ficus microcarpa</i> L.		9	14	36	19
<i>Fraxinus uhdei</i> L.		2	98	3	30
<i>Grevillea robusta</i> A. Cunn.			1		11
<i>Hibiscus tiliaceus</i> L.					18
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	3		3	12	79
<i>Larix sp.</i> Mill				5	
<i>Leucaena esculenta</i> DC.					3
<i>Ligustrum lucidum</i> W.T. Aiton	2	11	40	1	4
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	2		5		
<i>Magnolia mexicana</i> D.C.				6	
<i>Malus domestica</i> Borkh	1				1
<i>Olea europaea</i> L.					6
<i>Persea americana</i> Mill		1			
<i>Phoenix canariensis</i> J. Benjamin	3	1		7	14
<i>Pinus cembroides</i> Zucc.					3
<i>Pinus greggii</i> Engelm		1		1	

<i>Pinus leiophylla</i> Shiede					1
<i>Pinus patula</i> Schltd.	1		1		
<i>Pinus pinceana</i> Gordon					1
<i>Pinus pseudostrobus</i> L.			1		
<i>Pinus radiata</i> D. Don.			3		
<i>Pinus spp.</i>					8
<i>Pinus teocote</i> Schltd.	1				
<i>Platanus mexicana</i> Moric.					2
<i>Populus alba</i> L.			4		99
<i>Populus nigra</i> L.	1				
<i>Prunus domestica</i> L.		1			
<i>Prunus persica</i> L.		14	1		5
<i>Prunus serotina</i> Kunth		1			
<i>Quercus virginiana</i> Mill				3	
<i>Roystonea regia</i> Kunth		2			30
<i>Salix bonplandiana</i> Kunth.					1
<i>Schinus molle</i> L.		79	5		1
<i>Senna multiglandulosa</i> BH.S. Irwin		2			12
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv			3		1
<i>Taxodium mucronatum</i> Ten	2	2		5	7
<i>Washingtonia filifera</i> L.				2	7
Total	43	197	524	183	530

3.4.1 Parque Niños Héroes

Composición

En el parque Niños Héroes se registraron 43 individuos arbóreos pertenecientes a 10 familias (Cuadro 5). El 67% de los individuos son especies introducidas. La riqueza para el parque es de 14 especies, siendo este parque el de menor riqueza de los cinco.

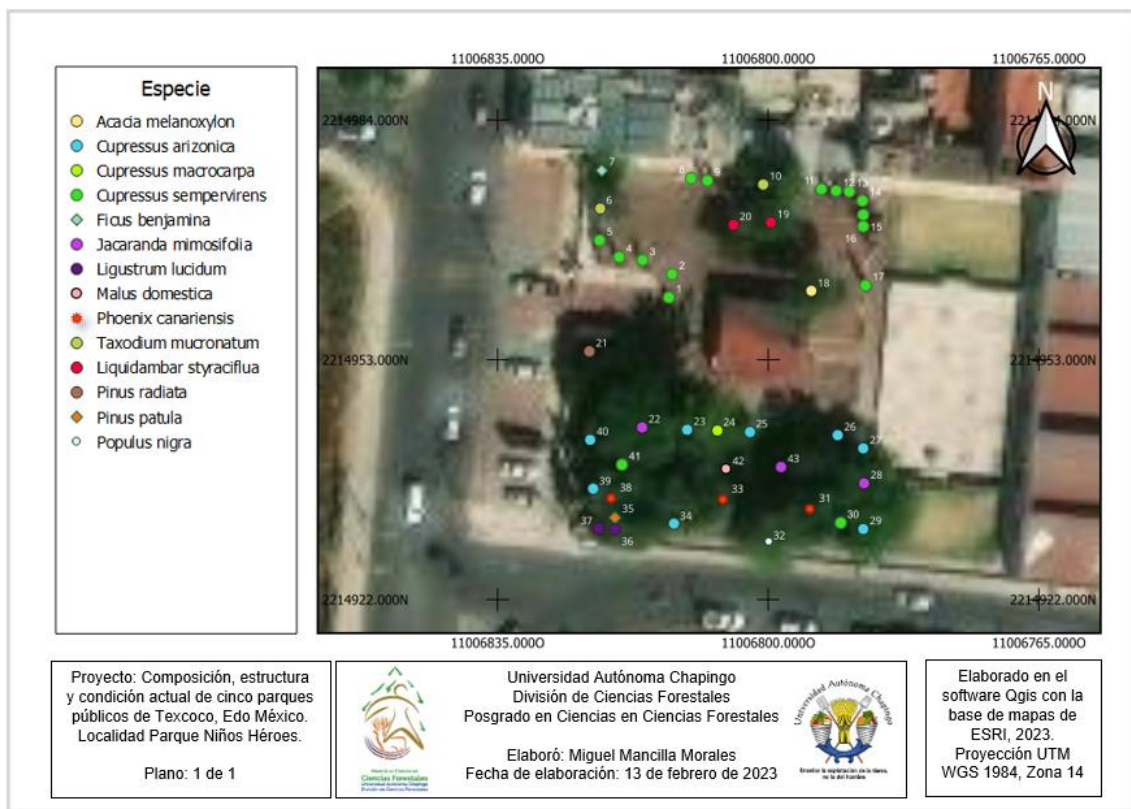


Figura 3. Mapa de ubicación de especies presentes en Parque Niños Héroes, Texcoco, Estado de México.

Diversidad de familia, género y especie.

La diversidad arbórea del parque se distribuye en 10 familias, 11 géneros y 14 especies. La familia Cupressaceae es la más abundante con el 62.79% de la proporción respecto al total de familias, el género *Cupressus* ocupa el 58.14% de la abundancia sobre los demás géneros y finalmente, *Cupressus sempervirens* L. tiene el 37.21% del total de individuos registrados.

De acuerdo con Frank Santamour, el Parque niños Héroes no cumple con la regla 10 – 20 – 30, debido a que sobrepasa la composición propuesta en los tres aspectos. La familia Cupressaceae supera el 30% propuesto con más del 62% de presencia total de los individuos censados. El género *Cupressus* sobrepasa el 20% propuesto alcanzando el 58% de la población total y finalmente las especies *Cupressus sempervirens* y *Cupressus arizonica* Greene. sobrepasan el

10% propuesto con un 37% y 19% del total de individuos censados respectivamente.

Condición de salud de copa

De acuerdo con la evaluación de la salud de copa arbórea, se encontraron 17 individuos con excelente condición, buena, aceptable, mala y crítica. Debido a que este parque es uno de los más recientes de la zona, además de que no se le realizan malas prácticas de mantenimiento, los individuos se encuentran en su mayoría en un estado bueno de salud de copa.

Cuadro 6. Condición de copa del arbolado en Parque Niños Héroes.

Especie	Condición de copa						
	Excelente	Buena	Aceptable	Mala	Crítica	Muriendo	Muerto
<i>Acacia retinoides</i>				1			
<i>Cupressus arizonica</i>		5		3			
<i>Cupressus macrocarpa</i>			1				
<i>Cupressus sempervirens</i>	8	7		1			
<i>Ficus benjamina</i>	1						
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	3						
<i>Ligustrum lucidum</i>			1	1			
<i>Liquidambar styraciflua</i>	1	1					
<i>Malus domestica</i>	1						
<i>Phoenix canariensis</i>	2	1					
<i>Pinus patula</i>					1		
<i>Pinus teocote</i>					1		
<i>Populus nigra</i>			1				
<i>Taxodium mucronatum</i>	1	1					
Total individuos	17	15	3	6	2	0	0
Total (%)	39.53	34.88	6.98	13.95	4.65	0	0

Categoría de altura y diámetro

El promedio de altura fue de 5.5 metros, y de 32.8 centímetros para el diámetro.

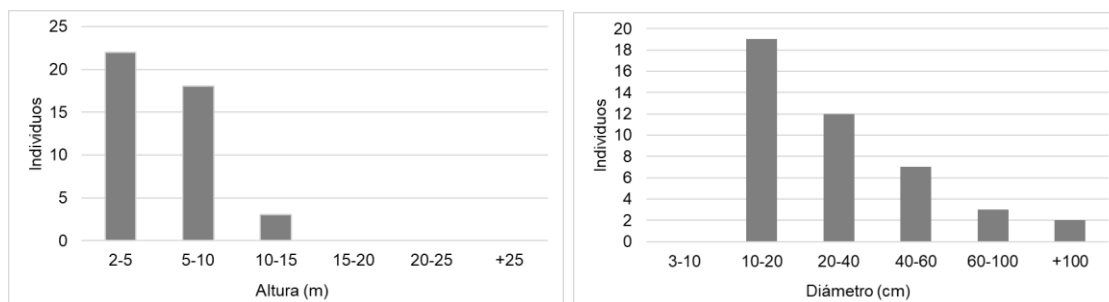


Figura 4. Individuos registrados por categoría de altura (izquierda) y diamétrica (derecha) en Parque Niños Héroes.

De acuerdo con las categorías encontradas, Parque Niños Héroes es un parque en estado juvenil, donde se presentan árboles de porte bajo a medio. No hay individuos que requieran ser retirados si se considera únicamente altura y diámetro. La introducción de nuevas especies para la sucesión del arbolado urbano es nula y la que se hace actualmente se realiza con árboles que no cumplen la calidad de un buen árbol urbano por lo que en su mayoría fracasan y no consiguen sobrevivir.

Estado fitosanitario

La categoría que destaca en cuanto al mal estado es la apariencia, específicamente la presencia de marchitamiento de la copa. Seguido, la pudrición y ramas rotas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Presencia de plagas, enfermedades y daños en el arbolado censado por localidad

Localidad	Presencia	Parque Niños Héroes	Parque Jardín Municipal	Parque de la Tercera Edad	Parque Deportivo Silverio Pérez	Parque Alameda de Texcoco	Total
Número de árboles censados		43	183	197	524	530	1477
Plagas y enfermedades	Plaga	4	3	9	86	5	107
	Enfermedad	4		3	2		9
Daños físicos y mecánicos	Descopado	5	96	7	50	7	165
	Grafitis/Cicatrices	6	139	32	148	426	751

	Ramas rotas	8	151	127	323	149	758
	Tronco encalado	5	127	108	470	1	711
	Incrustaciones	1	10	4	49	1	65
Apariencia	Compartimentación		7		11	7	25
	Marchitamiento	15	22	3	59	8	107
	Muerte descendente	3	15	1	31	8	58
	Pudrición	9	3	12	4		28
	Raíces expuestas	5	1	3	1		10
	Corteza desprendida	4	64	28	277	112	485

Riesgo dasonómico

Para Parque Niños Héroes se encontraron tres categorías de riesgo: sin riesgo, riesgo bajo y riesgo medio. Con un total de 26, 14 y 3 individuos respectivamente. Se tiene un parque con una dominancia de arboles sin riesgo, esto debido a la estructura juvenil del arbolado, su manejo y la ausencia de plagas y daños físicos.

3.4.2 Parque de la Tercera Edad

Composición

En el Parque Tercera Edad se registraron 197 individuos arbóreos pertenecientes a 10 familias. El 92.3% de los individuos son especies introducidas. La riqueza de este parque fue de 21 especies (Cuadro 5).

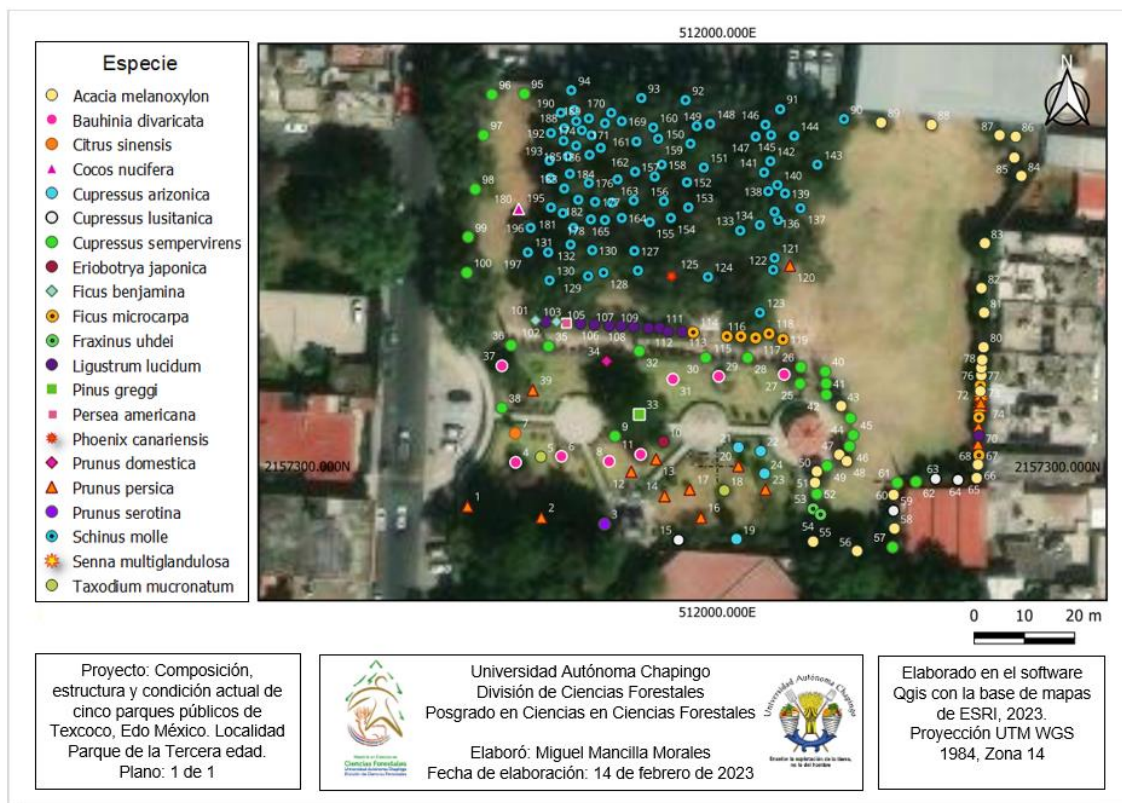


Figura 5. Mapa de ubicación de especies presentes en Parque de la Tercera Edad, Texcoco, Estado de México.

Diversidad de familia, género y especie.

La diversidad arbórea registrada para Parque de la Tercera está compuesta por 10 familias, 16 géneros y 21 especies. La familia Anacardiaceae es la más abundante con el 40.1% del total, seguido de Cupressaceae y Fabaceae con el 18.27% y 17.77% de representación respectivamente. Para el caso de especies, el *Schinus molle* ocupa el 40.1% del total de individuos del parque. Las siguientes especies con mayor abundancia son *Cupressus sempervirens* y *Acacia melanoxylon* R. Br. con un 13.7% y 12.67% del total de individuos respectivamente.

De acuerdo con Frank Santamour, el Parque de la Tercera Edad no cumple con la regla 10 – 20 – 30, debido a que sobrepasa la composición propuesta en los tres aspectos. La familia Anacardiaceae supera el 30% propuesto con un 40% de presencia total de los individuos censados. El género *Schinus* sobrepasa el 20%

propuesto alcanzando el 40% de la población total y finalmente las especies *Schinus molle*, *Cupressus sempervirens* y *Acacia melanoxylon* sobrepasan el 10% propuesto con un 40%, 14% y 12% del total de individuos censados respectivamente.

Condición de copa

De acuerdo con la evaluación de salud de la copa arbórea, se encontraron individuos en condición excelente, buena, mala, aceptable, crítica y muerto. Debido a la edad y condición fitosanitaria de muchos de los individuos, más del 50% presenta una mala condición de copa. Específicamente, la especie *Schinus molle* es una de las que presenta casi la totalidad de sus individuos con una mala condición de copa. Esto gracias a la falta de manejo, la alta densidad y la presencia de plagas, pudriciones y ramas rotas.

Cuadro 8. Condición de copa del arbolado en Parque de la Tercera Edad.

Especie (Nombre científico)	Condición						
	Excelente	Buena	Aceptable	Mala	Crítica	Muriendo	Muerto
<i>Acacia melanoxylon</i>		9	4	12			
<i>Bauhinia divaricata</i>	4	2	2				
<i>Citrus sinensis</i>						1	
<i>Cupressus arizonica</i>		2		2			
<i>Cupressus lusitanica</i>		1		2			
<i>Cupressus sempervirens</i>	4	14	3	6			
<i>Eriobotrya japonica</i>		1					
<i>Ficus benjamina</i>				1	1		
<i>Ficus microcarpa</i>			1	7	1		
<i>Fraxinus uhdei</i>			2				
<i>Ligustrum lucidum</i>				8	3		
<i>Persea americana</i>					1		
<i>Phoenix canariensis</i>	1						
<i>Pinus greggii</i>	1						
<i>Prunus domestica</i>				1			
<i>Prunus persica</i>		4	5	3	2		
<i>Prunus serotina</i>	1						
<i>Roystonea regia</i>			2				
<i>Schinus molle</i>		28	4	40			7

<i>Senna multiglandulosa</i>	2						
<i>Taxodium mucronatum</i>	1						
Total individuos	12	61	23	84	8	1	7
Total (%)	6.09	30.96	11.68	42.64	4.06	0.51	3.55

Categoría de altura y diámetro

El promedio de altura para este parque de 7.1 metros y 26.1 centímetros de diámetro.

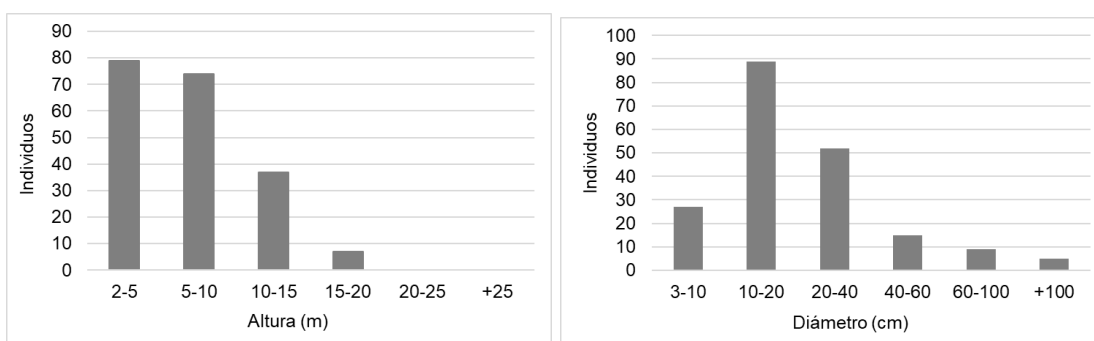


Figura 6. Individuos registrados por categoría de altura (izquierda) y diamétrica (derecha), registrados en Parque de la Tercera Edad.

Estado fitosanitario

Parque de la Tercera Edad presentó 197 individuos y la categoría que destaca en cuanto al mal estado es el daño físico presentando ramas rotas, además de presentar individuos con el tronco encalado (Cuadro 7). Se encontraron individuos de *Schinus molle* con presencia de plagas y enfermedades y pudriciones.

Riesgo dasonómico

Para Parque de la Tercera Edad se encontraron tres categorías de riesgo: sin riesgo, riesgo bajo y riesgo medio. Con un total de 93, 89 y 15 individuos respectivamente. La especie *Schinus molle* representa la totalidad de los individuos de riesgo medio, 15, y 62 individuos de la categoría de riesgo bajo.

Nuevamente la falta de manejo, la alta densidad y el mal estado fitosanitario, los colocan en dichas categorías de riesgo.

3.4.3 Deportivo Silverio Pérez

Composición

En este parque se encontraron 524 individuos arbóreos pertenecientes a 14 familias diferentes. El 74% de la población son especies introducidas. La riqueza del parque es de 24 especies (Cuadro 5).



Figura 7. Mapa de ubicación de especies presentes en Parque Deportivo Silverio Pérez, Texcoco, Estado de México.

Diversidad de familia, género y especie.

La diversidad arbórea del parque se compone de 14 familias, 16 géneros y 24 especies. La familia Myrtaceae es la más abundante con el 36.8% de la proporción respecto al total de familias, el género *Eucalyptus* ocupa el 36.8% de la abundancia sobre los demás géneros y finalmente, *Eucalyptus camaldulensis*

tiene el 36.64% del total de individuos censados. La especie que ocupa el segundo lugar en abundancia es *Casuarina equisetifolia* con un 19.08% del total de individuos en el parque, casi a la par con *Fraxinus uhdei* L. con el 18.7%.

De acuerdo con Frank Santamour, el Parque Deportivo Silverio Pérez no cumple con la regla 10 – 20 – 30, debido a que supera la propuesta en todos los aspectos. Para la proporción de familia, la familia Myrtaceae sobrepasa el propuesto 30% con un 36% de la proporción total de árboles en el parque. Para el género, *Eucalyptus* sobrepasa el 20% propuesto con un 36% del total. Finalmente, para especies, se sobrepasa el 10% propuesto por *Eucalyptus camaldulensis*, *Casuarina equisetifolia* y *Fraxinus uhdei*, con un 36%, 19% y 18% del total de individuos respectivamente.

Condición de copa

De acuerdo con la evaluación de salud de la copa arbórea, se encontraron individuos en condición excelente, buena, aceptable, mala, crítica, y muerto. La condición mayoritaria de salud de copa tiende de aceptable a mala, principalmente debiéndose a la edad de los individuos, además de la presencia de plagas y de daños físicos que degeneran la copa. Es preocupante también que se presentan 25 individuos muertos en pie, ya que representan un riesgo inminente para los usuarios.

Cuadro 9. Condición de copa del arbolado en Parque Deportivo Silverio Pérez.

Especie (Nombre científico)	Condición						
	Excelente	Buena	Aceptable	Mala	Crítica	Muriendo	Muerto
<i>Acacia melanoxylon</i>	1			1	1		
<i>Acacia retinodes</i>				1			
<i>Alnus acuminata</i>				4			
<i>Casuarina equisetifolia</i>	16	8	39	28	8	2	1
<i>Cupressus arizonica</i>			9	1			
<i>Cupressus lusitanica</i>	5	3	5	4	3		1
<i>Cupressus macrocarpa</i>			2				
<i>Cupressus sempervirens</i>	5		2	3			

<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	20	11	65	50	22	4	20
<i>Eucalyptus cinerea</i>			1				
<i>Ficus benjamina</i>			1				
<i>Ficus microcarpa</i>	4	1	8	1			
<i>Fraxinus uhdei</i>	20	11	38	21	2	4	2
<i>Grevillea robusta</i>	1						
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	1						
<i>Ligustrum lucidum</i>	4	5	14	15		1	1
<i>Liquidambar styraciflua</i>			2	3			
<i>Pinus patula</i>					1		
<i>Pinus pseudostrobus</i>	1						
<i>Pinus radiata</i>			1	2			
<i>Populus alba</i>			1	3			
<i>Prunus serotina</i>			1				
<i>Schinus molle</i>		1	3			1	
<i>Spathodea campanulata</i>	1	1	1				
Total individuos	79	41	193	137	37	12	25
Total (%)	15.08	7.82	36.83	26.15	7.06	2.29	4.77

Categoría de altura y diámetro

El promedio de altura para el parque de 11.1 metros y un promedio de diámetro de 34.6 centímetros.

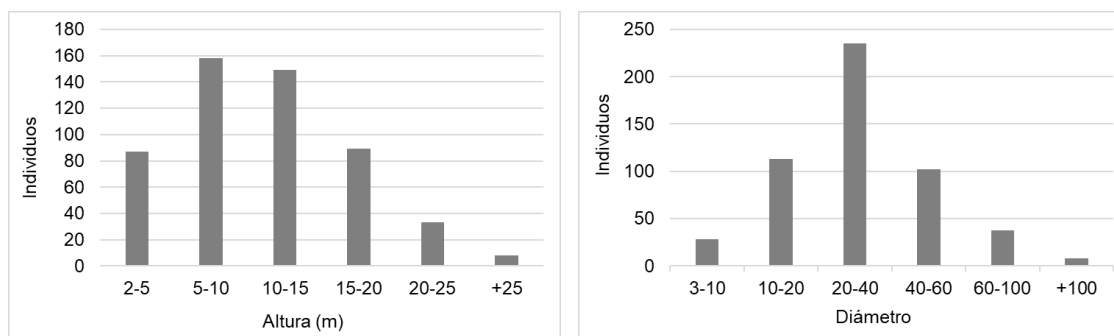


Figura 8. Individuos por categoría de altura (izquierda) y diamétrica (derecho) registrados en Parque Deportivo Silverio Pérez.

Estado fitosanitario

Parque Deportivo Silverio Pérez presentó 524 individuos y la categoría que destaca en cuanto al mal estado son los daños físicos y mecánicos. Se

encontraron individuos con ramas rotas, tronco encalado y algunos presentan cicatrices o grafitis. En la categoría de apariencia, se encontraron individuos con la corteza desprendida y con marchitamiento en su copa. Finalmente, las plagas y enfermedades se presentaron en 86 individuos (Cuadro 7).

Riesgo dasonómico

Para Parque Silverio Pérez se encontraron cuatro categorías de riesgo: sin riesgo, riesgo bajo, riesgo medio y riesgo alto. Con un total de 77, 296, 124 y 27 individuos respectivamente. La especie *Eucalyptus camaldulensis* es una de las protagonistas de los individuos de riesgo con un total de 185 individuos repartidos en 76 en la categoría de riesgo bajo, 88 en la categoría de riesgo medio y 21 individuos en la categoría de riesgo alto. Seguido, *Casuarina equisetifolia* es otra de las especies que más individuos tiene dentro de las categorías de riesgo con 99 individuos repartidos, 81 en la categoría de riesgo bajo y 18 en la categoría de riesgo medio.

La gran mayoría de los individuos de las dos especies mencionadas son de riesgo que deben su calificación a su edad, ya que fueron plantadas hace ya muchos años. Debido a la edad, poseen alturas y diámetros altos lo cual aumenta el riesgo de manera natural y a esto se le suman los daños físicos encontrados y la presencia de plagas y enfermedades.

3.4.4 Parque Jardín Municipal de Texcoco

Composición

En el parque Jardín Municipal de Texcoco se registraron 183 individuos arbóreos pertenecientes a 11 familias. El 91% de la población, son especies introducidas. La riqueza fue de 16 especies para este parque (Cuadro 5).

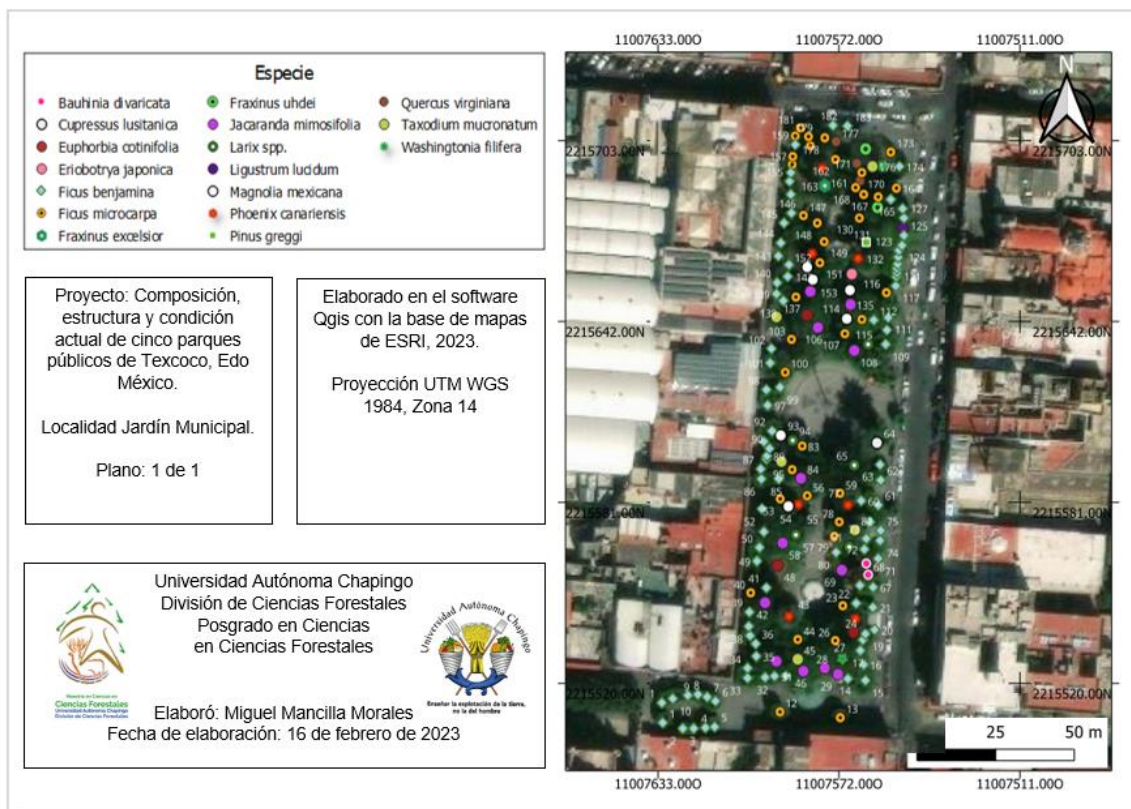


Figura 9. Mapa de ubicación de especies presentes en Parque Jardín Municipal de Texcoco, Texcoco, Estado de México.

Diversidad de familia, género y especie.

La diversidad arbórea del parque se compone de 11 familias, 15 géneros y 17 especies. La familia Moraceae es la más abundante con el 71.5% de la proporción respecto al total de familias, el género *Ficus* ocupa casi la totalidad de la diversidad del parque con el 71.5% de los individuos sobre los demás géneros y finalmente, *Ficus benjamina* tiene el 51.9% del total de individuos censados. La segunda especie más abundante es *Ficus microcarpa* L. con 19.6%.

El parque Jardín Municipal es el que presenta menor diversidad de especies y debido a esto, no cumple con la regla del 10 – 20 – 30 propuesta por Frank Santamour, ya que sobrepasa el porcentaje ideal de familias, géneros y especies. Son dos especies las que más abundan y rompen esta regla, *Ficus benjamina* y *Ficus microcarpa*, ambas pertenecientes a la familia Moraceae. Dicha familia y del mismo modo, el género, representan el 70 % de los individuos totales.

Finalmente, como especies, *Ficus benjamina* representa el 51% y *Ficus microcarpa* el 19% del total de individuos en este parque.

Estado fitosanitario

Parque Jardín Municipal destaca en cuanto al mal estado son los daños físicos, principalmente se presentan ramas rotas, grafitis y cicatrices. También es un parque donde se sigue usando la práctica del encalado de los árboles (Cuadro 7).

Condición de copa

De acuerdo con la evaluación de salud de la copa arbórea, se encontraron individuos en condiciones excelente, buena, aceptable, mala, crítica y muerto. La tendencia de salud de la copa es mala, ya que no se tiene un manejo adecuado, además que existen individuos muy viejos en condiciones críticas.

Cuadro 10. Condición de copa del arbolado urbano de Parque Jardín Municipal de Texcoco.

Especie (Nombre científico)	Condición						
	Excelente	Buena	Aceptable	Mala	Crítica	Muriendo	Muerto
<i>Cupressus lusitanica</i>			1				
<i>Eriobotrya japonica</i>			1				
<i>Euphorbia cotinifolia</i>			2				
<i>Ficus benjamina</i>		1		83	4	4	1
<i>Ficus microcarpa</i>	1	1	4	22			
<i>Fraxinus uhdei</i>	1		1	1			
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	2		3	1	1		
<i>Larix sp.</i>			1	1			1
<i>Magnolia mexicana</i>	1		5				
<i>Phoenix canariensis</i>	1						
<i>Pinus greggii</i>		1					
<i>Quercus virginiana</i>			1				
<i>Taxodium mucronatum</i>	3	1		1			
Total individuos	9	4	19	109	5	4	2
Total (%)	5.92	2.63	12.50	71.71	3.29	2.63	1.32

Categoría de altura y diámetro

El promedio de altura para el parque fue de 7 metros y de 36.1 centímetros de diámetro para el parque.

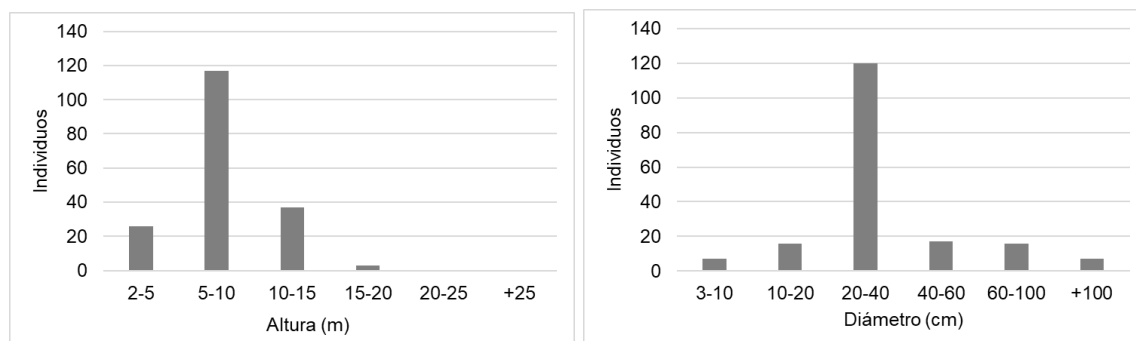


Figura 10. Individuos registrados por categoría de altura (izquierda) y diamétrica (derecha) en Parque Jardín Municipal de Texcoco.

Riesgo dasonómico

Para Jardín Municipal de Texcoco se encontraron cuatro categorías de riesgo: sin riesgo, riesgo bajo, riesgo medio y riesgo alto. Con un total de 16, 126, 39 y 2 individuos respectivamente. La mayor parte de los individuos de riesgo bajo son para la especie dominante, *Ficus benjamina* con 67 individuos y 23 de riesgo medio, y para la especie codominante *Ficus microcarpa* con 32 individuos de riesgo bajo y 4 de riesgo medio. Esta condición se debe en gran parte al mal estado de la copa de dichas especies ya que se tiene un mal manejo y la práctica de malas podas.

3.4.5 Parque Alameda de Texcoco

Composición

En el parque Alameda de Texcoco se registraron 530 individuos arbóreos pertenecientes a 15 familias. El 83% del total de individuos son especies introducidas. La riqueza fue de 27 especies (Cuadro 5).

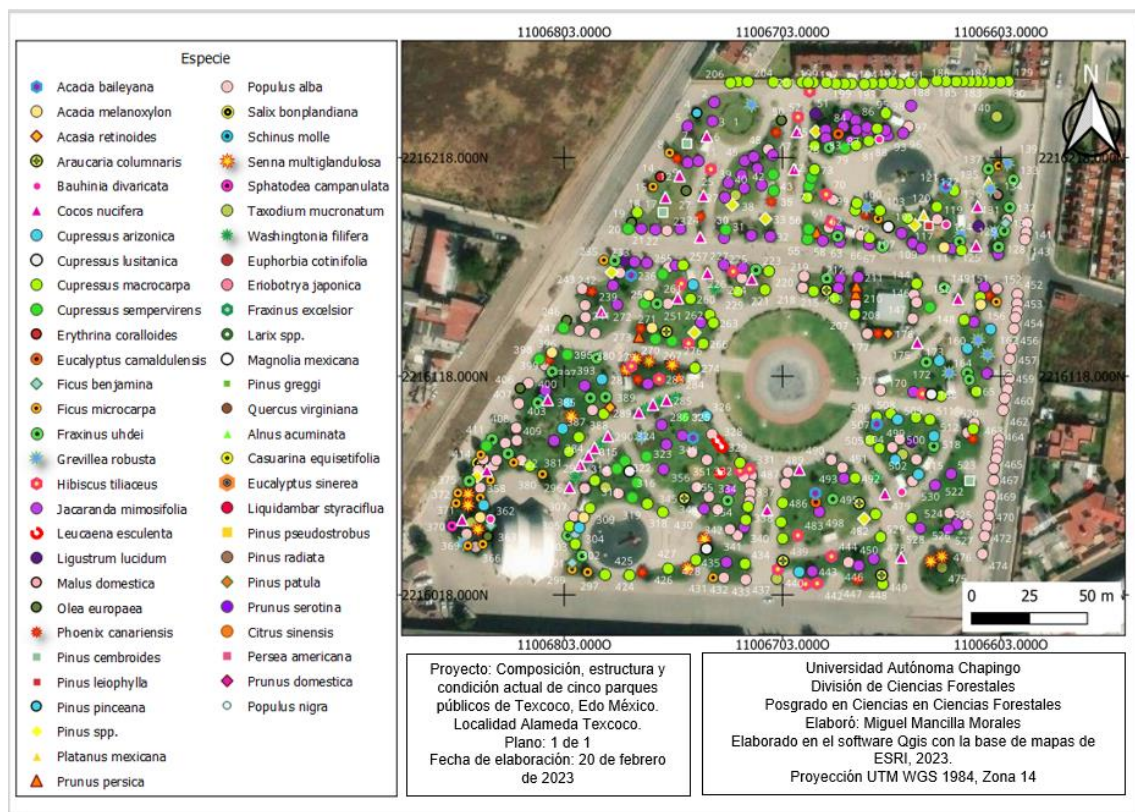


Figura 11. Mapa de ubicación de especies presentes en Parque Alameda de Texcoco, Texcoco, Estado de México.

Diversidad de familia, género y especie.

La diversidad arbórea del parque se compone de 15 familias, 15 géneros y 27 especies. La familia Cupressaceae es la más abundante con el 26.9% de la proporción respecto al total de familias, el género *Cupressus* ocupa el 25.6% de la población sobre los demás géneros, seguido del género *Populus* con 18.67% y finalmente, *Populus alba* L. tiene el 18.69% del total de individuos censados, seguido de *Cupressus macrocarpa* con el 17.54%.

De acuerdo con Frank Santamour, el parque Alameda de Texcoco tampoco cumple con el indicador de paisaje 10 – 20 – 30, ya que sobrepasa 2 de los 3 puntos propuestos en la regla. Para el caso de familias, es el único parque evaluado que no rebasa más del 30%, teniendo este un 27% como máximo de la familia Cupressaceae. Para género, se rompe la regla al sobrepasar el 20% propuesto contando con 26% del género *Cupressus*. Finalmente, las especies

que sobrepasan el 10% propuesto son *Populus alba* con un 18.6 %, *Cupressus macrocarpa* con un 17.5% y *Jacaranda mimosifolia* con un 15%.

Estado fitosanitario

Se registraron 530 individuos en Parque Alameda de Texcoco, en donde destaca el factor de daños físicos y mecánicos como agente principal del mal estado presentado. Los grafitis y cicatrices se presentan en la mayor parte de los individuos, debido principalmente a la acción de los visitantes y gran parte por las malas prácticas con el uso de podadoras para el césped. Se presentan individuos con ramas rotas y para el factor de apariencia presentan corteza desprendida. Por la edad de los árboles, es preocupante que presenten números tan elevados de daños registrados ya que esto incidirá en el desarrollo de los árboles y con esto aumentará su posibilidad de riesgo dasonómico en un futuro.

Condición de copa

De acuerdo con la evaluación de salud de la copa arbórea, se encontraron individuos en condiciones excelente, buena, aceptable, mala, crítica y muerto. La condición general de salud de copa del parque va de aceptable, reduciendo hacia excelente, sin embargo, una gran parte se encuentra en mala condición debido al manejo. Al ser este un parque con especies juveniles es de crucial retomar un manejo adecuado para conseguir un arbolado sano en un futuro.

Cuadro 11. Condición de copa del arbolado en Parque Alameda de Texcoco.

Especie (Nombre científico)	Condición						
	Excelente	Buena	Aceptable	Mala	Crítica	Muriendo	Muerto
<i>Acacia baileyana</i>	2	1	1	1			
<i>Acacia melanoxylon</i>	5	1	1				
<i>Acacia retinodes</i>	1	1					
<i>Araucaria columnaris</i>	2	3					
<i>Bauhinia divaricata</i>			1	2		1	
<i>Cupressus arizonica</i>	8	3	3	1			
<i>Cupressus lusitanica</i>		2	2				
<i>Cupressus macrocarpa</i>	13	27	25	26	1		

<i>Cupressus sempervirens</i>	18	6					
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>		2					
<i>Ficus benjamina</i>		1		2			
<i>Ficus microcarpa</i>	9	2	3	3	2		
<i>Fraxinus uhdei</i>	5	5	6	9	4	1	
<i>Grevillea robusta</i>	4	5	2				
<i>Hibiscus tiliaceus</i>	1	4	7	5			
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	2	9	26	22	3	2	1
<i>Leucaena esculenta</i>		2	1				
<i>Ligustrum lucidum</i>		1		2			
<i>Malus domestica</i>					1		
<i>Olea europaea</i>	1	2	2	1			
<i>Phoenix canariensis</i>	10	1	1				
<i>Pinus cembroides</i>	2			1			
<i>Pinus pinceana</i>	1						
<i>Pinus spp.</i>	2	2	2	2			
<i>Platanus mexicana</i>			1	1			
<i>Populus alba</i>	6	25	44	18	2		
<i>Prunus persica</i>		1	4				
<i>Roystonea regia</i>	4	3	2				
<i>Salix bonplandiana</i>					1		
<i>Schinus molle</i>	1						
<i>Senna multiglandulosa</i>	2	1	3	3			
<i>Taxodium mucronatum</i>	1	2	2	2			
<i>Washingtonia filifera</i>	6	1					
Total individuos	106	113	139	101	14	4	1
Total (%)	22.18	23.64	29.08	21.13	2.93	0.84	0.21

Categoría de altura y diámetro

El promedio de altura para este parque fue de 4.8 metros y de 21.5 centímetros para el diámetro.

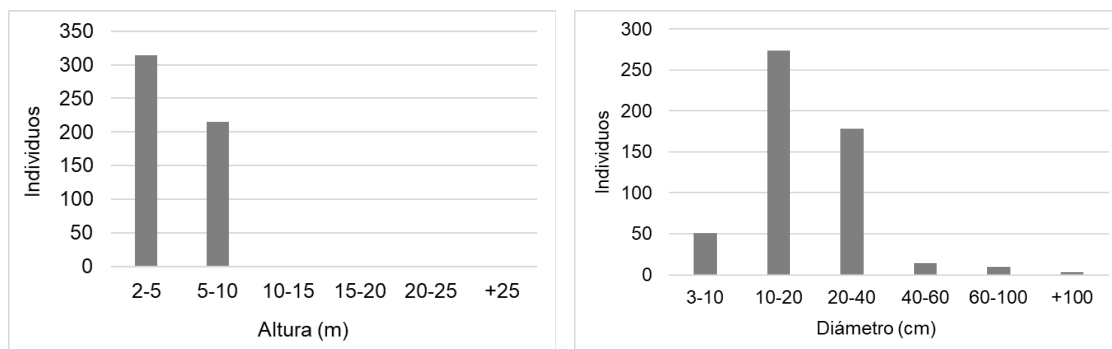


Figura 12. Individuos registrados por categoría de altura (izquierda) y diamétrica (derecha) en Parque Alameda de Texcoco.

Riesgo dasonómico

Para Parque Alameda de Texcoco se encontraron tres categorías de riesgo: sin riesgo, riesgo bajo y riesgo medio. Con un total de 394, 135 y un solo individuo respectivamente. La mayor parte del arbolado se encuentra sin riesgo debido a que son árboles juveniles que no sobrepasan los 10 metros de altura, sin embargo los individuos que presentan riesgo bajo se debe principalmente a los perjuicios registrados por individuo debido al mal manejo.

3.5 Discusión

Los estudios de composición, estructura y condición de los árboles urbanos en parques son de vital importancia para comprender y abordar los desafíos ambientales que enfrenta la sociedad. Sin embargo, en México son pocos los trabajos que hablan al respecto, y es por lo que este trabajo contribuye a conocer los parques de la ciudad de Texcoco, a fin de promover su cuidado y su mejora para maximizar los beneficios potenciales que pueden brindar a la población.

La diversidad biológica beneficia al ser humano de manera indirecta a través de los servicios ambientales que provee (CNDH, 2016), sin embargo, es uno de los principales elementos amenazados por el hombre, no solo en las áreas naturales, sino también dentro de las ciudades (Badii *et al.*, 2015). La correcta implementación y manejo de los parques urbanos es esencial para promover una mayor y controlada riqueza en cuanto a la biodiversidad.

En el presente trabajo se determinó una alta riqueza de 55 especies para los cinco parques censados, en trabajos de regiones climáticas similares a la de Texcoco encontramos el trabajo de Benavides y Fernández (2012), donde muestrearon 111 sitios registrando 1843 árboles pertenecientes a 41 especies, en la segunda sección del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México. En la investigación de Muñoz, *et al.* (2022) evalúan 14 sitios de muestreo en Parque Viveros de Coyoacán, Ciudad de México, registrando 299 árboles de 21 especies diferentes, Saavedra *et al.* (2020) identificaron 10 familias, 11 géneros y 12 especies en 28 sitios de muestreo en el bosque de San Juan de Aragón, Ciudad de México y Hernández, *et al.* (2022) registraron una riqueza de 23 especies para la laguna de San Baltazar, Puebla.

Comparado con trabajos similares realizados en la zona norte de México, donde las condiciones climáticas son distintas a la región donde se ubica Texcoco, encontramos el de Leal *et al.*, (2018) donde determinaron una menor riqueza en 6 camellones, 14 parques y 25 plazas de Linares, Nuevo León, encontrando 2066 individuos arbóreos de 41 especies pertenecientes a 34 géneros y 25 familias. Asimismo, Tinoco (2019) evalúa dos parques en la Ciudad de Durango registrando 376 individuos arbóreos de 15 especies pertenecientes a 12 géneros y 12 familias. De igual manera, Canizales *et al.* (2020) reportan una menor riqueza con 13 especies registradas pertenecientes a 11 géneros para el arbolado urbano de los camellones y parques de la ciudad de Montemorelos, Nuevo León.

Dicha riqueza de los trabajos mencionados es mayor a la reportada por Manzanilla *et al.* (2020), en un área nativa de bosque templado en el sur de Nuevo León, donde se registra la riqueza de solamente 10 especies pertenecientes a 4 familias y lo reportado por Graciano *et al.* (2017), para un bosque templado del noreste de México con 12 especies, 4 géneros y 4 familias. Esto corrobora que los parques urbanos son un gran reservorio de biodiversidad y que los parques de la ciudad de Texcoco están por arriba de la riqueza reportada por otros estudios similares que evalúan más áreas e individuos,

inclusive con los trabajos realizados en áreas con vegetación nativa de bosque templado.

El uso de la diversidad y estructura de la vegetación, como un indicador de la salud de un bosque urbano, es una muy fiable herramienta y ésta es analizada en el trabajo de Saavedra *et al.*, (2020) donde muestra una perspectiva de algunos parques en Bélgica, China y Estados Unidos donde se irrumpe la regla de biodiversidad del 10-20-30 propuesta por Frank Santamour (1990), donde altas frecuencias de cinco especies (*Ficus* sp., *Casuarina* sp., *Ligustrum* sp., *Cupressus* sp. y *Eucalyptus* sp.) componen dichas áreas. Mismo caso sucede con la ciudad de Texcoco, donde ninguno de los parques cumple con la regla de diversidad paisajística mencionada, ya que la abundancia de los parques recae en muy pocas especies. Casi la mitad (49.43%) de la abundancia total de los cinco parques se compone de solamente 6 especies de las 55 registradas; *Eucalyptus camaldulensis* (13.13%), *Fraxinus uhdei* (9.0%), *Populus alba* (6.97%), *Ficus benjamina* (6.97%), *Casuarina equisetifolia* (6.7%), *Jacaranda mimosifolia* (6.5%).

De la misma manera, en el trabajo de Muñoz *et al.*, (2022) las especies *Cupressus lusitánica* Mill, *Fraxinus uhdei* y *Liquidambar styraciflua* L. representaron 53 % del total de la abundancia registrada. Asimismo, Saavedra *et al.* (2020) registró un 69% total de la abundancia representado por las familias Casuarinaceae, Proteaceae, Myrtaceae y Cupressaceae.

Es necesario implementar estrategias de concientización, conservación y manejo de la biodiversidad en los parques urbanos, como la restauración de paisaje y la eliminación de especies invasoras, consideradas la segunda amenaza para la biodiversidad (Badii *et al.*, 2015) y uno de los principales motores del cambio climático global (Aguilar, 2005). Para los parques de Texcoco, se determinó que el 82.89% de las especies registradas son de origen introducido, mientras que la pequeña parte restante, 17.1%, son especies nativas. Esto es similar a lo reportado por Martínez *et al.*, (2022) que encuentran una composición para el arbolado de vialidad de la ciudad de Puebla donde el 73.33 % de las especies

son introducidas y solo el 26.67 % son nativos, asimismo Román *et al.*, (2019) reportan 74% de individuos de origen introducido para la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas. Nuevamente se confirma esta tendencia que han tenido los parques urbanos en México en cuanto a la falta de diversificación y manejo de la biodiversidad.

Es preocupante, además de ser difícil de medir la pérdida de la biodiversidad y más cuando cada vez es más frecuente encontrar la misma especie en distintas partes del mundo (IUCN, 2005). Como ejemplo claro, *Eucalyptus camaldulensis* encabeza la lista de las especies más abundantes en los parques de Texcoco, seguido de *Populus alba*, *Ficus benjamina*, *Casuarina equisetifolia* y *Jacaranda mimosifolia*, todas ellas especies no nativas de México. Al igual que en el trabajo de Saavedra *et al.* (2020), *Casuarina equisetifolia* y *Eucalyptus camaldulensis* son dos de las especies de origen no nativo que dominan la composición para el Bosque de Aragón, Estado de México. De igual forma Román *et al.*, (2019) reportan a *Ficus benjamina* como una de las especies con mayor frecuencia. Continuar con esta cultura de la selección y manejo de especies introducidas va a seguir generando cambios en el ecosistema urbano, aun cuando no se vean reflejados de manera inmediata (Aguilar, 2005).

Respecto a la distribución y accesibilidad de las áreas verdes a la población, existen distintas propuestas como la del Doctor Cecil Konijnendijk van den Bosch que propone la regla 3-30-300, que habla sobre la calidad y la cercanía de las áreas verdes para la población. Dicha regla dice que cada persona debe ver al menos 3 árboles de buen tamaño desde su casa, cada vecindario debe comprender al menos un 30% de vegetación y no debe quedar a más de 300 m de distancia de su casa a pie (Arbor Day Foundation, 2022). Dicha regla se cumple solamente en algunas de las áreas cercanas a las áreas evaluadas en Texcoco, no todas debido a que la cobertura arbórea es distinta en cada parque, así como la superficie. De tal modo que se necesita una estrategia que priorice la creación de parques o manchones de arbolado urbano para poder acrecentar los números actuales y los beneficios ambientales.

En cuanto al arbolado de riesgo, se encuentran varios trabajos realizados en México con diferentes metodologías como el trabajo de Pérez *et al.*, (2018) donde solamente se evalúa la percepción de riesgo de arbolado urbano mediante estadística descriptiva. Saavedra *et al.* (2019) evalúan los defectos y riesgos de arbolado urbano con los métodos Matheny y Clark y el método de Dunster teniendo mejor desempeño el primero. Para el presente trabajo, el riesgo de arbolado urbano fue en general bajo, sin embargo, hay un preocupante caso de árboles de riesgo medio y riesgo alto, que, de no ser atendidos, pueden terminar en un accidente fatal. La seguridad de los árboles en las áreas urbanas es un tema especialmente importante debido a la estabilidad de sus raíces. Esto se vuelve aún más preocupante en regiones geográficas que experimentan con frecuencia tormentas de viento, ciclones y huracanes (Lüttge y Buckeridge, 2020)

Dada la falta de investigación sobre el riesgo de árboles urbanos, se recomienda realizar estudios para comparar las diferentes metodologías de riesgo existentes y aplicadas en México, como ejemplo el trabajo de Reyes *et al.*, (2018) donde comparan cuatro métodos de evaluación visual de riesgo de árboles urbanos en Colombia. Es necesario llevar a cabo investigaciones que abarquen diversas especies de árboles plantados en entornos urbanos, así como una amplia gama de condiciones urbanas. Estas investigaciones deben evaluar los riesgos potenciales de que los árboles se desanclen o colapsen, proporcionando datos esenciales para la gestión y prevención de accidentes (Lüttge y Buckeridge, 2020)

De igual forma, se recomienda iniciar con estudios de fauna en los parques de la ciudad, debido a que es parte fundamental del ecosistema y no se encontraron trabajos al respecto.

3.6 Conclusiones

Se registraron 1,477 árboles, pertenecientes a 23 familias, 37 géneros y 55 especies para los cinco parques censados de los cuales el 82.89% del total de individuos son de origen introducido.

El presente trabajo contribuye a conocer la composición y la condición general del arbolado urbano de los cinco parques censados. Los resultados muestran parques en condiciones aceptables en general, con exceso de especies introducida y un riesgo de arbolado bajo en promedio. En cuestión del estado del arbolado, son los daños mecánicos los que más afectan y estos se deben al mantenimiento que se da en cada parque. El estrés a causa de diversos factores como la falta de agua, las altas temperaturas y los daños antropogénicos, dejan a los árboles indefensos y débiles ante las plagas y enfermedades, por lo que no deben dejar de ser atendidos para no seguir acrecentando problemas futuros para los árboles y por ende representar un riesgo para la población.

De acuerdo con la composición de familias, géneros y especies registradas, así como sus abundancias, ninguno de los parques cumple con la regla 10 -20 -30 propuesta por el ecólogo Frank Santamour. Únicamente el Parque Alameda de Texcoco cumple con tener menos del 30% de la población de la misma familia. Conocer la biodiversidad y su abundancia, es de vital importancia para evitar malas condiciones en el arbolado debido a plagas y enfermedades, además de poder tomar medidas para el manejo y la implementación de nuevas áreas verdes.

3.7 Literatura citada

- Aguilar, V. (2005). Especies invasoras: Una amenaza para la biodiversidad y el hombre. *Biodiversitas*:7-10
- Arboreal. (2023). Arboreal® – Height of tree. Disponible en: <https://www.arboreal.se/en/arboreal-forest>
- Badii, M.H., A. Guillen, C.E. Rodríguez, O. Lugo, J. Aguilar y M. Acuña (2015) Pérdida de Biodiversidad: Causas y Efectos. *International Journal of Good Conscience*. 10(2)156-174. ISSN 1870-557X
- Benavides Meza, H. M., y Fernández Grandizo, D. Y. (2012). Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. *Madera y bosques*, 18(2), 51-71.
- Canizales Velázquez, P., Alanís Rodríguez, E., Holguín Estrada, V. A., García García, S., y Collantes Chávez Costa, A. (2020). Caracterización del arbolado urbano de la ciudad de Montemorelos, Nuevo León. *Revista*

- Mexicana De Ciencias Forestales*, 11(62).
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.768>
- CNDH. (2016). Biodiversidad y derechos humanos. ISBN: 978-607-729-306-4. Disponible en <https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/documentos/2019-06/folleto-Biodiversidad-DH.pdf>
- De la Rosa R, D. M. y Picazo c, n. V. (2020). Propuesta de manejo del arbolado urbano de banqueta en Texcoco de Mora. (Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México)
- Gobierno del Estado de México. (2012). Mapa de Ubicación de Texcoco. <http://www.edomexico.gob.mx/medioambiente/mapa/img/mapas/Textcoco.gif?imgrefurl>.
- Google Maps. (2023). Municipio de Texcoco de Mora, Estado de México. Recuperado el 1 de enero de 2023. Disponible en: <https://maps.google.com.mx>
- Graciano-Ávila, G., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., y Lujan-Soto, J. E. (2017). Composición, estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del Noroeste de México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(12), 535-542. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1114>
- Hernández Castán, J., Cuesta, E., Ortiz-Espejel, B. y Reyes, E. (2022). Servicios Ecosistémicos del Arbolado Urbano en la Laguna de San Baltazar mediante el uso del software i-Tree. *CIENCIA ergo sum*. 30. 10.30878/ces.v30n2a5.
- INAFED (2020). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México estado de México. Disponible en <http://inafed.gob.mx/work/enciclopedia/emm15mexico/municipios/15099a.html>
- INEGI (2020). Población rural y urbana. Disponible en http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx
- i-Tree (2017). i-Tree® Eco Manual de usuario. <https://www.itreetools.org/support/resources-overview/i-tree-manuals-workbooks>
- IUCN (2005) Biodiversidad-el Consenso Científico. E-pub Disponible en <https://www.greenfacts.org/es/biodiversidad/biodiversidad-foldout.pdf>
- Leal Elizondo, C. E., Leal Elizondo, N., Alanís Rodríguez, E., Pequeño Ledezma, M. Á., Mora-Olivo, A., y Buendía Rodríguez, E. (2018). Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(48), 252- 270. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.129>

- Lüttge, U., Buckeridge, M. (2020) Árboles: estructura y función y los desafíos de la urbanización. *Árboles* 37, 9–16. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-01964-1>
- Manzanilla-Quijada G, E., Mata-Balderas J, M., Treviño-Garza E, J., Aguirre-Calderón Ó, A., Alanís-Rodríguez E. y Yerena-Yamallel J, I. (2020) Diversidad, estructura y composición florística de bosques templados del sur de Nuevo León. *Revista mexicana de ciencias forestales*. DOI: 10.29298/rmcf.v11i61.703
- Martínez-Juárez G., Rodríguez-Trejo D, A., Granados-Sánchez D., Mohedano-Caballero L. y Villanueva-Morales A. (2022) Descripción del arbolado de alineación de la ciudad de Puebla por grado de marginación y vialidad, *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* Vol. 13 (70). DOI: 10.29298/rmcf.v13i70.830
- Muñoz Gutiérrez, L., Pérez Miranda, R., Reséndiz Martínez, J. F., y Reyes Robles, 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.
- Noh Cruz, J. E. y Salinas Pérez, M. G. (2019). Evaluación del estado fitosanitario y estructural del arbolado en el parque ejidal “El contador” (PEEC) en San Salvador Atenco, Estado de México. (Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México)
- Pérez Miranda, R., Santillán Fernández, A., Narváez Álvarez, F. D., Galeote Leyva, B., y Vásquez Bautista, N. (2018). Riesgo del arbolado urbano: estudio de caso en el Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, Puebla. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 9(45). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.143>
- Reyes Avilés, I., y Gutiérrez Chaparro, J. J. (2010). Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 12(1), 96-102.
- Reyes de la Barra, J., Ponce-Donoso, M., Vallejo-Barra, O., Daniluk-Mosquera, G. y Coelho-Duarte, A. P. (2018). Comparación de cuatro métodos de evaluación visual del riesgo de árboles urbanos. *Colombia Forestal*, 21(2), 161-173
- Román-Guillén L, M., Orantes-García C., I Carpio-Penagos C, U., Sánchez-Cortés M, S., Ballinas-Aquino M, L., y Farrera-Sarmiento O. (2019) Diagnóstico del arbolado de alineación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez,

Chiapas. *Madera y Bosques* vol. 25, núm. 1, e2511559. doi: 10.21829/myb.2019.2511559

- Saavedra-Romero, L. L., Alvarado-Rosales, D., Martínez-Trinidad, T., y Hernández de la Rosa, P. (2019). 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 (2020). Diversidad, estructura arbórea e índice de valor de importancia en un bosque urbano de la ciudad de México. *Polibotánica* Núm. 47: 25-37 México. Enero 2019 DOI: 10.18387/polibotanica.47.3
- Santamour, F. S. (1990). Trees for urban planting: Diversity, Uniformity, and Common Sense. *Proceedings of the Seventh Conference of The Metropolitan Tree Improvement Alliance*, 7, 57–65.
- Tinoco-Orozco, D. A. (2019). Evaluación de riesgo y captura de carbono del arbolado de dos parques urbanos en la ciudad de Durango. (Tesis de licenciatura. Universidad Juárez del estado de Durango. Durango, México)

CAPÍTULO 4. SERVICIOS AMBIENTALES DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA DE LOS PARQUES DE TEXCOCO DE MORA, EDO. MÉX.

4.1 Resumen

Tras el aumento poblacional, el arbolado urbano juega un papel importante dentro de las ciudades por los servicios ambientales que provee y su contribución a la mitigación de la actual crisis climática. El objetivo fue evaluar la vegetación arbórea de cinco parques públicos del municipio Texcoco de Mora, a fin de estimar los servicios ambientales que proveen. Se realizó un censo por parque y se procesaron los datos a través del software i-Tree® Eco. v6. Se registraron 1325 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, un total de 242.6 megatoneladas de almacenamiento de carbono con una captura de carbono 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 \$894,514.93 MXN para el almacenamiento de carbono, \$38,650 MXN anuales para la captura del mismo y \$481.93 MXN para el escurrimiento. El valor de sustitución del arbolado llega a los \$24,408,534 MXN. Se estimó una cobertura arbórea de 30,485m² lo cual representa un factor de 0.86 m²/habitante. Se concluye que Texcoco está por debajo del factor recomendado de arbolado por habitante propuesto por la ONU y se necesita de investigación de las áreas verdes aledañas como camellones, arbolado vial y parques comunitarios, entre otros, para tener datos más cercanos a la realidad del municipio y poder resaltar la contribución de los servicios ambientales del arbolado de la ciudad.

Palabras clave

Captura de carbono, infraestructura verde, i-Tree®, cambio climático, cobertura arbórea.

4.2 Introducción

En el contexto actual del cambio climático y la creciente sobrepoblación, los árboles en las ciudades desempeñan un papel crucial en la provisión de servicios ambientales vitales para la sociedad y el planeta (IPCC, 2022); 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, además, contribuyen de manera positiva a la salud mental de los visitantes (Herrera y Romo, 2021; Martínez-Soto *et al.*, 2016; WHO, 2016)

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 cambios en los patrones de precipitación (Bárcenas *et al.*, 2020). En este escenario, los árboles juegan un papel fundamental 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 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 desempeñan un papel importante en 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 proporcionar espacios verdes y recreativos.

En esta perspectiva, entender y valorar los árboles y los servicios ambientales que proporcionan se vuelve esencial para abordar los desafíos del cambio climático y la sobrepoblación. Esto 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 (FAO, 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 (Bárcenas *et al.*, 2020). Implementar estas acciones preparará a las ciudades para afrontar futuros desafíos, como el cambio climático, las disparidades sociales y la seguridad alimentaria (Giannotti 2020)

Para cuantificar los servicios que los árboles brindan, existen varios métodos, sin embargo, una de las herramientas que recientemente están siendo utilizadas por su utilidad y eficiencia, es el software i-Tree® Eco. Este instrumento permite una evaluación más eficiente de áreas urbanas, ya sean pequeñas o grandes, que

cuentan con árboles. 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, 2017).

En este trabajo, se cuantifican y evalúan los beneficios de los servicios ambientales que proveen los árboles de distintos parques de Texcoco, resaltando la importancia de su conservación y mantenimiento para maximizar los beneficios y con ello la calidad de vida de los habitantes.

4.3 Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Texcoco de Mora, Estado de México cuya superficie es de 6,212.17 km² y cuenta con 35,491 habitantes de acuerdo con INEGI (2020). Se llevó a cabo en cinco de los parques más visitados del municipio: 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 9000 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 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).

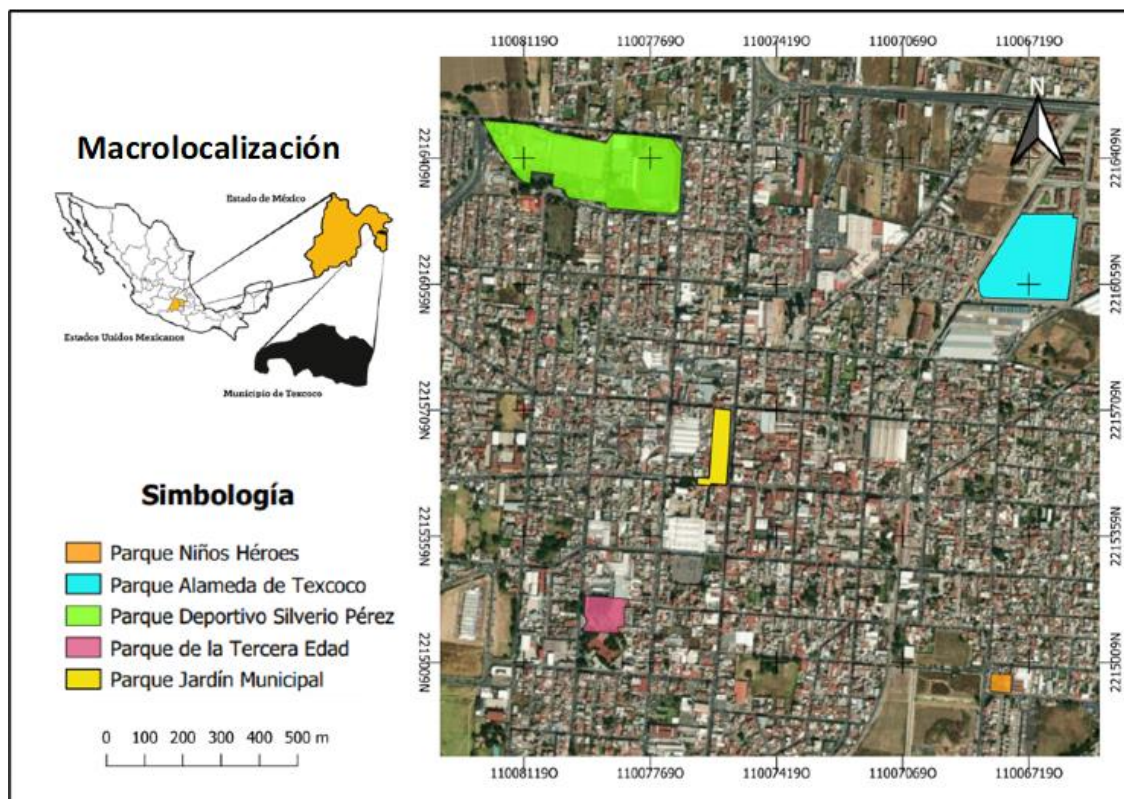


Figura 13. Mapa de ubicación de los cinco parques censados en Texcoco de Mora, Estado de México.

Censo de arbolado urbano

Se realizó un censo de arbolado urbano basado en el método V.T.A. (Visual Tree Assessment) propuesto por la ISA (International Society of Arboriculture). Para el registro de los datos se apegó al manual de i-Tree® tomando la localidad, el número de identificador y la especie de cada individuo censado en cada uno de los parques.

Para estimar la altura de los árboles se utilizó el software “Arboreal® – Height of tree” el cual trabaja con tecnología de realidad aumentada 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).

Para medir el diámetro se utilizó una cinta diamétrica flexible de tela sintética de 320 cm. diámetro/10 m. FORESTRY SUPPLIER®. Para medir el diámetro de copa se utilizó una cinta métrica larga flexible de 50 m. TRUPPER®. Para cada individuo se tomó el diámetro de la copa en la dirección Norte a Sur y el diámetro de la copa de Este a Oeste. 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, 2017).

Análisis

Los datos se capturaron en el software i-Tree® Eco V6. mediante el uso de un dispositivo móvil y finalmente se procesaron en un proyecto por parque, tomando los siguientes datos de referencia:

Los datos a continuación mencionados son de carácter obligatorio para que cada proyecto se pueda ejecutar y analizar dentro del software i-Tree® Eco V6. Se utilizó información de la estación meteorológica móvil Licenciado Benito Juárez con ID: 766793-99999, con datos del tiempo del 2020 (año más reciente dentro del software). Para la valoración económica, el precio de la tonelada de carbono almacenada y capturada que se usó fue de \$3687.66 MXN/Tonelada, de acuerdo con los valores del mercado (i-Tree, 2017). El valor de la escorrentía evitada utilizado fue de \$44.909 MXN/m³; Debido a que no se cuenta con una evaluación de escorrentía para México, se utilizó el valor promedio nacional para Estados Unidos y se convirtió a moneda local (i-Tree, 2017).

Únicamente se tomaron en cuenta los árboles que superaban los 2 metros de altura y contaban con un diámetro mayor a los 3 centímetros, además los árboles cuya altura de copa fue menor que su altura de fuste limpio, se excluyeron antes de realizar el análisis en el software i-Tree® Eco debido a que éste no reconoce individuos con estas características. El censo de arbolado fue llevado a cabo de los meses de agosto de 2022 a febrero de 2023.

4.4 Resultados

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

Cuadro 12. Composición de especies en los cinco parques censados de Texcoco de Mora, Estado de México.

Especie	Nombre común	Origen	Abundancia
<i>Acacia baileyana</i> F. Muell.	Acasia azul	Nueva Gales del sur	5
<i>Acacia melanoxydon</i> R. Br.	Acasia 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	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> 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	Cedro limón	Estados Unidos	95
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	Ciprés panteonero	Mediterráneo	77
<i>Eriobotrya japonica</i> L.	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	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	Laurel de la india	Asia	78
<i>Fraxinus uhdei</i> L.	Fresno	México	133
<i>Grevillea robusta</i> A. Cunn.	Grevillea	Australia	12
<i>Hibiscus tiliaceus</i> L.	Tulipán	Hawái	18
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Jacaranda	Sudamérica	97
<i>Larix spp.</i> Mill	Alerce	Norteamérica	5
<i>Leucaena esculenta</i> DC.	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> D.C.	Magnolia	México	6
<i>Malus domestica</i> Borkh	Manzano	Asia	2

<i>Olea europaea</i> L.	Olivo	Europa	6
<i>Persea americana</i> Mill	Aguacate	Mesoamérica	1
<i>Phoenix canariensis</i> J. Benjamin	Palma canaria	África	25
<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	Pino piñonero	México	3
<i>Pinus greggii</i> Engelm	Pino greggi	México	2
<i>Pinus leiophylla</i> Shiede	Pino leiophylla	México	1
<i>Pinus patula</i> Schltd.	Pino patula	México	2
<i>Pinus pinceana</i> Gordon	Pino piñonero llorón	México	1
<i>Pinus pseudostrobus</i> L.	Ocote blanco	México	1
<i>Pinus radiata</i> D. Don.	Pino radiata	California	3
<i>Pinus spp.</i>	Pino	México	8
<i>Pinus teocote</i> Schltd.	Pino teocote	México	1
<i>Platanus mexicana</i> Moric.	Platanus	México	2
<i>Populus alba</i> L.	Alamo 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.	Durazno	Asia	19
<i>Prunus serotina</i> Kunth	Capulín	México	2
<i>Quercus virginiana</i> Mill	Encino blanco	Norteamérica	3
<i>Roystonea regia</i> Kunth	Palma real	Asia	32
<i>Salix bonplandiana</i> Kunth.	Ahuejote	México	1
<i>Schinus molle</i> L.	Pirul	Perú	85
<i>Senna multiglandulosa</i> BH.S.Irwin	Retama	México	14
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv	Tulipán africano	África	4
<i>Taxodium mucronatum</i> Ten	Ahuehuate	México	16
<i>Washingtonia filifera</i> L.	Palma washingtonia	California	9

Se estimó la abundancia de las especies de cada parque y se encontró que solamente seis especies de las 55 registradas, representan el 49.25% del total de los individuos de los parques, lo que quiere decir que aun con una alta riqueza en especies, no existe equidad en cuanto a la abundancia. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. (13.13% de la abundancia total) encabeza la lista de las especies más abundantes, seguido de *Fraxinus uhdei* L. (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 6 especies conforman casi el 50% del total de individuos registrados. Se estimó que el 82.89% de los individuos, son exóticos.

El parque Niños Héroes, a pesar de ser el parque con menor área (1600 m²), cuenta con la mayor densidad arbórea respecto a los demás (256.3 individuos/Ha). Debido al promedio en diámetro y altura de sus árboles, el parque Silverio Pérez cuenta con los valores más altos para almacenamiento (242.6 Mg) y captura de carbono (10.5 Mg año⁻¹) así como para escurrimiento evitado (481.9 m³ año⁻¹) (Cuadro 13).

Cuadro 13. Superficie, densidad arbórea, cobertura arbórea y servicios ambientales que proveen los cinco parques evaluados.

Localidad	Superficie (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	1600	256.3	41	938	8.26	0.35	13.84
Parque Jardín Municipal	9000	168.9	152	4692	29.21	1.00	40.15
Parque de la Tercera Edad	9100	194.5	177	4304.5	22.41	0.56	71.76
Parque Alameda	42950	111.3	478	4173.7	22.65	2.10	33.50
Parque Silverio Pérez	81500	58.5	477	16377	160.05	6.47	322.68
Total	144150	157.9	1325	30485.2	242.6	10.5	481.9

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

Con el valor de la cobertura arbórea de los cinco parques censados, de 30.4852 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, resultando que la contribución de estas áreas para la población de Texcoco es de es de 0.86 m² por habitante.

De acuerdo con el trabajo de Lüttge y Buckeridge (2020), toman de referencia un análisis computacional basado en la vista de Google® Street (Lüttge y Buckeridge 2020; Li *et al.*, 2015; Seiferling *et al.*, 2017) para calcular un índice de vista verde para cada ciudad el cual arroja el porcentaje de cobertura vegetal respecto al total de población por km². Comparan los datos de 27 ciudades del mundo, y observan que la tendencia es que la cobertura arbórea aumenta conforme la densidad poblacional disminuye. Tomando en cuenta que el software no tiene datos de Texcoco y que son contados los trabajos publicados sobre cobertura arbórea, los datos generados para este trabajo son lo más cercano a lo que se tiene registro en la ciudad, en cuanto a áreas verdes, por lo que compararlo con otras ciudades alrededor del mundo nos da una idea de la realidad de nuestras áreas verdes.

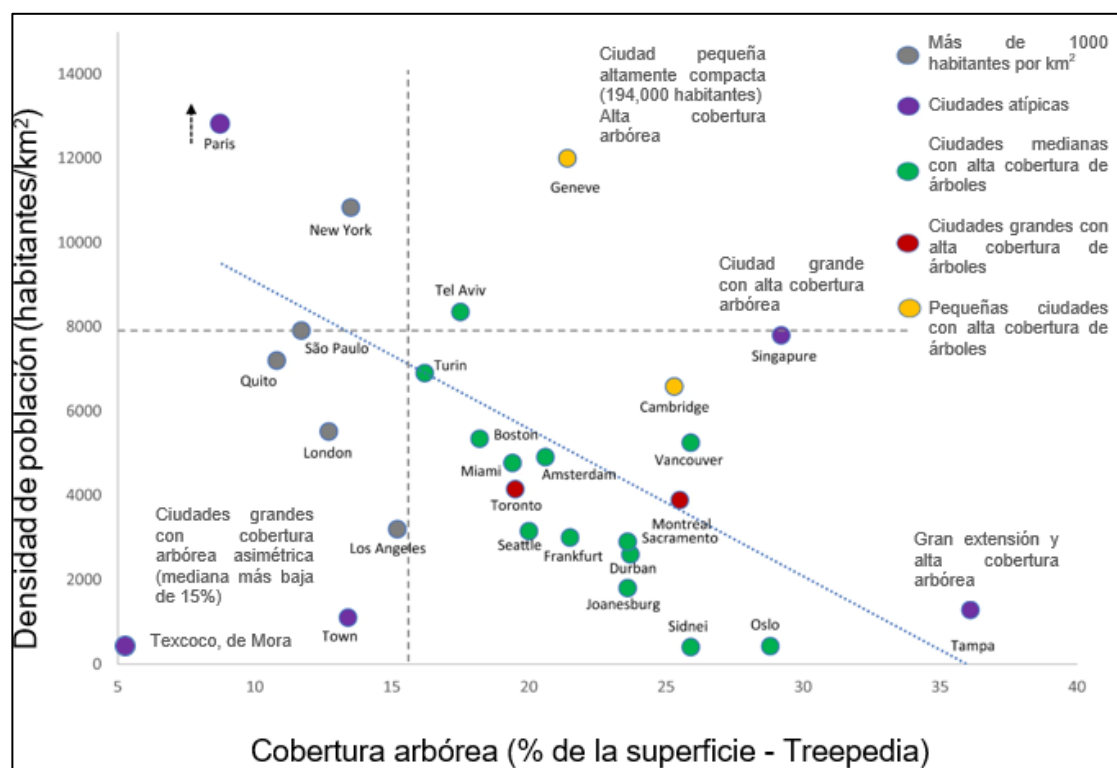


Figura 14. Comparación entre el porcentaje de la cobertura arbórea y la densidad de población por km² en 27 ciudades (Modificación propia, tomado de Lüttge y Buckeridge, 2020)

Como se aprecia, la ciudad de Texcoco resulta posicionarse en un lugar no cercano a la recta de tendencia, por lo que se le podría considerar una ciudad atípica. Debido a que solamente se está considerando la cobertura arbórea de los cinco parques, la relación en cuanto a la superficie de la ciudad es de 0.49% de cobertura verde y la densidad poblacional se estimó en 5.7 habitantes/km².

Se estimaron los valores en peso mexicano que tendrían los servicios que brinda el arbolado urbano en los parques de Texcoco anualmente para poder justificar una mejor gestión y mantenimiento. En cuanto al valor del almacenamiento de carbono, el parque Silverio Pérez obtuvo el mejor valor con \$590,204.05 MXN debido a que el arbolado de esa área se encuentra en edad madura y posee los mayores promedios en diámetros y alturas registrados (34.6 cm y 11 metros). De la misma forma, registra la captura de carbono más alta estimada en \$23,862 MXN anuales, y asimismo el escurrimiento evitado con \$322.68 MXN (Cuadro 14).

Cuadro 14. Valor en pesos mexicanos que representan los servicios ambientales que brindan los cinco parques evaluados.

Localidad	Valor en pesos de almacenamiento de carbono (mg)	Valor en pesos de captura de carbono (mg año ⁻¹)	Valor en pesos de 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 Silverio Pérez	590,204.05	23,862.06	322.68	11,836,976.69
Parque Alameda	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 valor total de 242.6 Mg para el almacenamiento de carbono estimado en \$894,514 MXN y un valor de 10.5 Mg anuales para la captura de carbono estimados en \$38,650 MXN anuales. El escurrimiento evitado por el arbolado de los cinco parques fue de 481.9 m³ anuales estimado en \$481 MXN. De acuerdo con los valores estimados de los servicios anuales y el valor de sustitución, o el valor que tienen los parques con las condiciones del arbolado actual, suman \$24,408,534.01 MXN.

4.5 Discusión

La pérdida de la diversidad biológica constituye un problema ambiental global a resolver por la humanidad (Almaguer, 2006) y uno de los principales problemas que atraviesa es la presencia de las especies introducidas (Badii *et al.*, 2015). En Texcoco, el 82.89% de las especies arbóreas presentes en los parques evaluados son introducidas, por lo que se debe tomar medidas inmediatas para solucionar esto. Los problemas más preocupantes de no hacer caso a este bioindicador pueden ir desde dañar la salud y el bienestar económico humano, el funcionamiento de los ecosistemas y la supervivencia de especies nativas (Rodríguez, 2001).

En cuanto a los servicios ambientales, se tiene un antecedente, donde Martínez *et al.* (2021) evalúan los servicios ambientales que brinda el arbolado urbano de la ciudad de Texcoco de Mora, pero únicamente se realiza para cuatro parques y se registran 391 individuos respecto a 1,325 para cinco parques para este trabajo. Se obtuvieron valores por arriba de los mencionados por Martínez *et al.* (2021) para la captura de carbono en el parque Niños Héroes, donde se reportaron 3.35 Mg respecto a 8.26 Mg, para el parque de la Tercera Edad se reportaron 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 para el parque Silverio Pérez donde reportan 16.76 Mg respecto 160.05 Mg del presente trabajo. Estas diferencias se deben al número de árboles censados y al tiempo transcurrido hasta el año 2023.

Considerando la importancia 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-Hábitat 2015). De acuerdo con presente trabajo, para la ciudad de Texcoco hacen falta 8.14 m² de cobertura arbórea por habitante para cumplir con esta condición enfocada en una mejor calidad de vida, o lo que es lo mismo, se requieren 10.46 veces la superficie arbolada actual estimada en los cinco parques de Texcoco para cumplir con esta recomendación enfocada en la salud de la población, tomando en cuenta que solo se tienen datos de estas áreas verdes.

Considerando el trabajo de Lüttge y Buckeridge (2020), Texcoco, debido a la baja densidad poblacional, tiene potencial para crecer como una ciudad caracterizada por su infraestructura verde, la cual define Quiroz (2018) como un ambiente natural con una suma importancia en la mitigación y la adaptación ante el cambio climático, sin embargo, si no hay apoyo de las autoridades para la creación de áreas verdes así como apoyo en 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 con muy poca superficie de cobertura arbórea.

Una ciudad que posee una abundante cobertura arbórea proyecta una imagen positiva a sus visitantes y esto tiene efectos positivos en la economía de las ciudades como lo es la creación de oportunidades de empleo gracias a políticas municipales enfocadas en la generación de empleo verde y el mantenimiento de dichos espacios (Figueroa y Díaz-Galiano, 2018). En Texcoco la falta de mantenimiento especializado de arbolado urbano es una de las razones principales que genera problemas en el arbolado. Estos problemas al final del día se convierten en pérdidas económicas y ambientales. Dicho esto, es de suma importancia generar áreas arboladas nuevas en zonas donde no las hay, para poco a poco acercar las áreas verdes a la ciudad, tomando en cuenta un diseño

funcional, así como una correcta selección de especies y su distribución según se requiera para maximizar los beneficios que puedan brindar.

4.6 Conclusiones

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. El 82% de los individuos censados corresponden a especies introducidas. El factor de área verde por habitante es de 0.86 m² de espacio verde por habitante para la ciudad de Texcoco de Mora.

El presente trabajo tuvo como objetivo visibilizar la parte ambiental que ofrece el arbolado urbano en las ciudades, brindando alternativas clave, tal como el valor económico, para que las autoridades centren su atención en las problemáticas reales de los parques y estas puedan llegar a ser áreas comunes en excelente estado y así contribuir a una mejor calidad de vida para todos.

4.7 Literatura citada

- Almaguer Hidalgo, S. N. (2006) La pérdida de la diversidad biológica: un problema de todos Luz, vol. 5, núm. 3, julio-septiembre, 2006, pp. 1-9 Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya
- Arboreal. (2023). Arboreal® – Height of tree. Disponible en: <https://www.arboreal.se/en/arboreal-forest>
- Arbor Day Foundation (2022) Community Health and Well-being: Follow the 3-30-300 Rule. Tree City USA Bulletin®. <https://www.arborday.org/trees/bulletins/coordinators/resources/pdfs/114.pdf>
- Bárcena A., Samaniego J., Peres W. y Alatorre J E. (2020). La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?, Libros de la CEPAL, N° 160 (LC/PUB.2019/23-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Disponible en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45677/1/S1900711_es.pdf
- Badii, M.H., A. Guillen, C.E. Rodríguez, O. Lugo, J. Aguilar y M. Acuña (2015) Pérdida de Biodiversidad: Causas y Efectos. International Journal of Good Conscience. 10(2)156-174. ISSN 1870-557X

- FAO (2021). Los bosques para la salud y el bienestar de los seres humanos - Fortalecimiento del nexo entre los bosques, la salud y la nutrición. Documento de trabajo forestal N.º 18. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb1468es>
- FAO (2022). Servicios ecosistémicos y biodiversidad. <https://www.fao.org/ecosystem-services/biodiversity/background/regulating-services/es/>
- Figuerola C, M. E. y DSaz-Galiano M, L. A. (2018). Los Árboles urbanos y la salud ambiental. Revista oficial de la Asociación Española de Arboricultura. Número 80
- Giannotti, E., Vásquez, A. y Velásquez, P. (2020). Policy Brief: Propuestas para un sistema de áreas verdes para ciudades sostenibles y saludables. Universidad de Chile. Disponible en <https://doi.org/10.34720/fjet-f303>
- Google Maps. (2023). Municipio de Texcoco de Mora, Estado de México. Recuperado el 1 de enero de 2023. Disponible en: <https://maps.google.com.mx>
- Herrera Correa, V. M., y Romo Aguilar, M. de L. (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. <https://doi.org/10.15174/au.2021.3101>
- INEGI (2020). Población rural y urbana. Disponible en http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx
- i-Tree (2017). i-Tree® Eco Manual de usuario. <https://www.itreetools.org/support/resources-overview/i-tree-manuals-workbooks>
- IPCC (2022) Cambio Climático 2022: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad, la contribución del Grupo de Trabajo II al Sexto Informe de Evaluación. Disponible en <https://www.unep.org/es/resources/informe/sexta-informe-de-evaluacion-del-ipcc-cambio-climatico-2022>
- Lüttge, U., Buckeridge, M. (2020) Árboles: estructura y función y los desafíos de la urbanización. *Árboles* 37, 9–16. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-01964-1>
- Martínez-Trinidad, T., Hernández López, P, López-López, S. F., y Mohedano Caballero, L. (2021). Diversidad, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado en cuatro parques de Texcoco mediante i-Tree Eco. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(67), 202-223. Epub 25 de octubre de 2021. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.880>
- Quiroz-Benítez D. E. (2018). Implementación de infraestructura verde como estrategia para la mitigación y adaptación al cambio climático en ciudades mexicanas, hoja de ruta. Edición SEDATU, SEMARNAT y GIZ. Disponible

en:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/394115/Hoja_de_ruta_IV_Infraestructura_Verde.pdf

- Rodríguez, Jon P. (2001). La amenaza de las especies exóticas para la conservación de la biodiversidad suramericana. *Interciencia*, 26(10), 479-483. Disponible en, http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttextpid=S0378-18442001001000010yIng=esytIng=es.
- ONU Hábitat. (2015.) Habitat III issue papers: 11-public space. Nueva York: Naciones Unidas. http://unhabitat.org/wp-content/uploads/2015/04/Habitat-III-Issue-Paper-11_Public-Space-2.0.compressed.pdf.
- Zamora Martínez, M. C. (2015). Cambio climático. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(31), 04-07. Disponible en, http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextpid=S2007-11322015000500001yIng=esytIng=es.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES GENERALES

Se identificó la riqueza de especies y la abundancia del arbolado urbano de los cinco parques públicos de Texcoco evaluados, registrando un total de 1477 individuos pertenecientes a 23 familias y 37 géneros con una riqueza total de 55 especies; se determinó que dichos parques cuentan con una alta riqueza de especies, siendo el parque Niños Héroes el de menor riqueza y el parque Alameda de Texcoco el de mayor riqueza.

Considerando la proporción de especies se determinó si los parques cumplían o no con el indicador paisajístico 10-20-30, propuesto por Frank Santamour, resultado que ninguno de los parques cumplió dicha regla debido a que todos excedieron la abundancia de 30% de individuos la misma familia, 20% de individuos del mismo género y 10% de los individuos de la misma especie. Únicamente el parque Alameda de Texcoco cumplió con una tercera parte de la regla, contando con un 27% de individuos de la misma familia sobre el 30% máximo permitido propuesto.

Tras la evaluación fitosanitaria, se registraron principalmente daños físicos y mecánicos en el arbolado, siendo las ramas rotas, las heridas mal compartimentadas y el encalado del fuste los que más se presentaron. Resultado del análisis de riesgo de falla del arbolado, se determinó un riesgo medio para los cinco parques evaluados, teniendo casos de árboles de riesgo alto en el parque Deportivo Silverio Pérez, que, por sus altas dimensiones debido a la edad, requieren de atención pronta.

Derivado del análisis hecho mediante el software i-Tree® se obtuvieron resultados de condición de copa, que determinaron un estado aceptable para el arbolado de los cinco parques, esto principalmente debido a los daños físicos y las malas prácticas de poda que se realizan por parte de los trabajadores del municipio.

Asimismo, a través del software se obtuvieron los valores ambientales y económicos para los servicios ambientales que provee el arbolado urbano, registrando 242.6 megatoneladas para el almacenamiento de carbono total, 10.5 anuales para la captura de carbono, 481 m³ para el escurrimiento de lluvia evitado y el valor que representan estos servicios ambientales en pesos fue de \$894,514.93 MXN, \$38,650 MXN anuales y \$481.93 MXN anuales, respectivamente. El valor total que alcanzó del arbolado urbano de los cinco parques asciende a los \$24,408,534 MXN.

Finalmente, se puede concluir que el arbolado de los cinco parques públicos evaluados en Texcoco de Mora no cuenta con un diseño paisajístico, lo cual se ve reflejado en alta tasa de especies introducidas, la distribución de las especies en los parques y el incumplimiento de la regla de biodiversidad 10-20-30. El mal estado de la copa del arbolado, el riesgo de falla y los daños físicos y las plagas que contribuyen al deterioro de los árboles.

Apéndice 1. Formato con adecuación, utilizado para el censo de arbolado urbano.

# Árbol	Campos generales										
	Especie		Estrato	Categoría		Coordenadas		Árbol de calle		Categoría	
	N. Común	N. Científico		Plantado	R. Natural	X	Y	sí	No	Público	Privado
	Localidad										
Información Dasonómica											
Vivo/Muerto	Categoría de altura		Categoría de diámetro en la base	Diámetro a la altura del pecho (m)		Diámetro de copa (m)	Forma de la copa Regular/Irregular /Descopado	Altura de fuste limpio (m)		Altura de la copa (m)	
							Exposición de la luz en la copa				
Información Fitosanitaria											
Presencia de Plagas (%)		Síntoma de enfermedades (%)		Daños físicos y mecánicos			Apariencia		Inclinación		
Tallo		Tallo		Ramas rotas			Marchitamiento		<25°		
Ramas		Ramas		Alambres/Clavos incrustados			Muerte descendente		25 a 50°		
Follaje/Fruto		Follaje/Fruto		Grafitis			Corteza desprendida		50 a 75°		
Raíces visibles		Raíces visibles		Tronco encalado					>75°		
				Descopado							
Información de Manejo											
Mantenimiento recomendado						Problema con banquetas					
Tareas prioritarias						Problema de ramas con cables					
Observaciones											
Datos del Registro											
Nombre						Fecha					

Apéndice 2. Modelos ejemplo para medir el porcentaje de la copa saludable en arbolado urbano (i-Tree, 2017)

