

[Escriba aquí]



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MÉXICO**



FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

*“Inventario de arbolado urbano y sus funciones ambientales en el
Parque Urawa del municipio de Toluca para el año 2022”*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA

JAZMÍN MONSERRAT SERRANO TAPIA

DIRECTORES DE TESIS

DRA. EN D.I. BELINA GARCÍA FAJARDO

DR. EN C. GUSTAVO ÁLVAREZ ARTEAGA

Toluca de Lerdo, Estado de México; Octubre, 2024

CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN	8
ANTECEDENTES	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	21
OBJETIVOS.....	21
Objetivo General	21
Objetivos Específicos	21
JUSTIFICACIÓN	22
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	24
Áreas Verdes	24
Tipología de áreas verdes.....	25
Parques urbanos y su papel ambiental	28
Árbol urbano	30
Arbolado urbano.....	31
Importancia del Arbolado Urbano	32
Inventario de arbolado urbano	34

<i>Inventario de arbolado urbano y sus funciones ambientales en el Parque Urawa del municipio de Toluca</i>	
Tipos de Inventarios de Arbolado Urbano	36
Gestión de parques urbanos	37
Temperaturas urbanas	38
Temperatura promedio	40
Materiales urbanos	41
Frecuencia vehicular	42
Relación de usos de suelo y temperaturas atmosféricas.....	44
Captura de carbono.....	45
Ecuaciones alométricas	46
Diseño de transectos.....	47
Marco normativo aplicable para parques urbanos.....	48
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	53
Revisión bibliográfica	54
Inventarios de Arbolado Urbano	55
Funciones ambientales: Estimación de Captura de Carbono	57
Funciones ambientales: Estimación de temperatura y humedad	57
Inventario de Arbolado Urbano del Parque Urawa.....	60
Metodología para la estimación de funciones ambientales del Parque Urawa	66
Estimación de captura de carbono del Parque Urawa	66
Estimación de temperatura y humedad del Parque Urawa	68

<i>Inventario de arbolado urbano y sus funciones ambientales en el Parque Urawa del municipio de Toluca</i>	
Diseño de propuesta de estimación de temperatura para el Parque Urawa	70
Diseño de transectos para estimación de temperatura y humedad del Parque Urawa	73
CAPÍTULO 3. RESULTADOS	77
Resultados del Inventario de Arbolado Urbano	77
Resultados de la estimación de Captura de Carbono del Parque Urawa.....	88
Resultados de la estimación de temperatura y humedad del Parque Urawa	94
Estimación de temperatura y humedad (09:00 – 10:30 hrs)	100
Estimación de temperatura y humedad (14:00 – 15:30 hrs)	102
Estimación de temperatura y humedad (18:00 – 19:30 hrs)	104
Estimación de temperatura y humedad del Parque Urawa vs Walmart.....	105
RECOMENDACIONES	108
CONCLUSIONES	110
REFERENCIAS	116

RESUMEN

Los parques urbanos son espacios verdes esenciales en las ciudades, ofrecen múltiples funciones ambientales, sociales y económicas. Contribuyen a la captura de carbono, la regulación de temperatura y la mejora de la calidad del aire, además de proporcionar lugares para la recreación, la actividad física y el esparcimiento de la comunidad. Los parques urbanos también son refugio para diversas especies y con esto contribuyen a la conservación de la biodiversidad local. Esta tesis tiene como objetivo realizar un inventario de arbolado urbano y estimar las funciones ambientales en el Parque Urawa del Municipio de Toluca para el año 2022. Se llevó a cabo inventario de arbolado que permite conocer las funciones ambientales a través un análisis de las especies presentes en el parque y su condición actual. Los resultados muestran que el total de individuos censados fueron 1459 en las 4.4 ha del parque y se identificaron 27 especies (arbóreas, arbustivas y frutales). Con los datos del inventario se estimó que la captura de carbono del arbolado fue de 72.35 toneladas. A partir de la propuesta metodológica sugerida para la función de regulación de temperatura, se observaron temperaturas máximas a las 14:00 hrs, con valores que oscilaron entre los 28.9 y los 31.6 °C. Este diagnóstico subraya la necesidad de una gestión integrada y que tenga un enfoque ambiental del Parque Urawa, proponiendo la inclusión de especies polinizadoras y la utilización de áreas disponibles para nuevas plantaciones.

Palabras Clave: *parques urbanos, funciones ambientales, captura de carbono, regulación de temperatura*

ABSTRACT

Urban parks are essential green spaces in cities, offering multiple environmental, social, and economic functions. They contribute to carbon sequestration, temperature regulation, and air quality improvement, while also providing places for recreation, physical activity, and community enjoyment. Urban parks also serve as refuges for various species, thus contributing to the conservation of local biodiversity. This thesis aims to conduct an inventory of urban trees and estimate the environmental functions in Urawa Park in the Municipality of Toluca for the year 2022. A tree inventory was conducted to understand the environmental functions through an analysis of the species present in the park and their current condition. The results show that a total of 1,459 individuals were surveyed in the park's 4.4 hectares, identifying 27 species (trees, shrubs, and fruit trees). Based on the inventory data, it was estimated that the carbon sequestration of the trees was 72.35 tons. From the proposed methodology for the temperature regulation function, maximum temperatures were observed at 2:00 PM, with values ranging between 28.9 and 31.6 °C. This diagnosis underscores the need for integrated and environmentally focused management of Urawa Park, proposing the inclusion of pollinator species and the use of available areas for new plantings.

Keywords: urban parks, environmental functions, carbon sequestration, temperature regulation

INTRODUCCIÓN

El Parque Urawa es un ejemplo de espacio verde urbano que desempeña importantes funciones ambientales en el entorno local. A pesar de su importancia, existe una necesidad de evaluar de manera sistemática sus funciones ambientales para informar y mejorar su gestión. Sin embargo, para comprender completamente su impacto y mejorar su gestión, fue esencial llevar a cabo una evaluación sistemática del parque. Mediante un inventario de arbolado urbano, se identificaron especies arbóreas específicas que lo componen, sino que también evalúa su estado de salud y distribución dentro del área. Este tipo de información es fundamental para determinar las funciones ambientales que desempeñan los árboles en el parque.

Esta tesis se estructura en tres capítulos, cada uno de los cuales aborda un aspecto fundamental del estudio en el Parque Urawa. En el primer capítulo, se establece el marco teórico que sustenta la investigación, proporcionando una base sólida de conceptos relacionados con el tema. Se exploran definiciones y la importancia de las áreas verdes, haciendo énfasis en los parques urbanos, subrayando el papel que juega el arbolado urbano. Se explica la importancia de contar con un inventario de arbolado urbano. Además, se discuten conceptos clave como la captura de carbono y la regulación de temperatura, y se revisan las leyes y normas que respaldan el cuidado y mantenimiento de los parques urbanos. Este capítulo establece el contexto necesario para comprender la relevancia del estudio.

El segundo capítulo se centra en el diseño e implementación de la metodología para llevar a cabo el estudio. La metodología se estructura en tres fases. La primera fase consiste en la revisión bibliográfica para analizar otros métodos para la evaluación de funciones ambientales en parques urbanos. La segunda fase es la aplicación de un inventario detallado del arbolado urbano en el Parque Urawa, registrando la cantidad de individuos, las especies y la salud de los árboles. La

tercera fase implica la evaluación de las funciones ambientales del arbolado, específicamente la captura de carbono y la regulación de temperatura.

En el tercer capítulo, se presentan y discuten los resultados obtenidos a partir de la implementación de la metodología. Los resultados del inventario de arbolado urbano muestran que el Parque Urawa cuenta con 1,459 individuos. La discusión de los resultados se enfoca en su implicancia para la gestión del parque, proponiendo estrategias para mejorar la biodiversidad y la funcionalidad ambiental.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones desde un enfoque ambiental dirigido a las debilidades que se identificaron en la gestión del parque.

ANTECEDENTES

Hoy en día las ciudades son consideradas como complejos ecosistemas artificiales, construidos en primera instancia para satisfacer necesidades humanas contribuyendo el 70% de la energía consumida por la humanidad y siendo el principal responsable de los problemas medioambientales (Galindo y Victoria, 2012).

Alchapar (n.d.) afirma que:

Las áreas urbanas cubren el 2.8% de la superficie total de nuestro planeta, sin embargo, son responsables del 75% del consumo mundial de recursos, el consumo de energía global anual ha crecido de 4000 MTEP (millones de toneladas de petróleo) a casi 9000 MTEP durante los últimos 40 años (1971-2011), durante el mismo periodo, las emisiones de CO₂ se han duplicado. Sumando a esto, el 32% del consumo total de energía final y casi el 40% del consumo de energía primaria son atribuibles a los edificios (p. 2)

Este contexto ha favorecido el desarrollo de las islas de calor a través de los años dentro de las ciudades y Godoy (2013) explica que:

Las islas de calor han sido estudiadas desde 1818 hasta la fecha, con diversas metodologías y en distintas zonas geográficas. Su repercusión se basa en el aumento de la temperatura del sistema urbano, su relación directamente proporcional con la mancha urbana, y su efecto sobre el incremento del consumo de energía, la emisión de contaminantes y gases de efecto invernadero, lo que resulta en problemas de salud, problemas medioambientales y problemas de confort (p. 7)

La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) analizaron la temperatura promedio anual sobre superficies terrestres y oceánicas en el año 2019 y concluyeron que

fue el segundo año más alto desde el comienzo de los registros en 1880. Al final del año, la temperatura media mundial había aumentado en 1.1°C por encima de los niveles preindustriales (AQUAE, 2021).

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2018) nos dice que, a nivel nacional, de acuerdo a los estudios más recientes se han identificado los siguientes cambios:

- El país se ha vuelto más cálido desde la década de 1960.
- Las temperaturas promedio a nivel nacional aumentaron 0.85° C y las temperaturas invernales 1.3° C.
- Se ha reducido la cantidad de días más frescos desde los años setenta del siglo pasado y hay más noches cálidas.
- La precipitación ha disminuido en la porción sureste desde hace medio siglo.

Morales, Madrigal y González (2007) estudiaron el comportamiento del clima urbano en la ciudad de Toluca con la finalidad de caracterizar la distribución espacial de la isla de calor y concluyeron que:

El clima en la ciudad de Toluca está asociado con el cambio de uso de suelo de la ciudad, observándose una modificación de la temperatura, la precipitación, la humedad relativa y el comportamiento de los vientos, lo que está relacionado estrechamente con la presencia de la isla de calor. La diferencia de temperatura entre el día y la noche es considerable presentando los valores más elevados en el día, por lo que se infiere que además de los tipos de material con que está construida Toluca, la insolación es un factor importante en las variaciones atmosféricas (p.313).

Los valores térmicos más elevados se presentan en el centro de la ciudad y en el aeropuerto con 15° C, pues coinciden con la mayor infraestructura urbana: tránsito vehicular, sitios industriales cercanos, avenidas asfaltadas, pistas pavimentadas. Así mismo, la distribución de los contaminantes se concentra en los sitios cercanos a la zona industrial y el centro urbano (p.312).

El proceso de industrialización y comercialización en el Valle de Toluca hizo que la mancha urbana se expandiera observándose la fragmentación tanto de bosques como de tierras agrícolas, y a pesar de ello han existido políticas de arbolado urbano y es así como Galindo y Victoria (2012) explican que:

Desde finales del siglo XIX existieron en Toluca políticas de arbolado urbano; en 1892 se plantaron *Cupressus lusitánica* (cedros blancos) a lo largo de Paseo Colón, la misma especie fue plantada a principios del siglo XX en el panteón general, se plantaron las *Phoenix canariensis* (palmeras datileras) en el camellón de Hidalgo y en Isidro Fabela, se plantaron *Populus canadensis* (chopos) a lo largo de las vías de la salida de Toluca (p. 102).

A través de diversos estudios se ha comprobado que los árboles producen oxígeno y almacenan dióxido de carbono, reducen las temperaturas urbanas y nos dan sombra. Se sabe que las superficies que están cubiertas por árboles tienen una temperatura más baja que las superficies que no tienen árboles y son capaces de reducir la intensidad de una isla de calor, es por ello que se han establecido políticas tanto municipales, nacionales e internacionales para su protección.

Para el municipio de Toluca en administraciones pasadas se han realizado programas de reforestación dentro del municipio en Áreas Naturales Protegidas (Parque Estatal Sierra Morelos,

APFF Nevado de Toluca y Parque Estatal Alameda 2000), calles, avenidas principales, parques, jardines y áreas verdes en general y aunque la información de los árboles plantados no es pública se han realizado invitaciones a la sociedad para participar en estas reforestaciones. El Plan Municipal de desarrollo Urbano de Toluca (2014) afirma que:

Entre las principales acciones que el municipio de Toluca ha implementado, con resultados exitosos, destaca el Programa de reforestación, manejo de suelos y agua en las zonas forestales del Municipio, principalmente en las áreas naturales protegidas del Parque Estatal Sierra Morelos y del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Con la forestación de más de 1 millón y medio de árboles, durante estos últimos tres años se han capturado cerca de dos mil toneladas de CO₂ (p. 173).

Por otra parte, el Plan de Desarrollo Municipal de Toluca (2016-2018) dice que:

Existen programas de reforestación en las Áreas Naturales Protegidas de municipio, así como convenios con instituciones públicas y privadas que contribuyen al mejoramiento del medio ambiente y sobre todo instrumentar el ya existente Programa de Reforestación (brechas corta fuego, cercado, cageteo, deshierbe, poda, fertilización, riego de auxilio, control de plagas, etc.); con el fin de fomentar la conservación de estos ecosistemas. Para los parques y jardines urbanos dice que más de la mitad de estos se encuentran en condiciones catalogadas como regulares, por lo tanto, la principal estrategia fue fomentar la rehabilitación y mantenimiento a la infraestructura y áreas verdes de los parques y jardines para el embellecimiento y mejoramiento de la imagen urbana del municipio de Toluca (p. 279-285).

Y es por ello que la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura reconoció en 2020 a Toluca como una ciudad resiliente y sostenible y recibió el reconocimiento de “Juntos por una Ciudad Verde” por su programa de reforestación y expone que:

Toluca se encuentra dentro de las 3 ciudades reconocidas en México por el uso eficiente de los recursos arbóreos urbanos. En total 59 ciudades han logrado la designación internacional, entre ellas Nueva York, San Francisco y Toronto.

Para lograr el reconocimiento, Toluca cumplió con los cinco estándares principales: (1) establecer la responsabilidad gobierno- sociedad, (2) establecer las reglas de plantación, (3) saber qué especies son las adecuadas, (4) asignar recursos y (5) celebrar los logros (Ayuntamiento de Toluca, 2020).

Es por eso la importancia de implementar un inventario de arbolado urbano en las ciudades para estudiar las masas arbóreas de los parques y así tener la capacidad en la toma de decisiones para el desarrollo de un plan de manejo eficiente. Concha (2020) dice que:

Conocer los beneficios del arbolado urbano, tiene como consecuencia la concientización de la importancia de los árboles. Esta información la debemos utilizar para mejorar y desarrollar arbolados sanos, que nos ayuden a combatir la contaminación y mejorar el hábitat urbano (p. 2).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la población mundial es de 7.8 mil millones de personas y según las Naciones Unidas (2022), “Más de la mitad de la población vive en ciudades, es decir, 7 de cada 10 personas vivirán en una ciudad, aunque estas generan más del 80% de la actividad mundial también representan el 70% de las emisiones de carbono.”

Es crucial considerar que, a pesar de su importancia en la actividad económica, las ciudades también generan la mayor parte de estas emisiones. Por lo tanto, la gestión de las áreas verdes urbanas se vuelve esencial para contrarrestar estos efectos negativos. Es por esto que las áreas verdes son un factor importante en las ciudades y Duval, Benedetti y Baudis (2020) afirman que:

Las áreas verdes urbanas son fundamentales en la regulación del microclima mejorando la calidad del aire, reducen la evaporación y disminuyen las aportaciones térmicas al interceptar la radiación solar y proporcionar sombra, pero en los últimos años se han detectado problemáticas como la falta de mantenimiento, la reducción en el presupuesto para nuevos ejemplares y la ausencia de políticas (p. 172-173).

A nivel internacional se han realizado estudios aéreos en megaciudades para identificar cuánto cubre la masa arbórea de área urbana y según Endreny (2018) “El 20% del núcleo urbano de una megaciudad promedio está cubierto por dosel forestal. Pero esto puede variar mucho. Los árboles cubren solo el 1% de Lima, Perú, frente al 36% en la ciudad de Nueva York”.

A nivel nacional solo siete entidades federativas tienen una Ley Estatal de arbolado urbano: Jalisco, Nayarit, Nuevo León, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sonora, Veracruz y Yucatán (Reforestamos, n.d.) como se observa el Estado de México no se encuentra en la lista.

Para el Estado de México, Bobadilla (2019) nos indica que:

La Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México crea la Norma Técnica Ambiental “NTEA-018-SEMAGEM-DS-2017” donde establecen las especificaciones técnicas y criterios para realizar labores de poda, derribo, trasplante y sustitución de árboles en las zonas urbanas, resaltando la importancia de tener un inventario de arbolado en cada localidad.

El municipio de Metepec también cuenta con un inventario de arbolado urbano “Atlas Municipal de Arbolado Urbano de Metepec”, contempla las especies que han sido incorporadas en los últimos programas de reforestación, dar de baja especies que no han sobrevivido, muerto o derribado bajo ningún criterio. Se ha demostrado que el inventario les ha ayudado a identificar el porcentaje de sobrevivencia en sus arborizaciones, reforestaciones y forestaciones (p.8).

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Municipal de Toluca (2022-2024), el municipio de Toluca tiene una superficie de 42, 685 hectáreas y cuenta con 19 parques, 2 parques de jurisdicción federal, 1 de carácter ejidal, 68 jardines, y 146 áreas verdes con una superficie total de 6,051,047m². Los parques más representativos son Parque Alameda 2000 (950,588 m²), parque Lineal Solidaridad (144. 077 m²), parque Matlazincas “El Calvario” (84,547 m²), parque Vicente Guerrero (45,173m²) y el parque Urawa (44,054 m²) por su importancia como pulmones verdes en el municipio (p.190).

Otro autor ha analizado la similitud de la forma del crecimiento del municipio de Toluca: “Este crecimiento horizontal genera recorridos más extensos por rutas, vialidades y calles asfaltadas duras, cuyos suelos impermeables impiden la filtración de agua al subsuelo y promueven el decremento de albedo y la reflectividad, volviéndose receptoras de gran cantidad de radiación” (Torres, 2020, p. 46).

Analizando la temperatura urbana de la ciudad de Toluca el estudio de Morales et al. (2007) demuestran que:

El clima de la ciudad de Toluca está relacionado con el cambio de uso de suelo; la modificación en temperatura, la precipitación, la humedad relativa y el comportamiento del viento está relacionado con la presencia de la isla de calor. El calor experimentado en la ciudad de Toluca está directamente ligado al aumento de temperaturas, existiendo una diferencia térmica, en invierno de 3°C en el día y 1.5°C por la noche y en verano la oscilación es de 2°C, como resultado de la gran extensión territorial, esto debido al tipo de materiales usados en las construcciones de casas y edificios, que originan altas diferencias de temperatura entre el día y la noche (p. 313).

Según el Plan de Desarrollo Municipal de Toluca (2022-2024):

Los principales problemas a los que se enfrentan los parques y jardines de Toluca son el vandalismo, los residuos sólidos y el mal uso del mobiliario. Derivado del daño que se presenta en dichas zonas, durante el 2021 se realizaron varias actividades de rehabilitación y mantenimiento como la colocación de más de 30 mil plantas ornamentales, la poda de pasto en más de 571 hectáreas y la poda de más de 3,400 árboles, limpieza de las áreas, así como los trabajos para eliminar publicidad y marcas de vandalismo. El propósito de la presente administración es fomentar la conservación de los parques, jardines y áreas verdes, así como dar un mantenimiento constante, por lo que son temas de atención prioritaria para Toluca (p. 196).

Sin embargo, desde un enfoque social ven a los parques y jardines como parte del servicio público, no desde un enfoque en sus funciones ambientales, se omiten temas como el envejecimiento y el

estado de salud del arbolado. Pero sus acciones reflejan cierto reconocimiento de dar un mejor mantenimiento al arbolado. Así mismo, el municipio de Toluca cuenta con 19 parques urbanos, como se observa en la Tabla 1:

Tabla 1. Parques Urbanos en el Municipio de Toluca

Nombre	Ubicación (delegación)	Superficie
18 de marzo (metropolitano)	Del Parque	51,140
Alameda 2000	San Buenaventura	950,588
Alameda Norte	San Andrés Cuexcontitlán	19,350
Carlos Hank González	La maquina	41,492
Cuauhtémoc (alameda central)	Centro Histórico	28,595
Ecológico Seminario	Seminario Conciliar	54,354
Estado de México	San Sebastián	13,768
Fidel Negrete	Del Parque	23,135
Guelatao	Sánchez	5,970
Liviano	La maquina	10,594
Lineal Solidaridad	Seminario Conciliar y las Torres	144,077
Los Gigantes	Independencia	8,017
Matlazincas “El Calvario”	Centro Histórico	84,547
Municipal	Independencia	25,201
Reforma	Independencia	8,017
Sauces (Eucaliptos)	San Mateo Oztacatipan	6,336
Unión	Barrios Tradicionales	30,000
Urawa	San Sebastián	44,054
Vicente Guerrero	Ciudad Universitaria	45,173
	Superficie Total	1 621 872

Nota. Plan de Desarrollo Municipal de Toluca, 2022-2024, p.193

De la lista anterior hay dos parques que se encuentran bajo la administración de CEPANAF y que cuentan con un decreto de acuerdo a su categoría, y también hay investigaciones previas donde han hecho inventarios de arbolado urbano:

- Parque Estatal de Área Natural Protegida Recreativo denominado Alameda Poniente, San José de la Pila, publicado en enero de 1993.
- Parque Urbano Matlazincas (El Calvario de Toluca), publicado en marzo de 2013.

Los 17 parques restantes están bajo la administración del Ayuntamiento de Toluca, pero no se encontró un registro oficial de parques urbanos o similares. Sin embargo, en 2019 se creó la Comisión de Parques, Jardines y Panteones con el objetivo de:

Recuperar espacios públicos y prevenir tanto el delito como la violencia en el municipio de Toluca. Se propone construir, ampliar, rehabilitar el mobiliario urbano para la correcta utilización de los espacios públicos, así como implementar acciones que contribuyan a la mejora, conservación y adecuación de estos para su debido aprovechamiento (Ayuntamiento de Toluca, 2019).

En este estudio se seleccionó el Parque Urawa, ubicado en la delegación San Sebastián, como el punto de investigación. Cabe destacar que no se ha encontrado ningún registro oficial de protección o conservación relacionado con el Parque Urawa, ni para otros parques que se encuentren en jurisdicción municipal.

La falta de un inventario de arbolado urbano en los parques del municipio de Toluca plantea una serie de desafíos importantes. Uno de los problemas más destacados es que esta ausencia impide visualizar el potencial completo de los servicios ambientales que ofrecen los parques urbanos y las áreas verdes en general, como la producción de oxígeno, el almacenamiento de dióxido de carbono

y la regulación de la temperatura. Sin este inventario, es difícil cuantificar y comprender plenamente el impacto que estos espacios verdes tienen en el entorno urbano y en la calidad de vida de los ciudadanos.

La falta de conocimiento sobre la diversidad arbórea dentro de los parques urbanos puede ser una debilidad significativa. No conocer la diversidad de especies presentes y su estado de salud impide tomar medidas adecuadas para conservar y proteger la biodiversidad local. Además, la ausencia de árboles locales en los parques urbanos puede afectar negativamente a los ecosistemas locales al reducir la diversidad genética y la capacidad de las especies locales para adaptarse a los cambios ambientales.

La incorporación de las áreas verdes al sistema urbano ha sido de manera significativa “deja de ser solamente un mero requerimiento estético y trasciende su componente ambiental gracias a su valor social y su influencia positiva hacia el interior de la comunidad y de la urbe misma y sus habitantes” (Galindo y Victoria, 2012, p. 102).

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las funciones ambientales de captura de carbono a partir de un inventario detallado de arbolado urbano y de regulación de temperatura y humedad mediante una propuesta metodológica del Parque Urawa del municipio de Toluca para el año 2022?

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar las funciones ambientales de captura de carbono y regulación de temperatura y humedad en el Parque Urawa del Municipio de Toluca para el año 2022, utilizando un inventario detallado de arbolado urbano y proponiendo una metodología para la estimación de temperatura y humedad.

Objetivos Específicos

- Realizar el inventario de arbolado urbano del caso de estudio Parque Urawa para el año 2022,
- Describir el estado del arbolado urbano del caso de estudio Parque Urawa para el año 2022,
- Estimar la función de captura de carbono del arbolado urbano a partir de las especies arbóreas que se localizan en el Parque Urawa para el año 2022,
- Diseñar una propuesta metodológica para la estimación de temperatura y humedad en el Parque Urawa para determinar su función en la regulación de temperatura para el año 2022,

JUSTIFICACIÓN

La investigación propone demostrar cómo un inventario de arbolado urbano del Parque Urawa y la estimación de cómo se comportan los servicios ambientales y comprender que son herramientas cruciales para identificar las funciones actuales de este importante parque urbano.

Estudiar las funciones de los parques urbanos a través de un inventario de arbolado urbano nos sirve para conocer el estado actual de nuestras áreas verdes urbanas, sus características, composición, etc., y así entender el por qué es importante preservar las masas arbóreas e identificar las condiciones en las que está para tener los datos necesarios, plantear retos sobre el manejo de las mismas e identificar a los responsables de la toma de decisiones, la normatividad y marco legal que determina el estado actual de los parques urbanos.

La estimación de las funciones ambientales juega un papel clave en este estudio, ya que proporcionan información sobre cómo el arbolado influye en el entorno local, por ejemplo, la regulación térmica del parque; al comprender cómo se comporta la temperatura en diferentes áreas del parque en diferentes momentos del día, se podrán identificar posibles puntos críticos de calor y evaluar la eficacia de la cobertura arbórea para mitigarlos.

El desarrollo de un inventario de arbolado urbano y la evaluación de las funciones ambientales del Parque Urawa no solo ayudarán a comprender mejor el papel de este espacio verde en la ciudad, sino también proporcionarán información valiosa para la planificación y gestión ambiental urbana.

Este estudio tiene como objetivo demostrar los beneficios de las funciones ambientales del Parque Urawa, a pesar de no ser uno de los más grandes en extensión territorial del municipio de Toluca, como lo son la Alameda 2000 y el Parque Metropolitano Bicentenario. Aunque su tamaño es menor

en comparación, el Parque Urawa cuenta con capacidades significativas, como la capacidad de capturar carbono y regular la temperatura en un área altamente transitada.

Es esencial reconocer las valiosas contribuciones que realizan los parques de pequeña y mediana extensión territorial en el municipio de Toluca. A pesar de su tamaño, estos espacios verdes desempeñan un papel fundamental en la provisión de servicios ambientales clave, sirven como refugios para la biodiversidad local y proporcionar un entorno saludable para la recreación y el esparcimiento de los visitantes.

La estimación de temperatura en el Parque Urawa permitirá comprender cómo el arbolado contribuye a la regulación del clima en su entorno. Al analizar las variaciones térmicas en diferentes puntos del parque, podremos identificar su capacidad para mitigar los efectos del calor urbano y crear microclimas más frescos y confortables. Esta información no solo mejora la calidad de vida de las personas, sino que también puede ayudar a reducir la demanda de energía para refrigeración, disminuyendo así las emisiones de gases de efecto invernadero y promoviendo la resiliencia frente al cambio climático.

Por otro lado, la estimación de captura de carbono en el Parque Urawa dará a conocer la cantidad de carbono que los árboles del parque absorben de la atmósfera. Además, este conocimiento puede respaldar iniciativas de reforestación y conservación en otros parques urbanos, fortaleciendo la biodiversidad local y protegiendo los servicios ecosistémicos que benefician a todo el entorno de este.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

Este primer capítulo tiene como finalidad aportar las bases conceptuales para la comprensión de esta investigación, desde su definición, causas y consecuencias. Algunos conceptos que se abordan son arbolado urbano, su importancia, tipos de clasificaciones urbanas (tipologías), Inventarios de arbolado urbano, sus funciones del arbolado tanto ambientales y sociales, temperatura, captura de carbono del arbolado, entre otros conceptos.

Áreas Verdes

Flores y González (2010), definen y clasifican las áreas verdes de la siguiente manera:

Son consideradas áreas verdes cuando se pueden realizar actividades de esparcimiento; además de proporcionar otros servicios como: purificación del aire, tranquilidad y biodiversidad. Las áreas verdes ciudadinas incluyen lugares públicos (de libre acceso) y privados (acceso restringido) como:

1. Corredores verdes (árboles y pastizales) a lo largo de avenidas, calles y vías del tren.
2. Espacios públicos: parques, jardines, plazas jardinadas, deportivos ajardinados y cementerios.
3. Espacios privados: jardines y azoteas verdes de residencias y edificios.
4. Viveros forestales, huertos, espacios agrícolas y terrenos baldíos con vegetación.
5. Cinturones verdes que rodean las ciudades como el Parque Nacional Cumbres del Ajusco en el Distrito Federal (D.F.), México (CDMX).

Los parques públicos constituyen una categoría de un sistema total de áreas verdes urbanas que comprende espacios públicos y privados (p.17).

Por lo tanto, el Parque Urawa, aunque es una importante área verde, se clasifica como parque urbano y forma parte integral del sistema de áreas verdes del municipio de Toluca. Su clasificación como parque urbano resalta su papel en la red interconectada de espacios verdes que, en conjunto, apoyan el equilibrio ecológico del municipio de Toluca.

Como se mencionó anteriormente, las áreas verdes tienen diferentes clasificaciones (público y privado). Por otro lado, las áreas verdes en el entorno urbano se clasifican en diversas tipologías, cada una desempeñando funciones específicas asegurando que todas las áreas verdes trabajen en conjunto para crear un entorno equilibrado.

Tipología de áreas verdes

La tipología es un instrumento que aporta mucha claridad, si se puede disponer de ella, Es decir, muchas cuestiones relativas a la planificación, y aún más en el caso de la planificación verde, carecen de tipologías establecidas o estudiadas (Salvador, 2003).

En la tabla 2 se muestra la tipología diseñada para México

Tabla 2. Tipología de México

Tipología	Características	Meta social
México		
Juegos infantiles	Áreas de juegos infantiles y de descanso. De 1,250 a 5,500 m ² .	Dirigido a niños. En localidades a partir de 2,500 habitantes.
Jardín vecinal	Áreas de juegos infantiles y de descanso. De 2,500 a 10,000 m ² .	Dirigido a la población general. En localidades mayores de 5,000 habitantes.

Parque de Barrio	Áreas de juegos infantiles, recreación diversa. De 11,000 a 44,000 m ² .	Dirigido a la población general. En localidades mayores de 10,000 habitantes.
Parque Urbano	Actividades recreativas diversas, estacionamiento, otros servicios. De 9.1 a 72.8 ha.	Población en general. En localidades mayores de 50,000 habitantes.

Nota. Flores y González., 2010, p.19.

En este contexto el caso de estudio del Parque Urawa se clasifica bajo la tipología de “Parque de Barrio” debido a su extensión territorial de 4.4 ha. Aunque los parques de barrio son más pequeños que los parques urbanos, juegan un papel importante en la vida cotidiana de las comunidades locales. Su accesibilidad y proximidad a las viviendas los convierten en lugares de esparcimiento diario.

Por otro lado, en la Tabla 3, Gámez, (2005) muestra su diseño de una clasificación de áreas verdes de acuerdo a su tipología y explica que variables utilizó para hacerlo:

La tipología consiste en la selección de un conjunto de casos de “intervención verde” o medio ambiental y se clasifican con variables apropiadas para su caracterización. Por ejemplo, su tamaño territorial, la población estimada de usuarios del recurso, la función social, ambiental o ecológica de la intervención (p.11).

Tabla 3. Clasificación de tipologías de áreas verdes

Ámbito ecológico	Área o zona tipo	Magnitud territorial	Nivel de usuarios	Función ambiental y ecológica
Natural	No habitable, Protegida	Mayor a 50	Mayor a 50 millones	Protección ecológica
	No habitable, No protegida	ha		
	Habitable, Pública			
	Habitable, Privada			
Transición	Periurbana, Productiva	Mayor a 20	1 a 5 millones	Cinturón Hortícola
	Periurbana, Recreacional	ha		Cinturón Recreacional
	Intraurbana, Enclave, Natural	Mayor a 10 ha		Contacto con la naturaleza
Urbano	Intraurbana, Enclave, Artificial			Parque forestado Valor ecológico
	Intercomunal, Gob. Central	Menor a 10 ha	500 a 1.000.000	Parque urbano, multiuso, recreación, cultural, deportivo.
	Intercomunal, Asociación Municipal	5 a 10 ha	200 a 500.000	Parque urbano limítrofe.
	Intracomunal, Municipio	2 a 5 ha	100.000	Parque urbano comunal
	Intracomunal, Vecinal	1/10 a 2 ha	5.000	Plaza o plazoleta vecinal

Nota. Gámez, 2005, p.11-12.

Finalmente, para este contexto, el caso de estudio del Parque Urawa por su función ambiental puede entrar en cualquier tipología urbana, mientras que por su extensión territorial se clasifica en Parque Urbano Intercomunal, Parque Urbano Intracomunal y Parque Urbano de Asociación Municipal por su superficie de 4.4 ha.

Dentro de la amplia tipología de áreas verdes, los parques urbanos destacan por su gran importancia en las ciudades. Los parques urbanos son esenciales no solo por su capacidad para ofrecer espacios recreativos, sino también por su contribución a la regulación del clima urbano, entre otros beneficios.

Parques urbanos y su papel ambiental

Como primer concepto de parque urbano, Galindo y Victoria (2012) consideran que:

Los parques, arboledas incluso jardines pequeños y corredores verdes son considerados generadores de beneficios sociales para las comunidades urbanas que se encuentran a su alrededor. Estos espacios verdes se vuelven desde un punto de reunión familiar hasta generar un sentido de identidad de la zona (manzana, conjunto habitacional o colonia) como en la misma ciudad (Central Park, Nueva York). Por lo tanto, tener áreas verdes, zonas de vegetación en las ciudades deja de ser un mero requerimiento estético y trasciende su componente ambiental gracias a su valor social y su influencia positiva hacia el interior de la comunidad y de la urbe misma y sus habitantes. (p. 102).

Los parques urbanos cuentan con una variedad de beneficios y funciones, no solo medioambientales, sino sociales, paisajísticos e incluso económicos, aunque estos beneficios varían respecto a la dimensión, tipo de especies y morfología del parque. En la Tabla 4 se muestra como Castillo y Ferro 2015, describen solo las funciones medioambientales que cumplen los parques urbanos dentro de las ciudades.

Tabla 4. Beneficios y Funciones de los parques urbanos

Beneficios y funciones	Descripción
Climáticos	Disminución de la temperatura (regulación térmica de la isla de calor) Control de la radiación solar (regulación lumínica – sombra) Contribuyen con la reducción de la contaminación atmosférica (producen O ₂ y adsorben CO ₂) Absorben polvos y gases (reducen la polución del aire) Modifican la humedad Controlan y modifican los vientos y las brisas Contribuyen en el control de ruidos y olores Evitan la erosión de los suelos Facilitan la infiltración de las aguas Contribuyen con la disminución de la sedimentación
Medioambientales	Incremento de la biodiversidad mediante presencia de avifauna Facilitan la continuidad ecológica pues constituyen corredores ecológicos Contribuyen al complemento del ciclo del agua

Nota: Castillo y Ferro, 2015

Por lo tanto, la presencia de arbolado en los parques tiene diversas funciones ambientales que a simple vista no percibimos, pero que están presentes; en esta investigación nos enfocaremos en las funciones ambientales de captura de carbono y la regulación de temperaturas; “diversos estudios señalan que se logra una disminución del ruido hasta por 10 a 12 decibeles con la plantación estratégica de árboles” (Reyes y Gutiérrez, 2010, p.98), el aumento del valor patrimonial, mejoran la calidad de vida de las personas, aumentan la biodiversidad local, entre otros y se ha comprobado que los árboles dan sombra a las superficies y evitan que se calienten.

Árbol urbano

Para esta investigación se parte que para entender el concepto de parque urbano primero es importante comprender el concepto de árbol urbano, es así que Iguñiz (2011, 2013) explica que:

Convivir con el árbol, aceptarlo en la ciudad, respetar su espacio, no es cómodo ni sencillo, y conlleva inevitablemente aceptar una serie de trabajos y molestias, pero que siempre serán importantes. El árbol da, pero también exige, requiere un espacio y un tiempo. En una ciudad cada vez más concurrida y más estrecha, la competencia por el espacio es feroz, el árbol necesita cierto espacio aéreo para extender su copa, y un cierto espacio subterráneo para extender sus raíces y se requiere tiempo en caso de necesitar mantenimiento, pero los trabajos al arbolado no se pueden improvisar (p.18,20-21).

En nuestro entorno cultural aceptamos mal la idea de una calle sin arbolado, hasta el punto de que se dan situaciones de calles arboladas en las que el árbol no cabe, no tiene espacio para desarrollarse correctamente. El árbol urbano vive en condiciones muy duras; escaso espacio subterráneo para su desarrollo, suelos que fueron compactados para ser pavimentados y que las raíces no puedan penetrar (p.10,12).

Por lo tanto, el árbol urbano como ser individual desempeña un papel importante dentro de las ciudades, es por eso que Priego (2002) hace énfasis en que:

“Hoy resulta paradójico hablar de árbol urbano, ya que es probable que en lugar donde las ciudades fueron emplazadas, el árbol estaba primero”. A diferencia del árbol presente en los bosques o en el ámbito rural, en la ciudad el árbol cumple con servicios sociales y ambientales. El árbol urbano aporta beneficios que aparte de los estéticos están siendo estudiados como una nueva manera de mejorar la calidad de vida (p.4,6).

Arbolado urbano

El arbolado urbano son especímenes que han sido plantados y han crecido dentro de un área urbana y tienen como función aportar servicios ambientales para la generación de contaminantes por actividades antropogénicas.

Como definición más completa Priego (2002) define arbolado urbano como:

Los árboles son un componente de la imagen de la ciudad, poseen un volumen determinado a sus diferentes hábitos de crecimiento, y, por lo tanto, modifican el espacio en el cual son plantados. Con su presencia, los árboles deben hacer el contrapunto a la arquitectura de las construcciones sólidas, sumando lugares en el espacio público que estimulen la vida cultural de los usuarios (p.4).

Hablando conjuntamente de los árboles urbanos pueden jugar una importante función en los espacios hidrológicos urbanos. Pueden reducir la velocidad y volumen de la escorrentía de una tormenta, los daños por inundaciones, los costos por tratamiento de agua de lluvia y los problemas de calidad de agua (p.11).

Entonces para que los árboles urbanos puedan crecer y desarrollarse dentro de las ciudades evitando que dañen el suelo y la infraestructura deben contar con características específicas y Galindo y Victoria (2012) mencionan las especies aptas para parques urbanos, afirman que:

En cuanto a parques es importante plantar especies perennes de follaje denso del lado que provienen los vientos dominantes, que para la mayor parte del Valle de Toluca, en la dirección Surponiente a Nororiente, y de Suroriente a Norponiente, tales como la *Grevillea robusta*, *Ligustrum lcidum* (trueno), *Pinnus spp* (pinos en general), *Schinus molle* (pirul); y especies caducifolias que den estacionalidad con su floración y/o follaje, que

permitan el paso del sol en invierno cuando se deshagan de sus hojas, brindan sombra en primavera y refugio de la lluvia en verano. Tales como *Populus alba* (álamo plateado), *Robinia pseudoacacia* (falsa acacia blanca), *Salix babylonica* (sauce llorón). (p. 106).

Es muy importante el uso de especies nativas locales, que suelen tener un papel secuestrador y que contribuyan también al incremento de la biodiversidad total del ecosistema, especialmente si son especies nativas aclimatadas y naturalizadas (Figueroa, et al., 2021).

Por otro lado, PROBOSQUE (2022) en su página oficial nos menciona que las especies aptas para las zonas urbanas dentro del Estado de México son: liquidámbar, trueno, acacia, cepillo, jacaranda, sauce llorón, cedro, fresno y tulia.

Importancia del Arbolado Urbano

Anteriormente, la prioridad en la gestión de los parques urbanos no estaba enfocada en el cuidado del arbolado urbano, estaba en la estetificación priorizando la belleza visual, el bienestar y la calidad de vida de las personas, relegando las consecuencias a largo plazo de las especies introducidas en los parques. Sin embargo, en la actualidad hemos comprendido que la gestión y el cuidado del arbolado urbano es fundamental para garantizar la funcionalidad de los servicios ambientales de los parques urbanos.

Sin embargo, el arbolado tiene otros impactos en otras dimensiones como la social, donde Priego (2002) habla sobre la importancia de la presencia de bosque urbano es beneficioso en muchos sentidos y sostiene que:

Los árboles y bosques urbanos contribuyen a la disminución del estrés y el mejoramiento de la salud física de los residentes urbanos. Se ha demostrado que los paisajes con árboles producen estados fisiológicos más distendidos en los humanos que los paisajes que carecen

de estas características naturales, además, los árboles urbanos proveen experiencias emocionales y espirituales significativas que son extremadamente importantes en la vida de la gente y pueden conducir a un fuerte arraigo a lugares particulares y a los árboles. Ha sido demostrado que las experiencias en los parques urbanos ayudan a cambiar estados de ánimo y a reducir la presión. Adicionalmente, la sombra de los árboles reduce la radiación ultravioleta y de esa manera puede ayudar a reducir los problemas de salud (p. 17-18).

Otros autores consideran que una ciudad arbolada contribuye a conservar o mantener la biodiversidad, es un importante indicador de ciudad ecológicamente sostenible. A mayor biodiversidad mayor equilibrio del ecosistema urbano, Pérez y López (2015) dicen que:

Algunos estudios ambientales no consideran los parques, jardines y bosques urbanos como naturaleza, sino como segunda naturaleza porque constituyen una segunda reproducción de las condiciones en las que se desenvuelve aquella. La segunda naturaleza hace referencia a la que está construida artificialmente, modelada y estilizada. La presencia de vegetación responde al simbolismo y a la representación idealizada de la naturaleza, con una forma de recuperar lo perdido. (p. 6-7).

Por ejemplo, la FAO (2020) afirman que:

En la actualidad la superficie de bosques plantados (segunda naturaleza) mundialmente abarca 294 millones de hectáreas. América del Sur tiene la mayor proporción de bosques plantados que son plantaciones forestales (99% de la superficie de bosques plantados), mientras que Europa tiene menor porcentaje (6% de los bosques plantados) (p.19).

Entonces el Parque Urawa es considerado como vegetación introducida artificialmente porque es un área que previamente ha sido modificada por la actividad humana, es decir, los árboles y

arbustos que encontramos dentro del parque a través del inventario de arbolado urbano no son parte del bosque original o de la vegetación natural de la región, sino que fueron reintroducidos en respuesta de las condiciones del nuevo entorno urbano.

Por último, Escobedo y Chacalo (2008) concluyen que:

El arbolado urbano puede influir en forma directa o indirecta en la calidad ambiental y el bienestar humano, ya que mejora la calidad del aire, provee sombra, y modera la temperatura y el microclima, afectando al uso de la energía; disminuye las emisiones de compuestos orgánicos volátiles y a la vez aumenta el valor patrimonial. Además, el arbolado urbano reduce el escurrimiento, minimizando así la erosión del suelo y la producción de polvo. Mantener un arbolado saludable que logre llegar a la etapa adulta debe ser el principio rector de los planes de manejo. Los parques urbanos adultos pueden brindar más beneficios para mejorar la calidad del aire en las ciudades. Entender la condición del arbolado urbano, su composición y su función ambiental puede facilitar la toma de decisiones efectivas (p.29, 32).

Sin embargo, para gestionar eficazmente estos beneficios ambientales y sociales, es importante que los parques urbanos cuenten con un inventario de arbolado urbano para monitorear los árboles presentes en los parques urbanos.

Inventario de arbolado urbano

Un inventario de arbolado urbano se realiza para identificar las principales características de una población de arbolado, sus medidas alométricas, estado de salud, etc., y así analizar los servicios ambientales que brinda a su entorno.

Es por ello que Escobedo y Chacalo (2008) mencionan que:

Un censo de arbolado provee, la información necesaria para entender las influencias de la vegetación urbana al ambiente y a sus habitantes. Además, si se determina y analiza la estructura actual del arbolado urbano se podrá entender cuáles son los requerimientos de mantenimiento, las técnicas silvícolas, el uso de suelos y para el ordenamiento territorial (p.32).

A través de un diagnóstico de arbolado urbano Concha (2020) definió inventario de arbolado urbano como:

Realizar y determinar la cuantificación económica del beneficio ambiental que proveen los árboles de la ciudad. Esta información tiene varios propósitos: en primer lugar, que el público general y quien toma decisiones presupuestales, esté consciente de la aportación de los árboles a mejorar el hábitat urbano. En segundo lugar, permitirá mostrar porque el llevar a cabo buenas prácticas de manejo de arbolado es una inversión inteligente toda vez que la relación Beneficio/Costo en árboles es superior a la unidad, ya que los beneficios de salud, confort, visuales, y ahorro de energía sobrepasan los gastos que se requieren para contar con un árbol sano. (p.46).

En conclusión, para realizar cualquier estudio o investigación de arbolado urbano es necesario un inventario porque al desconocer las características de los individuos es casi imposible obtener los datos precisos y de la misma manera se debe diseñar y aplicar una metodología específica para el área de estudio con estos mismos datos.

Tipos de Inventarios de Arbolado Urbano

El diagnóstico del arbolado urbano depende de las necesidades, el alcance y los objetivos del proyecto y con estos se diseña una metodología adecuada con equipo adecuado y sobre todo con un inventario que se adapte al proyecto. La FAO (2023), explica que:

Los principales factores que determinan la metodología general son la finalidad y el alcance/escala del inventario. Se han de definir claramente la finalidad (objetivo o meta) y el público objetivo/usuarios del inventario, y se debe resaltar el interés principal de la recolección de datos en base a las necesidades de información de los usuarios. Por lo que se refiere al alcance/escala, se puede incluir un amplio abanico de necesidades y, por consiguiente, de enfoques. Los inventarios mundiales están dirigidos a determinar el alcance y el estado de los recursos forestales a nivel global mientras que los inventarios de zonas más pequeñas se suelen realizar con objetivos más específicos.

Existen tres tipos de métodos para el muestreo de datos (Aleatorio, Aleatorio estratificado o restringido y Sistemático) para el proyecto se utilizó el último en el cual hay dos tipos de inventario de arbolado para la recolección de datos como se muestra en la Tabla 4:

Tabla 4. Tipos de inventario de arbolado

Censo	Consiste en contar o enumerar por completo los individuos que componen una población o comunidad en un área determinada y en un momento dado
Muestreo	Es el recuento parcial de los individuos de una población o comunidad, mediante el cual se estima el tamaño de toda la población o comunidad

Nota: Universidad Nacional de Nordeste, 2018, p.7.

Para el caso de estudio del Parque Urawa el tipo de inventario fue sistemático por censo ya que por las necesidades del proyecto requerían el registro de los datos arbóreos totales y se tuvieron

que inventariar para calcular captura de carbono y así mismo mostrar la cobertura arbórea del parque.

“El Parque Urawa es uno de los parques más representativos del municipio de Toluca junto con el Parque Alameda 2000 y El Calvario por la importancia que tienen como grandes pulmones verdes, así como la identidad que dan al mismo”. (PMDU, 2018, p.272). Es por ello que se va a realizar un inventario total para la estimación de sus funciones ambientales y analizar qué tanto es el impacto de un parque urbano en una zona muy transitada.

Gestión de parques urbanos

Todas las áreas verdes públicas incluyendo los parques urbanos públicos, deben contar con una gestión a nivel municipal o estatal que administre las actividades que se realizan dentro de los parques, Palma (2023) explica que:

La gestión pública de los parques urbanos debe ser entendida como el conjunto de decisiones ejecutivas que debe tomar la dirección encargada del manejo de los parques urbanos de la administración pública del gobierno responsable, capaz de desarrollar las actividades y/o acciones que conduzcan a lograr los objetivos y las metas planteadas. La gestión pública que realizan los gobiernos responsables del manejo de parques urbanos debe conducir, ajustar y replantear las actividades y/o acciones para brindar un mantenimiento y conservación oportuno y eficaz en los parques urbanos (P.46).

En el municipio de Toluca, la falta de gestión adecuada de los parques urbanos presenta un desafío ante la conservación y calidad de vida. Sin una gestión eficiente, los parques pueden sufrir de problemas como la falta de mantenimiento, la proliferación de especies invasoras, y la degradación

de las infraestructuras. Galindo y Victoria (2012) en su investigación sobre la vegetación urbana en el Valle de Toluca, proponen que:

El diseño, desarrollo y mantenimiento de las áreas verdes urbanas debe ser considerada ya un área prioritaria dentro de cualquier plan de desarrollo municipal y/o urbano que aspire a mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad y busque generar un ambiente más armonioso y equilibrado en ésta, dado su importante impacto social (p.112).

Los parques con una gestión adecuada, con un arbolado saludable son fundamentales para mitigar las altas temperaturas de calor urbano al proporcionar sombra y enfriar el aire. Sin una gestión adecuada, la capacidad de los parques de cumplir esta función se ve comprometida, lo que puede resultar en temperaturas más altas.

Temperaturas urbanas

Según Alchapar y Correa (2016) definen sencillamente temperaturas urbanas como: “Estas temperaturas son influenciadas por el microclima urbano, por la estrecha relación entre el comportamiento térmico y la selección de materiales y morfología de los edificios, su orientación y la vegetación presente”. (p.86).

Sin embargo, hay definiciones más complejas que abarcan diversos factores que originan estas temperaturas urbanas, Galilea (2017) la define como:

El impacto del calor antropogénico en la temperatura de los cañones urbanos, es producto de las actividades que se dan en el área urbana, el transporte, la industrial, el comercio y especialmente el uso de calefacción en invierno. En verano también existen fuentes de calor antropogénico muy significativas, debido al uso de sistemas de aire acondicionado. La combinación de este efecto en los centros urbanos, que tienen poca cobertura vegetal y

superficies oscuras puede incrementar la temperatura entre 2 y 3 °C, tanto en el día como en la noche. (p.37).

Además, estas temperaturas urbanas también han sido estudiadas a diferentes escalas porque se ha demostrado que conforme la escala es mayor la complejidad y la diversidad también tienden a ser mayor y depende si la ciudad se presta para este tipo de estudios. A continuación, se describen estas diferentes escalas:

Romero, Irrázaval, Opazo, Salgado, y Smith (2010) clasifican las temperaturas urbanas a escalas como:

A microescala, cada objeto del paisaje urbano genera especiales flujos e intercambios de materia y energía entre la atmósfera, los suelos, la vegetación, las calles, las casas, los edificios, las industrias, los parques, etc. Los cambios de los usos de suelos agrícolas a usos urbanos generan importantes transformaciones sobre las temperaturas, presión atmosférica, precipitaciones, humedad y vientos. La urbanización es uno de los principales factores del incremento de la temperatura a escala local. (p.36).

A escala urbana, las capas atmosféricas que se ubican por debajo de las más altas edificaciones y aquellas causadas por las intervenciones urbanas que alteran la naturaleza y atributos del aire, como la geometría de calles y edificaciones, materiales y color de las construcciones y el factor de apertura a la insolación directa. (p.36).

A escala global, la elevación sistemática de las temperaturas, la ocurrencia de ondas de frío y calor, así como los desastres naturales por los cambios climáticos, afectan severa y cada vez más frecuentemente las ciudades, al acoplarse a los cambios de micro y mesoescala. (p. 37).

Finalmente, a la mesoescala se encuentran los climas de los niveles límites, donde hay diferencias climáticas entre las áreas rurales y urbanas, llamándose islas de calor urbano. (p.37).

Este proyecto se desarrolló en el Parque Urawa, que abarca una superficie 4.4 hectáreas. Se optó por una microescala para adaptar el estudio a las limitaciones de espacio y recursos disponibles. Este enfoque en una superficie reducida permitió realizar las estimaciones de temperatura más detalladas y precisas, lo que facilitó la obtención de datos altamente relevantes para el análisis ambiental.

Temperatura promedio

Actualmente el aumento de las temperaturas globales se ha dado por el cambio climático esto por de manera natural por factores climáticos y por causas humanas como la quema de combustibles fósiles. Esta última es la que más impacto ha generado ya que libera gases de efecto invernadero y hace que las temperaturas aumenten.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM), estableció que la temperatura media global aumentará en los próximos cinco años entre 1.2 y 1.3°C por encima del periodo preindustrial. La evolución de la temperatura global indica que los objetivos del Acuerdo de París de limitar el aumento de la temperatura están lejos de cumplirse (Fundación Aquae, 2021).

A nivel local Calderón y Pérez (2018) analizaron el comportamiento de la temperatura y la precipitación de la Ciudad de Toluca durante las décadas de 1970 a 2010 a través de los datos de las estaciones meteorológicas para identificar los cambios más significativos en las temperaturas. En los resultados se puede observar que las temperaturas a través de los años fueron aumentando,

el principal factor fue el crecimiento y expansión urbana, así como de las actividades comerciales e industriales a través de las décadas

Los autores concluyeron:

La temperatura media se estimó en 13.08°C con una oscilación de 0.7°C y un incremento promedio inter década de 0.2°C. Las últimas dos décadas son las que presentaron tanto los valores más altos como la mayor oscilación térmica, cuyo valor fue 0.3°C. El promedio de la temperatura mínima promedio anual desde 1970 a 2013 fue 5.5°C con una oscilación de 0.9°C y un incremento promedio de 0.33°C cada diez años (Calderón y Pérez, 2018, p.313).

A pesar de que el incremento de la temperatura es mínimo entre cada década se tiene que seguir analizando el comportamiento de las temperaturas ya que la ciudad de Toluca sigue creciendo de forma horizontal, así como las actividades comerciales, el tránsito vehicular y sobre todo las actividades industriales.

Materiales urbanos

En estudios recientes se ha comprobado que los materiales de los edificios influyen directamente al aumento de las temperaturas urbanas, Alchapar y Correa (2015) explican que:

La superficie de las ciudades se compone de un mosaico de diferentes materiales, a los que denominamos la envolvente urbana, cada uno de ellos muestran distintos comportamientos energéticos en función de sus propiedades térmicas y ópticas, lo que impacta en forma directa dentro del microclima local. Cada material que compone la envolvente urbana tiene diferente capacidad de reflejar la radiación solar recibida (reflectancia solar o albedo) lo cual altera la fracción de radiación solar absorbida por la ciudad. Debido a que los materiales que componen las envolventes urbanas son responsables de la interacción entre

el edificio y el medio ambiente, afectan tanto el consumo de energía tanto para el acondicionamiento térmico de los edificios como las temperaturas de la ciudad (p.2).

Su estudio llegó a la conclusión que la adecuada selección de los materiales envolventes urbanos de enfriamiento pasivo de las ciudades tiene una estrategia costo-efectiva que no requiere un costo adicional simplemente es tener a la mano la información adecuada del material.

Galilea (2017) en su estudio de alteraciones térmicas afirma que:

Las características físicas de los materiales hacen que al ser expuestos a la radiación solar conviertan la radiación recibida en calor, que en parte se acumula en su interior para ser liberado posteriormente, y otra parte se remita hacia la atmósfera. La gran mayoría de los materiales urbanos se caracterizan por una mayor capacidad calorífica ya que por lo general tienen un albedo (fracción de radiación solar, directa y difusa que las superficies alcanzadas por la radiación solar reflejan). Menor que los de las superficies rurales. Hacen que estos puedan acumular grandes cantidades de energía durante el día. Lo cual implica que esta energía acumulada durante el día sea liberada durante la noche, retrasando el enfriamiento del aire que está en contacto con ellos (p.35-36).

Frecuencia vehicular

El uso de automóvil cada vez se ve más marcado por razones de comodidad o incluso por estatus, y la necesidad de usar el transporte público para realizar nuestras actividades cotidianas es un problema que avanza a raíz del crecimiento poblacional.

Así mismo, “En México, desde el 2010, el 77.8% de la población habitaba en localidades urbanas, generando diferentes problemáticas como el congestionamiento de tránsito, contaminación del

aire, seguridad energética, efectos del calentamiento global, sobrepoblación, incremento de la demanda de servicios básicos, etc.” (Sandoval, Franco y Fernández, 2019, p.2).

De acuerdo con el inventario Nacional de Emisiones de México, 1999 y los inventarios de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) el transporte y los vehículos son la principal fuente antropogénica de emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x), y compuestos orgánicos volátiles (COV), sustancias precursoras de la formación de ozono. Si bien estas emisiones son el resultado directo del uso de combustibles fósiles, como la gasolina y el Diesel, existen otros factores determinantes en la cantidad de contaminantes que un vehículo automotor puede generar, como son la edad, la tecnología, el uso y el mantenimiento del vehículo (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Dirección de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional (DGICUR), y Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire (DICA), 2010, p.1).

Es por ello que la contaminación atmosférica relacionada con el uso vehicular y el transporte público no es un problema nuevo, se ha comprobado que los vehículos motorizados desprenden gases contaminantes a la atmósfera provocando daños en a la salud, al medio ambiente y a la visibilidad del entorno.

El Parque Urawa se sitúa en una zona de alta densidad vehicular, atribuida a la presencia estratégica del supermercado (Walmart), la Terminal de Toluca y el Mercado Juárez, así como diversos establecimientos dedicados al comercio. La convergencia de estos puntos clave ha creado un entorno donde la actitud vehicular es significativa.

Ramos (2018), analizó la frecuencia vehicular en el municipio de Toluca y afirma que:

El 90% de las rutas de transporte público ingresan a la zona centro y la zona de la terminal (zona del área de estudio), lo que ocasiona puntos de conflicto vial. (para. 1 y 6).

En la zona de la terminal de autobuses de la Ciudad de Toluca se sobreponen un total de 147 rutas de transporte, entre camiones urbanos, suburbanos y foráneos, ocasionando embotellamientos severos y tiempos de recorridos prolongados. (para. 8).

Las rutas de transporte que se concentran en la zona de la terminal-Mercado Juárez pasan sobre todo en las vialidades de Tollocan, Felipe Berriozábal, Isidro Fabela y Prolongación 5 de mayo, agregando que en esta misma zona existen 14 bases foráneas de taxis colectivos, de las cuales sólo cuatro están autorizadas. (para. 12 y 16). Las vialidades Tollocan y Prolongación 5 de mayo son aledañas al Parque Urawa.

Relación de usos de suelo y temperaturas atmosféricas

Los factores que modifican el clima en las ciudades son los materiales con los que están contruidos los edificios, calles hechas con pavimentos duros, el aumento del congestionamiento vehicular y la disminución o nula presencia de vegetación son consecuencia que las zonas urbanas sean cada vez más calientes.

Se ha hablado que las zonas rurales se registran menores temperaturas que en las urbanas y Romero y Molina (2008) argumentan que:

Al interior de las ciudades existe una variación espacial de las temperaturas, asociada directamente con los usos y coberturas de los usos prevalecientes. El uso urbano de alta densidad presenta menores porcentajes de cobertura con vegetación y mayores superficies impermeabilizadas que las zonas urbanas de baja densidad, o aquellas áreas que son

completamente verdes. Durante la mañana, los usos de suelo propiamente urbanos registran temperaturas más bajas que las zonas naturales, relación que se invierte en la noche (p.227).

Por otro lado, Galilea (2017) tiene un concepto similar y se concluye que:

El área rural es generalmente caracterizada por largas áreas de vegetación. Gran parte de la radiación solar cae en la vegetación las cuales se caracterizan por una gran absorción solar alrededor del 80% que es usada para evaporación-transpiración, la cual baja la temperatura del aire a su alrededor y libera humedad, proceso que modera la superficie de la tierra y el aire. Por otra parte, las ciudades se caracterizan por reducir el área verde y acumular materiales artificiales, los cuales tienen propiedades de alta absorción térmica (p.35).

Captura de carbono

El aumento de la concentración de dióxido de carbono CO₂ ha aumentado paulatinamente en las áreas urbanas principalmente por la quema de combustibles fósiles aunado a disminución de áreas verdes en las ciudades por el cambio de uso de suelo. Uno de los desafíos actuales es difundir las funciones ambientales de los árboles como la capacidad de fijar el CO₂ en sus hojas, tallos y ramas y también que al carecer de vegetación en las ciudades esta función de captura de carbono tiende a reducirse.

Es por eso que Barradas (1988) nos afirma que:

Las plantas son capaces de fijar como máximo ocho gramos de CO₂ en un metro cuadrado de superficie foliar, en una hora, en condiciones óptimas de radiación solar, temperatura y disponibilidad de agua. Esta fijación depende, además, de la edad de las plantas; en las hojas jóvenes puede ser mayor que en las más viejas y también depende de la especie

taxonómica. Incluso hay especies que tienen la capacidad de fijar el CO₂ todo el año como lo son el fresno, el colorín, el liquidámbar y la jacaranda (p.63).

Hablando específicamente de México, Benjamín y Masera (2001), dicen que:

Se encuentra dentro de los 20 países con mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y, por otro lado, se encuentra entre las regiones más vulnerables a los impactos asociados al cambio climático debido a sus condiciones bioclimáticas y socioeconómicas. A nivel nacional, los bosques son actualmente la segunda fuente de emisiones de GEI, contribuyendo aproximadamente con el 30% del total. Asimismo, los bosques de México pueden ser extremadamente vulnerables al cambio climático y representan un almacén de carbono de 8 GtC (mil millones de toneladas de carbono), cantidad equivalente a las emisiones mundiales actuales de CO₂. La capacidad de almacenamiento de carbono en estos bosques se está perdiendo rápidamente por los procesos de deforestación y degradación de los ecosistemas forestales (p.4).

Ecuaciones alométricas

Las ecuaciones alométricas son utilizadas para calcular diversas funciones ambientales en este proyecto se usarán para calcular la captura de carbono y es así que Flores, Vega, Corral, Álvarez, Ruiz, López y Carillo, (2018) las definen como:

Herramientas importantes para estimar, de una manera adecuada, la biomasa y el carbono de los bosques, además son empleados en los inventarios de combustibles para el cálculo de las cargas de distintas fracciones de arbolado tanto adulto como regenerado. En México, los modelos alométricos se han desarrollado para diferentes necesidades, y la mayoría de los estudios disponibles en alométricas de biomasa se enfocan en arbolado adulto, con

pocos trabajos orientados a la estimación de biomasa en la etapa de regeneración (p.158-159).

Según Sáenz, Rueda, Benavides, Muñoz, Castillo y Sáenz-Ceja (2021), explican que “el uso de ecuaciones alométricas permite el cálculo de la biomasa de una especie forestal de una manera no destructiva y extrapolable a situaciones de crecimiento similares, con parámetros relativamente fáciles de medir tales como el diámetro y la altura” (p.27).

Concha (2020) nos da otra definición y nos dice que:

El almacenamiento de carbono es la cantidad de carbono capturada en las partes de la vegetación leñosa sobre el suelo y bajo el mismo. Para calcular el almacenamiento actual de carbono, se calcula la biomasa de cada árbol usando ecuaciones de la literatura y los datos de los árboles medidos (p.12).

Como conclusión Díaz, Acosta, Carrillo, Buendía, Flores, y Etchevers, (2007) mencionan que:

En muchos estudios se ha empleado la biomasa de los árboles para estimar su contenido de carbono, a través de la multiplicación de la cantidad disponible en una determinada superficie en relación con un factor que va desde 0.40 hasta el 0.55, ya que varios autores han encontrado que es la proporción de carbón contenido en cualquier especie vegetal, depende el autor que se consulte. Las ecuaciones de biomasa mejoran su predicción cuando se consideran al mismo tiempo las variables diámetro y la altura (p.26).

Diseño de transectos

Las altas temperaturas urbanas pueden ser medidas de distintas maneras y dependiendo su magnitud se pueden medir por medio de imágenes LANDSAT de banda infrarroja, por los datos

de las estaciones meteorológicas de las ciudades, por transectos móviles o por termómetros ambientales.

Para este caso de estudio nos enfocaremos en los transectos móviles y según Wollmann, Silva y Comassetto (2017) “Los transectos móviles consisten en la adquisición automática y simultánea de datos climáticos a lo largo del recorrido dentro del tejido urbano. Para ello se deben establecer los transectos de acuerdo a las necesidades del proyecto” (p.210).

Por otro lado, Lemus (2016), da una definición más completa y dice que:

Éste fenómeno iniciado en 1927 por Schmidt en Viena y también por Peppler en Karlsruhe, surge con la necesidad de obtener datos, principalmente de temperatura, de diversos puntos de una ciudad y consiste en hacer recorridos con vehículos y estaciones meteorológicas portátiles a lo largo y ancho de la ciudad para obtener valores de sitios tanto del centro como de la periferia de la ciudad (p.53).

Antes de describir el diseño de la metodología es necesario entender la importancia de estos conceptos dentro del contexto de las ciudades para comprender la problemática a la que nos referimos.

Marco normativo aplicable para parques urbanos

En México existen leyes y normas vigentes que protegen a los parques urbanos a nivel nacional, estatal y municipal de personas que pongan en riesgo su conservación y manejo, y tratar de identificar si estas leyes y normas retoman la importancia de realizar inventarios de arbolado urbano, así como mantener la información pública.

Nivel Nacional

- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente de 2015 (Art. 8), establece que:

Les corresponde a los municipios la creación y administración de zonas de preservación ecológica de los centros de población, parques urbanos, jardines públicos y demás áreas análogas previstas por la legislación local. (p. 10).
- Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, 2021 (Art. 59), a pesar de no contar con un artículo específico para los parques urbanos hace referencia de la siguiente manera:

Corresponderá a los municipios formular, aprobar y administrar la Zonificación de los Centros de Población ubicados en su territorio en la que determinarán: las normas y disposiciones técnicas aplicables para el diseño y adecuación de Destinos específicos tales como para vialidades, parques plazas, áreas verdes o equipamientos que garanticen las condiciones materiales de la vida comunitaria y la Movilidad. (p. 31-32).
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021, (Art. 8.2.4), menciona que:

Las áreas ajardinadas y el arbolado deben utilizar especies nativas y/o endémicas aprobadas por el marco legal ambiental vigente, que minimicen el mantenimiento y el uso de agua. Se recomienda el diseño de jardines xerófilos acordes tanto con el bioma como con las actividades correspondientes para no aportar al estrés hídrico. (p.13).

Nivel Estatal

- Ley de parques Estatales y Municipales, (2001), a pesar de que es una ley específica para parques, no se menciona la importancia y utilidad de realizar un inventario de arbolado urbano, sin embargo, declara que:

La creación, fomento, conservación, protección, mantenimiento y ampliación de áreas jardinadas y boscosas para establecer Parques Estatales y Municipales de Recreación Popular en el Territorio del Estado, que aseguren la comunidad un lugar de esparcimiento y preserven el equilibrio ecológico. (p.2).

- Ley de protección al ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México, (2001), menciona que:

Les corresponde a las autoridades municipales del Estado de México crear y administrar zonas de preservación ecológica de los centros de población, parques urbanos, jardines públicos. (p.14), y

Se sancionará con una multa a quienes poden o trasplanten un árbol público o afecte negativamente áreas verdes o jardineras públicas, incluyendo las localizadas en las banquetas y camellones, sin la autorización previa de la autoridad competente. (p.51).

- Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-018-SEMAGEM-DS-2017, establece que:

Las especificaciones técnicas y criterios ambientales para llevar a cabo labores de poda, derribo, trasplante y sustitución de árboles, con el fin de contribuir al fortalecimiento regulatorio que permita reducir las afectaciones ambientales de este recurso. (p.2). Para las dependencias del sector público y los Ayuntamientos que ejecuten trabajos periódicos de podas del arbolado urbano deberán presentar documentación básica como: un diagnóstico, un inventario, calendario de ejecución y personal técnico responsable. (p.9).

- Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-019-SEMAGEM-DS-2017, tiene como objetivo:

Dar sustento a las acciones para la planeación y ejecución de las actividades 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 una

adecuada coordinación entre los distintos sectores de la sociedad y los diferentes niveles de gobierno. (p.4).

Además, de deberá realizar un mantenimiento a los parques urbanos y es ahí cuando se habla de los inventarios de arbolado urbano, establece que:

Los Ayuntamientos y Particulares deberán realizar y mantener vigente el inventario de áreas verdes y macizos arbóreos y enviar anualmente el registro a la secretaria. (p.8), y

El ayuntamiento y los particulares, en su caso, deberán formular y proponer programas de mantenimiento para proteger, conservar y restaurar en óptimas condiciones sus áreas verdes y macizos arbóreos, su infraestructura, su equipamiento. Para los parques urbanos, el programa de mantenimiento debe de cumplir con ciertos criterios y entre ellos contar con un inventario de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas y un plano de localización geográfica. (p.9).

- Código Penal del Estado de México (n.d), establece que:

A quien dolosamente deteriore, por el uso, la ocupación o el aprovechamiento, un inmueble que por decreto del ejecutivo del Estado haya sido declarado área natural protegida, en sus diferentes modalidades de reservas estatales, parques estatales, parques municipales, reservas naturales privadas o comunitarias y las demás que determinen las leyes y reglamentos de la materia, se le impondrán de tres a diez años de prisión y de cincuenta a doscientos días de multa. (p.50).

Nivel Municipal

- Bando Municipal (2023), que tiene como objetivo regular la vida orgánica, política y administrativa del municipio; sobre la protección de parques y jardines son infraccionales:

Destruir, quemar, talar, aplicar o verter sobre los árboles o al pie de los mismos, ubicados en parques, jardineras públicas, incluyendo las localizadas en banquetas y camellones y bienes del dominio público, sustancias tóxicas o cualquier otro material que les cause daño o afecte negativamente; y

Realizar la poda, derribo, trasplante y sustitución de árboles o quema de pastizales y hojarasca en zonas urbanas o rurales, sin autorización de la autoridad municipal. (p.52).

- Código Reglamentario Municipal de Toluca 2022-2024, aclara que:

Las áreas verdes en vías públicas y privadas, serán objeto de vigilancia y control de la Dirección General de Medio Ambiente, por lo que cualquier acción como creación, manejo, cambio de uso de suelo, derribo de árboles y remoción de la cubierta vegetal le corresponde a la Dirección. (p.167). Así como, implementar programas de forestación, reforestación en áreas verdes urbanas y no urbanas. (p.58).

El Código Reglamentario Municipal de Toluca habla sobre realizar programas de reforestación y forestación en los parques urbanos, pero no menciona que estos programas deben contar con un inventario de arbolado urbano, sin embargo, menciona las especificaciones de las especies que se pueden introducir y sus características en metros de altura y distancia entre cada árbol.

La implementación de estas leyes y normas es fundamental para asegurar que los parques urbanos continúen brindando importantes servicios ecosistémicos. Para que estas leyes y normas tengan un impacto real y duradero, es necesario que las autoridades locales y estatales, junto con la comunidad, trabajen en conjunto para garantizar su cumplimiento. La participación activa de la comunidad en la conservación y mejora de los parques urbanos es importante para mantener estos espacios como pulmones verdes.

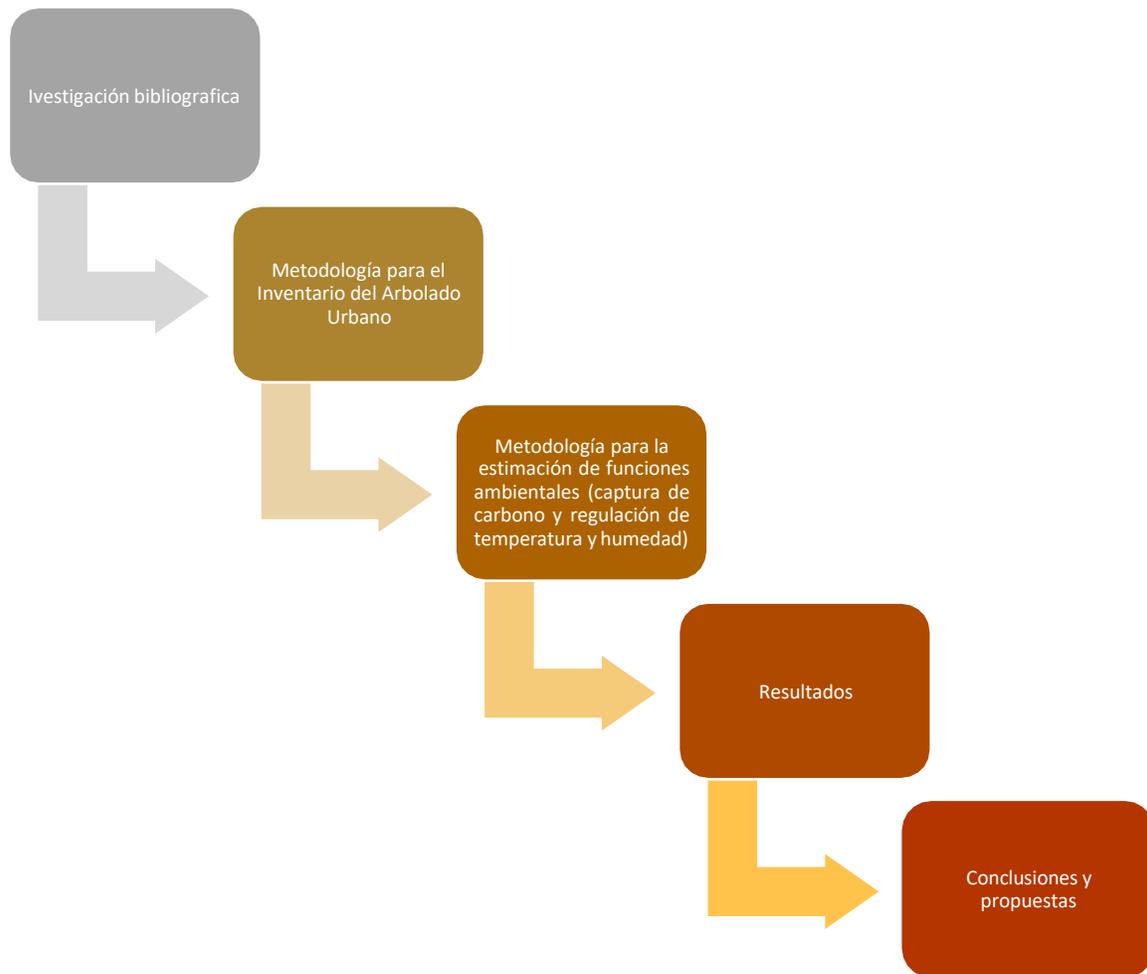
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

Este capítulo describe la metodología empleada en esta investigación para llevar a cabo el inventario urbano y analizar las funciones ambientales de captura de carbono y regulación de temperatura y humedad. Este proyecto utiliza un enfoque cuantitativo. Para este fin se realizó un censo exhaustivo y mediciones de temperatura y humedad en el Parque Urawa.

Para estructurar el estudio, se desarrollaron cuatro etapas clave, que se ilustran en la Figura 1. Estas etapas permitieron recopilar información detallada sobre el inventario de arbolado urbano y sus funciones ambientales asociadas. Las metodologías seleccionadas para la realización del inventario y el análisis de las funciones ambientales (captura de carbono y regulación de temperatura y humedad) fueron escogidas con base en investigaciones previas donde las metodologías ya están documentadas que han demostrado ser efectivas para complementar los objetivos de este estudio.

Dado que el área arbolada del Parque Urawa es relativamente pequeña, la metodología propuesta se adaptó a las características específicas del sitio, lo que permitió obtener resultados precisos y ajustados a la escala del parque. Esta investigación representa una propuesta metodológica que puede ser aplicada y mejorada en futuros estudios sobre el arbolado urbano y sus funciones.

Figura 1. Procedimiento Metodológico



Revisión bibliográfica

Para este capítulo se realizó la investigación bibliográfica para la consulta de metodologías y casos de estudio de inventarios de arbolado urbano y funciones ambientales aplicados en parques urbanos que ayudarán en la construcción de la metodología del caso de estudio del Parque Urawa. Toda la información que se recolectó, se analizó y se comparó con el fin de poder alcanzar los objetivos de este proyecto.

Inventarios de Arbolado Urbano

Antecedente Metodológico “Análisis del diseño e implementación de la propuesta piloto del inventario de arbolado urbano en la ciudad de Toluca”.

La metodología analizada fue la de Bobadilla, 2019 “Análisis del diseño e implementación de la propuesta piloto del inventario de arbolado urbano en la ciudad de Toluca”. La zona de estudio fue en la localidad “Rancho la Mora”. Para la realización del inventario hubo coordinación con diferentes dependencias como el Catastro municipal, la Décimo Tercera Regiduría, la Dirección de Medio Ambiente y la secretaria del Ayuntamiento donde todas tuvieron participación en la realización del inventario del arbolado.

Se dividió la colonia “Rancho la Mora” en 15 cuadrantes y se le asignó una brigada a cada cuadrante con el fin de hacer más eficaz el levantamiento de datos y en cada brigada debía estar una persona con más experiencia previa en inventarios de arbolado urbano.

Para los formatos del registro de las especies arbóreas fueron tomados de los existentes del municipio de Toluca y del municipio de Metepec donde sus aspectos a considerar son: altura, diámetro, edad, aspectos fitosanitarios, estado general y ubicación. Se tomó la decisión de que la toma de datos se realizaría en un solo día por el número de personas involucradas.

En la Tabla 5 se describen los insumos que Bobadilla, 2019 consideró que son necesarios para poder realizar el inventario de arbolado.

Tabla 5. Necesidades para el inventario de Arbolado Urbano

Necesidad	Descripción	Dependencia responsable
40 brigadistas	Personal encargado de censar	Todas las dependencias
Mapa de la zona de trabajo	Mapa de la colonia Rancho la Mora	Catastro Municipal
Formatos de registros de especies arbóreas	Tabulado para registrar las especies censadas	Décimo Tercera Regiduría
Guía de identificación de especies arbóreas	Listado con fotografía de especies endémicas y especies que se han estado plantando en el municipio, para fácil identificación al momento de censar	Dirección de Medio Ambiente
Cintas métricas	El uso de cinta métrica será para medir el diámetro del árbol, como realización aproximada de su altura	Dirección de Medio Ambiente
Transporte	Transporte para trasladar a los brigadistas	Secretaría del Ayuntamiento
Papelería básica (plumas, lápices, gomas)	Plumas o lápices para el registro de las especies arbóreas	Secretaría del Ayuntamiento
GPS o App de localización	Para la geo referencia se requiere de una aplicación instalada en el celular o contar con los GPS suficientes que nos ayuden a identificar la localización de cada especie	Todas las dependencias
50 gafetes de identificación	Para evitar algún tipo de conflicto, se propone que cada brigadista lleve un gafete de identificación	Décimo Tercera Regiduría

Nota: Bobadilla, 2019

Funciones ambientales: Estimación de Captura de Carbono

Antecedente Metodológico “Análisis de los servicios ambientales del Parque Metropolitano Bicentenario en la Ciudad de Toluca”.

Existen casos de estudio en la ciudad de Toluca que analizan las problemáticas relacionadas con la urbanización y el cambio climático y como las áreas verdes cumplen con sus funciones ambientales como la captura de carbono en parques urbanos. Para este proyecto se tomaron en cuenta otros casos de estudio para retomar las características importantes y que se adaptarán al caso de estudio del Parque Urawa y así diseñar una metodología.

A partir de la tesis de Mañón, 2018 “Análisis de los servicios ambientales del Parque Metropolitano Bicentenario en la Ciudad de Toluca”. Se obtuvieron ecuaciones alométricas y también se consultaron otros autores para obtener las ecuaciones alométricas faltantes; Mañón midió la circunferencia de todos los árboles del parque con una cinta métrica tomando de referencia aquellos que midieran mayor o igual a 15 cm, después identificó la especie o el género y finalmente calculo el DAP y vació los datos del levantamiento del arbolado en un formato.

Por el cálculo de la captura de carbono de cada especie, el proyecto tuvo como resultado que el parque Metropolitano Bicentenario almacena 64.42 MgCha^{-1} (mega gramos de carbono por hectárea), es decir, si cumple con su función ambiental de captura de carbono y es un parque importante dentro de la ciudad de Toluca.

Funciones ambientales: Estimación de temperatura y humedad

Durante la investigación de gabinete se analizaron los siguientes casos de estudio con diferentes diseños de metodologías para medir la temperatura, humedad, ruido, así como otros servicios

ambientales en áreas verdes y parques urbanos y a partir estas metodologías poder diseñar una que se adaptará a las necesidades del caso de estudio del “Parque Urawa”.

Antecedente Metodológico “Isla de calor en la ciudad de Puebla”

Para el diseño de la metodología de Lemus, 2016 “Isla de calor en la ciudad de Puebla”. Lemus realizó una investigación de gabinete sobre el comportamiento de la climatología en la ciudad de Puebla y seleccionó las estaciones climatológicas que se encontraran dentro de la ciudad y sus alrededores y que tuvieran más años de operación para obtener más datos precisos, fueron 24 estaciones seleccionadas para el diseño de la metodología. Para la medición en campo Lemus definió ocho transectos cada dos kilómetros al interior de la ciudad de para la toma de temperaturas. Este método sirve para obtener datos de diferentes puntos del área de estudio en el momento que se requiera.

Los datos fueron tomados en tres horas del día (mañana, tarde y noche) para analizar las variaciones de las temperaturas durante el día. Cada dato se tomó de 2 a 3 minutos, aunque los dispositivos pueden variar en los datos por el movimiento del mismo es una buena técnica para la toma de datos.

El tiempo de toma de temperaturas entre cada transecto influye de manera significativa ya que al ser 8 puntos por cada 2 kilómetros puede ser una desventaja por el tiempo que transcurre; las temperaturas cambian desde la toma del primer punto hasta el último punto de medición, influye el flujo vehicular, la presencia y ausencia de árboles, si las calles o avenidas son cerradas, etc., justo por estos aspectos desde un principio hay que definir los objetivos de la investigación para diseñar una metodología que mejor se adapte.

Antecedente Metodológico “Análisis de los servicios ambientales del Parque Metropolitano Bicentenario en la Ciudad de Toluca”

Se retomó nuevamente la metodología de Mañón, 2018 “Análisis de los servicios ambientales del Parque Metropolitano Bicentenario en la Ciudad de Toluca”.

De la misma manera Mañón primero hizo una investigación de gabinete para resaltar la importancia de los servicios ambientales en los parques urbanos, después realizó una observación exploratoria para identificar las áreas con cobertura vegetal densa , escasa o nula y mediante los sistemas de información geográfica sectorizo el parque para resaltar los puntos de lectura de las temperaturas con un dispositivo llamado Data Logger en donde midió las temperaturas en dos diferentes condiciones arbóreas una bajo abundante arbolado y otra sin arbolado esto para analizar qué tanto influyen las condiciones respecto a la temperatura absorbida en los materiales de construcción del parque, hay que recordar que el asfalto absorbe gran parte de la radiación solar y hace que la temperatura ambiente aumente.

Los datos de temperatura fueron tomados los días 6, 13 y 20 de mayo del año 2016 entre las 14:00 y 16:00 horas con la justificación que es el horario donde se registran las temperaturas más altas durante el día. Los resultados obtenidos fueron que sobre las zonas arboladas las temperaturas eran menores que en las que no estaban arboladas y la diferencia de temperaturas fueron desde los 1.5°C hasta los 10.9°C llegando a la conclusión que los árboles si son reguladores de temperatura dentro de una ciudad.

Antecedente Metodológico “Estrategias de mitigación de Islas de calor urbano en Toluca”

La metodología de Torres (2020), “Estrategias de mitigación de Islas de calor urbano en Toluca”, consiste en determinar el impacto ambiental del tren interurbano Toluca- México desde su proceso de construcción hasta la puesta en marcha del mismo, por lo tanto, propone una metodología que consiste en identificar la isla de calor de la ciudad de Toluca mediante una investigación de gabinete con los datos proporcionados de las estaciones climatológicas y para la medición de temperaturas en campo, Torres seleccionó tres puntos (rural, semiurbano y urbano) para identificar la isla de calor utilizando sensores de medición.

La medición de temperatura se tomó en octubre y noviembre de 2018, junio, julio y agosto de 2019 y octubre de 2019 en los horarios de 11:00 a 16:00 horas porque según Torres son las horas de mayor intensidad de radiación solar y surte efectos en las superficies construidas a nivel del suelo.

Inventario de Arbolado Urbano del Parque Urawa

El levantamiento de datos se realizó con diferentes actividades y recursos para identificar cuáles eran las necesidades del proyecto y los objetivos alcanzables a partir de las características morfológicas propias del Parque Urawa. Y a partir de esto se planteó y se realizó una metodología apta para poder alcanzar los objetivos propuestos.

El objetivo del inventario de arbolado del Parque Urawa fue censar todo el parque para poder calcular las funciones ambientales y así poder hacer un análisis más específico del estado actual de este, así como identificar que especies hay plantadas, cuáles han sido introducidas y no le favorecen al parque, el estado de salud, la geolocalización mediante un GPS, entre otros datos. Los indicadores que fueron considerados para el levantamiento de datos para el inventario de arbolado se describen a continuación en la Tabla 6:

Tabla 6. Indicadores para el levantamiento de datos

Indicador	Descripción	Unidad de medida
No.	Con este número se referencia cada árbol físicamente y dentro de los formatos del inventario.	N/A
Especie taxonómica	Es el nombre taxonómico con el que se refiere a cada árbol (Consulta en APP móvil, tomando una fotografía de sus hojas o tallos).	N/A
Nombre común	Nombre local con el que se le reconoce al árbol (Consulta en APP móvil, tomando una fotografía de sus hojas o tallos).	N/A
Altura	Altura promedio de cada árbol. La medición se hace con referencia a la altura de una persona.	Metros
Salud	Es la condición general de salud de cada árbol, aquí solo existen dos parámetros (vivo o muerto) para clasificar a los árboles, sin determinar el motivo de salud que tienen al momento de hacer el inventario.	N/A
Circunferencia	Se toma la circunferencia del tronco de cada árbol a la altura del pecho con ayuda de una cinta métrica.	Centímetros
Cobertura de la copa	Desde la base del árbol se coloca la cinta métrica y hasta donde termina la copa de árbol, se recomienda unir dos cintas métricas ya que la cobertura de unos árboles se extiende hasta los 5 metros.	Metros

Para el levantamiento de datos se diseñó el siguiente formato (Figura 2) de acuerdo a los indicadores mencionados anteriormente considerando que el tipo de inventario realizado es sistematizado por censo, es decir, que es importante registrar los datos completos de cada individuo.

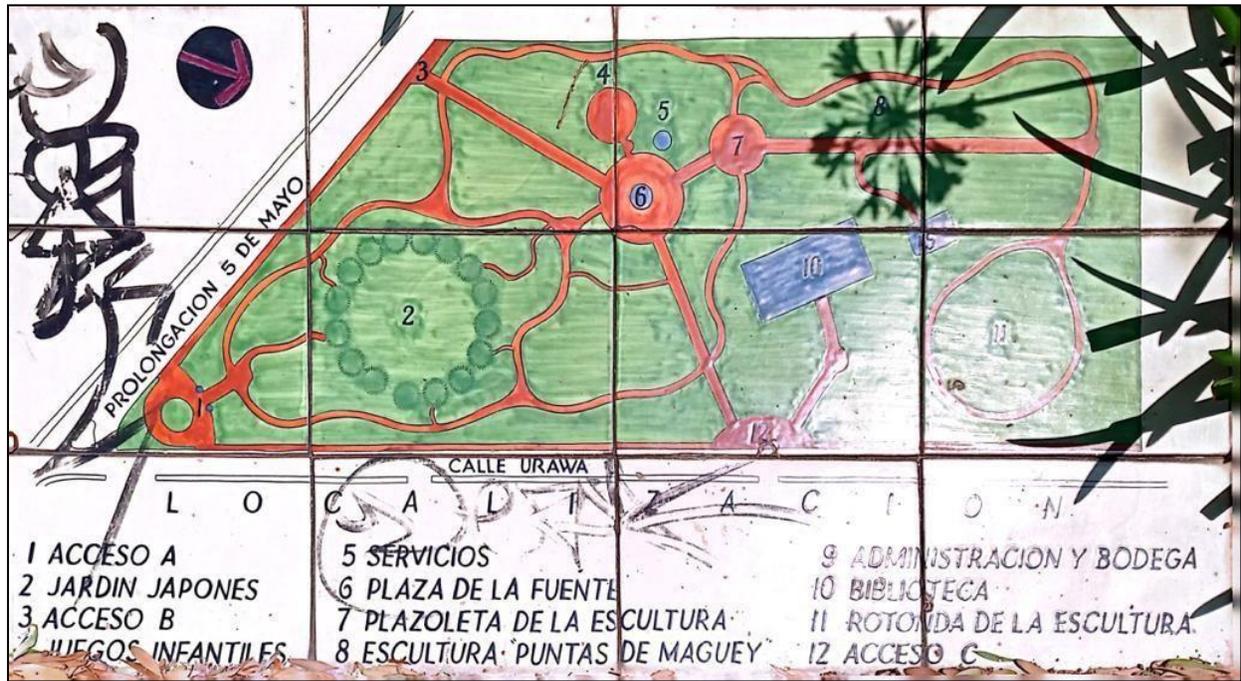
Figura 2. Formato para el levantamiento de datos del inventario de arbolado urbano

No.	Especie taxonómica	Nombre común	Altura m	Salud		DAP cm	Cobertura m	No.	Especie taxonómica	Nombre Común	Altura m	Salud		DAP cm	Cobertura m
				V	M							V	M		

El levantamiento de datos se realizó siguiendo los cuadrantes que ya tiene marcados el Parque Urawa. El parque cuenta con tres accesos, tres edificios de jurisdicción municipal entre ellos una biblioteca pública y juegos infantiles, entre otros. Cuando se hizo el levantamiento de datos el acceso era totalmente libre sin restricción de hora y a pesar que el parque contaba con los accesos oficiales se podía acceder a este por cualquier lado de las calles 5 de mayo y Urawa, actualmente ya cuenta con vallas protectoras y sus accesos ya son usados obligatoriamente y en los horarios asignados.

Dentro del parque se encuentran mapas de localización de las infraestructuras (accesos, áreas verdes, cuerpos de agua, juegos infantiles, biblioteca y servicios en general) y distribución como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Geolocalización del Parque Urawa



Debido a la pandemia y a los recursos disponibles se tuvo que optar por hacer el levantamiento de datos en cuatro días y con el recurso de cinco personas que tuvieran una función específica cada uno para agilizar el proceso.

Para el censo primero se midió la circunferencia de los árboles con una cinta métrica considerando a los que tenían igual o mayor a 5 cm. Después, la primera persona tomaba las coordenadas con un GPS sobre la base del tronco del árbol (Figuras 4 y 5). Se registraron los datos en la bitácora para su consulta; otra persona enumeraba los árboles que ya habían sido inventariados con gis blanco para evitar la confusión y que se repitieran los datos.

Figura 4 y 5. Toma de geolocalización de los árboles



Se midió y registró los datos de la circunferencia del tronco del árbol con una cinta métrica a la altura del pecho y la cobertura de la copa colocando la cinta en el suelo sobre la base del tronco del árbol hasta donde llegara la cobertura de la copa (Figuras 6 y 7).

Otra persona con ayuda de una aplicación móvil identificaba las especies arbóreas a través de una foto de sus hojas o tallos y de la misma manera eran registrados en la bitácora.

Figura 6 y 7. Toma de medida de circunferencia y cobertura de la copa de los árboles



Se construyó una base de datos añadiendo más indicadores que resultaron relevantes para la investigación durante el levantamiento y análisis de datos para poder calcular las funciones ambientales del Parque Urawa. Los indicadores fueron: No. De árbol, clave, especie taxonómica, nombre común, altura (m), salud (vivo o muerto), circunferencia (cm), cobertura de la copa (m) y familia a la que pertenece la especie arbórea.

Elaboración de base de datos

Los datos que se registraron en campo se pasaron a una hoja de Excel para poder agilizar la información y realizar los mapas. El formato se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Formato para base de datos del Inventario de arbolado urbano

No. Del árbol	Clave	Especie taxonómica	Nombre común	Altura (m)	Vivo	Muerto	Circunferencia cm	Cobertura de la copa (m)	Familia
1									
2									
3									
4									
5									

Fue necesario asignarle una clave a cada especie para identificarla en los filtros de la base de datos, en los sistemas de información geográfica y para calcular sus funciones ambientales. Las especies que no se pudieron identificar ya sea porque el árbol estaba muerto, seco o era época en la que no presentaban hojas se les asignó la clave SD (sin datos) y no fueron consideradas para el cálculo de servicios ambientales como se verá más adelante.

Elaboración cartográfica

Se realizaron mapas de geoposicionamiento para analizar la distribución arbórea, la densidad de cobertura arbolada, la diversidad de especies y el efecto de estas sobre la regulación de temperatura

y la captura de carbono, utilizando un GPS con memoria interna para después pasar los datos a un sistema de información geográfica (QGIS) y representarlos en mapas.

Metodología para la estimación de funciones ambientales del Parque Urawa

Estimación de captura de carbono del Parque Urawa.

Durante la elaboración de la base de datos junto con la información del levantamiento del inventario de arbolado urbano en el Parque Urawa se identificaron 27 especies arbóreas y se calculó la captura de carbono mediante ecuaciones alométricas. Cabe mencionar que unas ecuaciones fueron encontradas en casos de estudio ya aplicados y documentados mientras que otras no, por lo tanto, se optó por asignarles una ecuación en relación a su género ya que hay menor variación en los resultados a comparación que sí se hiciera por la familia de cada especie.

Por otra parte, hay especies que a pesar de la investigación a fondo de gabinete no se encontró alguna ecuación alométrica aplicable así que se descartaron del caso de estudio por falta de información documentada.

Para la estimación de carbono se utilizó la metodología de Etchevers, Monreal, Hidalgo, Acosta, Padilla, & López (2010), “Manual para la determinación de carbono en la parte aérea y subterránea de sistemas de producción de ladera”. El manual proporciona fórmulas para calcular el carbono incluyendo medición del diámetro y altura de los árboles, uso de fórmulas alométricas para estimar la biomasa y el muestreo y análisis para determinar el carbono. El método puede ser aplicado en diferentes escalas, desde el árbol individual hasta la unidad de área, lo que lo hace versátil para diferentes contextos.

Se optó por utilizar esta metodología ya que las fórmulas alométricas específicas para cada especie, previamente documentadas en estudios anteriores, permiten una mayor precisión en la estimación

de la biomasa y el carbono almacenado. Estas fórmulas están diseñadas para cada especie, tomando en cuenta las características particulares de cada una en comparación con el uso de una fórmula única y generalizada. Aunque el método puede ajustarse a diferentes contextos, su aplicación en este estudio se centró en obtener los datos más precisos posibles dentro de las limitaciones disponibles.

Para las fórmulas documentadas el factor de conversión se tomó de la metodología de cada autor, pero hay casos de especies donde no se identificó un factor de conversión y por lo tanto se tomó el valor de 0.5 para obtener los kg de carbono a partir de los kg de biomasa como se muestra en la Tabla 7 y finalmente los resultados se pasaron de kg a toneladas.

Tabla 7. Ecuaciones alométricas

Clave	Especie	Ecuación	Conversión	Autor
1	<i>Acacia melanoxylon</i>	$[0.0053] * [DBH^{2.96}]$	0.5	Návar 2009b
2	<i>Casuarina equisetifolia</i>	$((e^{(0.014718^2) / 2})) (e^{1.87511}) (DBH^{2.29843})$	0.5	Montero et al., 2005
3	<i>Cupressus lusitanica</i>	$[0.5266] * [DBH^{1.7712}]$.49	Vigil 2010
4	<i>Erythrina variegata</i>	$[0.0433] * [DBH^{2.3929}]$	0.5	Návar 2009c
5	<i>Eucalyptus gunnii</i>	$[2.497]^{[DBH * 0.1186]}$	0.5	Toribio, 2006
6	<i>Fraxinus uhdei</i>	$0.0466 * DAP^{2.70184}$	0.47	López, et al. 2018
7	<i>Grevillea robusta</i>	$[0.0948] * [DBH^{2.4079}]$	0.5	Díaz, 2005
8	<i>Juniperus virginiana</i>	$[0.209142] * [DBH^{1.698}]$	0.5	Rodríguez, et al. 2009
9	<i>Ligustrum japonicum</i>	$-0.55 + DAP^{1.72}$	0.5	López, et al. 2018
10	<i>Liquidambar styraciflua</i>	$[0.180272] * [DBH^{2.27177}]$	0.5	Rodríguez et al., 2006
11	<i>Pinus patula</i>	$[0.0948] * [DBH^{2.4079}]$	0.5	Díaz, 2005
12	<i>Pinus resinosa</i>	$[0.0948] * [DBH^{2.4079}]$	0.5	Díaz, 2005

13	<i>Prunus persica</i>	$[\text{Exp}[-2.76]*[\text{DBH}^2.37]]$	0.5	Acosta, 2003
14	<i>Prunus serotina</i>	$[\text{Exp}[-2.76]*[\text{DBH}^2.37]]$	0.5	Acosta, 2003

Nota: Elaborado con base en Rojas y Martínez, 2015 y López et al, 2018.

En la estimación de captura de carbono, se consideraron datos como la circunferencia del tronco en centímetros, el diámetro a la altura del pecho (DBH/DAP) y el radio. La tabla 8 detalla cómo se obtuvieron estos datos y cómo se aplicaron en las fórmulas alométricas para calcular la biomasa y el carbono almacenado. Allí se explican los pasos utilizados para medir la circunferencia, calcular el DAP a partir de dicha medida y derivar el radio, lo que permitió obtener resultados precisos sobre la biomasa y la captura de carbono de cada especie.

Tabla 8. Métodos de cálculo de la Biomasa y Captura de Carbono.

Fórmula	
DBH (DAP)	circunferencia / 3.14159265
Radio	DBH/2
Radio ²	Radio * Radio
Área	Radio ² * 3.159265
Biomasa	DAP * b (formula alométrica)
Carbono	Biomasa * factor de conversión

Estimación de temperatura y humedad del Parque Urawa.

Como se mostró anteriormente se hizo la investigación de gabinete de tres casos de estudio para analizar el comportamiento de la temperatura urbana en relación con las áreas verdes donde cada autor diseñó una metodología para la estimación de temperaturas.

Se hizo una comparación entre las metodologías de Lemus, Mañón y Torres para observar las diferencias entre los aparatos y herramientas utilizadas (termómetros, estaciones, GPS) así como sus variaciones en los datos; el por qué fueron seleccionadas las áreas de estudio, los periodos y horarios de estimación de temperaturas. (Tabla 9).

Con estas investigaciones y las pruebas piloto se pudo diseñar una metodología adecuada para el Parque Urawa considerando los periodos y horarios para el levantamiento de datos en campo.

Tabla 9. Metodologías revisadas

Caso de estudio	Isla de calor en la Ciudad de Puebla	Análisis de los servicios ambientales del Parque Metropolitano Bicentenario en la Ciudad de Toluca	Estrategias de mitigación de Islas de calor urbano en Toluca
Autor	Lemus, 2016	Mañón, 2018	Torres, 2020
Método	Transectos en vehículos y estaciones meteorológicas portátiles	Sectorización por zonas (arbolada, arbolada densa, reforestada y de asfalto)	Trayectos móviles en bicicleta y a pie
Meses	abril y agosto de 2015/ enero de 2016	6, 13 y 20 de mayo de 2016	octubre y noviembre de 2018/ junio, julio y agosto de 2019/ octubre de 2019
Horarios	6:00- 7:00 horas/ 14:00- 15:00 horas/ 20:00- 21:00 horas	14:00-16:00 horas	11:00-16:00 horas

Nota: Elaborado con base a Lemus (2016), Mañón (2018) y Torres (2020).

Diseño de propuesta de estimación de temperatura para el Parque Urawa

Para este caso de estudio primero se realizó una investigación de gabinete, la cual consistió en solicitar los datos de temperatura y humedad de los años 2020, 2021 y 2022 a la Estación 15367 “Museo Observatorio Meteorológico Universitario Mariano Bárcena” localizado en el edificio central de rectoría de la Universidad Autónoma del Estado de México en el Centro de la Ciudad de Toluca para analizar el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas y la humedad. Se optó por esta estación porque es la más cercana al área de estudio Parque Urawa y la que ha mantenido su funcionamiento durante los últimos años. La estación 15367 registra las temperaturas cada 10 minutos durante las 24 hrs de todos los días del año. Con los datos registrados se calculó el promedio de temperatura máxima y mínima y se diseñaron diagramas lineales para visualizar el comportamiento de los datos entre los tres años.

Con los datos históricos de temperaturas máximas y mínimas de la estación 15367 se diseñó una tabla para obtener el promedio por mes y año se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Temperaturas máximas y mínimas promedio

Año	Temperatura máxima promedio				Temperatura mínima promedio			
2020	enero	11.55°C	julio	15.02°C	enero	11.32°C	julio	14.79°C
	febrero	14.10°C	agosto	14.78°C	febrero	13.85°C	agosto	14.57°C
	marzo	16.17°C	septiembre	14.39°C	marzo	15.91°C	septiembre	14.19°C
	abril	17.03°C	octubre	14.32°C	abril	16.76°C	octubre	14.08°C
	mayo	16.34°C	noviembre	13.61°C	mayo	16.08°C	noviembre	13.37°C
	junio	16.13°C	diciembre	11.94°C	junio	15.89°C	diciembre	11.71°C
2021	enero	11.95°C	julio	14.48°C	enero	11.73°C	julio	14.26°C
	febrero	13.33°C	agosto	14.35°C	febrero	13.06°C	agosto	14.16°C
	marzo	15.79°C	septiembre	14.47°C	marzo	15.53°C	septiembre	14.25°C
	abril	16.23°C	octubre	14.52°C	abril	15.97°C	octubre	14.29°C

2022	mayo	15.99°C	noviembre	14.21°C	mayo	15.75°C	noviembre	13.99°C
	junio	14.34°C	diciembre	12.66°C	junio	14.15°C	diciembre	12.42°C
	enero	11.64°C	julio	14.94°C	enero	11.41°C	julio	14.72°C
	febrero	12.71°C	agosto	14.51°C	febrero	12.48°C	agosto	14.30°C
	marzo	14.91°C	septiembre	14.65°C	marzo	14.65°C	septiembre	14.47°C
	abril	16.19°C	octubre	14.64°C	abril	15.92°C	octubre	14.44°C
	mayo	14.91°C	noviembre	13.72°C	mayo	14.65°C	noviembre	13.51°C
	junio	15.07°C	diciembre	12.30°C	junio	14.86°C	diciembre	12.06°C

Nota: Elaborado con base a la Estación 15367 “Museo Observatorio Meteorológico Universitario Mariano Bárcena” (2022- 2023)

Para seleccionar los meses y horarios para la estimación de temperaturas en el Parque Urawa se analizaron los datos de temperatura obtenidos de la estación 15367:

- El valor más alto de temperatura máxima promedio para el año 2020 es de 17.03 °C para el mes de abril mientras que el valor más bajo es en enero con 11.55 °C con una diferencia de 5.48 °C, mientras que el valor más alto de temperatura mínima es 16.76 °C en abril y 11.32 °C en enero con una variedad de 5.44 °C.
- En el año 2021 el valor más alto registrado de temperatura máxima es en abril con 16.23 °C, el valor más bajo fue en enero con 11.95 °C con una diferencia de 4.28 °C. Con respecto a la temperatura mínima, el valor más alto es en abril con 15.97 °C y el más bajo es de 11.73° para el mes de enero con una divergencia de 4.24 °C.
- Finalmente, para el año 2022 el valor más alto promedio de temperatura máxima es 16.19 para el mes de abril, el más bajo fue en enero con 11.64 °C con una diferencia de 4.55 °C. Mientras el valor más alto de temperatura mínima es de 15.92 °C y el menor con 11.41 °C para el mes de enero con una variedad de 4.51 °C.

Por cuestiones de tiempo y recursos el registro de los datos en campo se tomó en los meses de mayo y junio de 2022 en un lapso de tiempo de 20 días. Cada dos días se midió la temperatura y humedad de cada transecto del parque; la primera medición fue el 24 de mayo y la última el 11 de junio.

De acuerdo a las metodologías revisadas y los datos meteorológicos históricos de la estación 15367 los datos de temperatura y humedad fueron tomados por lo menos tres veces al día en los horarios de 9:00 a 10:30 hrs, 14:00 a 15:30 hrs y de 18:00 a 17:30 hrs con una duración de 3 minutos de lectura por punto. El tiempo promedio de la toma de datos fue de hora y media ya que se contaba con 2 termómetros y una persona adicional para que los datos se tomarán casi al mismo tiempo en cada transecto.

Diseño de transectos: Metodología “Isla de calor en la ciudad de Puebla”

Para el diseño de la metodología de transectos se tomó como referencia la tesis Lemus, 2016 “Isla de calor en la ciudad de Puebla”. Lemus justifica que utilizó este método porque:

Las ventajas de hacer mediciones de isla de calor con el método de transectos, es que se pueden obtener datos de varios puntos de la ciudad aleatoriamente y en el momento que se requiera, además de que el instrumento empleado es fácil de utilizar y transportar, otra ventaja es que nos muestra los cambios de temperatura a escala regional y podemos inferir qué es lo que causa el incremento o disminución de la temperatura visualizando los elementos que están presentes en los puntos de medición (p.95).

Lemus hizo una investigación de gabinete con imágenes satelitales para identificar las rutas más viables (avenidas y calles) en tiempo y flujo de circulación constante y con ello diseñó cuatro transectos, dos transectos horizontales que cruzan de oeste a este y dos transectos verticales que

cruzan de norte a sur, después realizó una práctica exploratoria para verificar que estos transectos cumplieran sus criterios.

Los transectos que diseñó Lemus miden de 10 a 14 kilómetros de distancia y de acuerdo a esta distancia selecciono los puntos de medición de temperatura. Cada punto se sitúa a cada 2 kilómetros y se recorren de 35 a 40 minutos. Al ser distancias largas Lemus opto que los datos se recopilaran con dos automóviles y dos GPS.

Diseño de transectos para estimación de temperatura y humedad del Parque Urawa

Para diseñar los transectos se utilizaron imágenes satelitales y trabajo de observación exploratoria para identificar las áreas con mayor cobertura vegetal, escasa cobertura o nula. El primer transecto en su mayoría cuenta con cubierta vegetal denso, el segundo con cubierta vegetal nulo (accesos con piso de cemento) y el tercero con cubierta vegetal escaso (poca presencia de árboles y con suelo cubierto por pasto y con infraestructura presente). Los criterios para el diseño de los transectos fueron que cubrieran gran parte de la extensión del parque para obtener los datos de temperatura de toda el área de estudio y que el tiempo estimado fuera relativamente el mismo en los tres transectos.

Sé hicieron dos pruebas piloto para verificar que los transectos cumplieran los criterios de extensión del área de estudio y la duración del tiempo en la toma de datos, estos fueron modificados ya que en las imágenes de satélite no muestran las infraestructuras recientes y durante las pruebas estas evitaban el paso para la toma de los datos.

Cada transecto tiene 8 puntos de medición (24 puntos en total) aplicando la medición del paso considerando que 1 paso es aproximadamente 1 metro; se hizo el ejercicio en las pruebas piloto

para practicar y medir las distancias entre cada paso. Se dieron 20 pasos por punto, es decir, fueron 20 metros de distancia entre cada uno.

En cada punto se media la temperatura y humedad por tres minutos, el tiempo estimado para la toma de temperaturas fue de hora y media por los tres transectos.

Los recursos y herramientas que se consideraron para el levantamiento se muestran en la Tabla 11:

Tabla 11. Recursos y herramientas

Recurso/ herramienta	Cantidad
Personas	2
Higrómetros	2
GPS	1
Formatos	+10

El dispositivo que se utilizó para recopilar los datos de temperatura y humedad fue el clock/humidity HTC-1, este aparato se puede configurar para fijar la hora en ambos formatos (12h/ 24h), fecha y alarma, cambiar la unidad de temperatura de °F a °C e indica la temperatura y humedad actual del sitio, conforme se avanza nos da los datos actuales, es importante considerar que se deben encender los aparatos 30 minutos antes para que se adapten a la temperatura actual y la lectura de todos sea igual al momento de iniciar con la recolección de datos.

En el trabajo de campo, como se mencionó anteriormente, el tiempo de espera entre cada punto fue de tres minutos, esto para dejar que el higrómetro actualizará la temperatura y humedad actual como se muestra en la Figura 7; se observa la diferencia de temperatura y humedad que hay entre cada dispositivo. Aunque se consideraron 3 dispositivos para la estimación de temperaturas solo

se tomaron en cuenta los datos de dos higrómetros ya que el tercer dispositivo nos daba resultados disparados.

Los dispositivos se ponían de manera horizontal y se mantenían estables para que los datos fueran lo más exactos posibles. Una desventaja de estos higrómetros era que al tener contacto directo con el sol sobre todo en el transecto 2, la pantalla tendía a ponerse de color negro y había que esperar a que regresará a la normalidad para registrar el dato.

Figura 9. Higrómetro para la estimación de temperaturas



CAPÍTULO 3. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados y la discusión de los mismos. En primera instancia, se exponen los datos obtenidos del inventario de arbolado urbano, detallando las especies arbóreas presentes y su distribución dentro del área de estudio. La unidad de análisis de este proyecto es el Parque Urawa, lo que permitió centrar la investigación en una zona específica y representativa. Posteriormente, se presentan los resultados relacionados con las funciones ambientales, con especial énfasis en la captura de carbono, y finalmente se discuten las estimaciones de temperatura y humedad para el parque durante los meses de mayo y junio de 2022.

Resultados del Inventario de Arbolado Urbano

Los resultados del inventario de arbolado urbano en el Parque Urawa, muestran que el total de individuos censados fue de 1459 y se identificaron 27 especies entre arbóreas, arbustos y frutales. De estos 1287 de los individuos se encuentran en condición de salud “vivo” y 172 de los individuos se encuentran en condición de estado de salud “muerto” y 88 de ellos no fue posible identificar la especie arbórea por la ausencia de hojas, tallos o que se encontraban secos. En la Tabla 12 se muestra el número de árboles de acuerdo a su especie arbórea.

Tabla 12. Identificación de especies del inventario de Arbolado Urbano del Parque Urawa

No	Especie	Nombre Común	Tipo de especie	Número de individuos
1	<i>Acacia melanoxylon</i>	Acacia negra	Árbol	110
2	<i>Acer Negundo</i>	Acer negundo	Árbol	11
3	<i>Arecaceae</i>	Palmera	Árbol	23
4	<i>Callistemon citrinus</i>	Árbol del cepillo	Arbusto	2
5	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Pino australiano	Árbol	7
6	<i>Cupressus lusitanica</i>	Ciprés	Árbol	126
7	<i>Eriobotrya japonica</i>	Níspero del Japón	Árbol	4
8	<i>Erythrina variegata</i>	Colorín amarillo	Árbol	26
9	<i>Eucalyptus gunnii</i>	Eucalipto sidra	Árbol	6

10	<i>Fraxinus uhdei</i>	Fresno silvestre mexicano	Árbol	192
11	<i>Grevillea robusta</i>	Pino de oro	Árbol	38
12	<i>Juniperus virginiana</i>	Cedro rojo	Árbol	186
13	<i>Ligustrum japonicum</i>	Aligustre del japon	Árbol/ Arbusto	405
14	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidámbar	Árbol	94
15	<i>Morus rubra</i>	Mora roja	Árbol frutal	1
16	<i>Olea europaea</i>	Olivo	Árbol frutal/ Arbusto	9
17	<i>Persea americana</i>	Aguacate	Árbol frutal	2
18	<i>Pinus patula</i>	Pino ocote	Árbol	5
19	<i>Pinus resinosa</i>	Pino rojo americano	Árbol	4
20	<i>Populus alba</i>	Álamo blanco	Árbol	10
21	<i>Prunus persica</i>	Durazno	Árbol frutal/ Arbusto	1
22	<i>Prunus serotina</i>	Cerezo negro	Árbol frutal	5
23	<i>Salix alba</i>	Sauce blanco	Árbol	72
24	<i>Tamarix chinensis</i>	Tamarindo rosa	Árbol/ Arbusto	7
25	<i>Taxodium mucronatum</i>	Ahuehete	Árbol	1
26	<i>Yucca gloriosa</i>	Yuca	Árbol/ Arbusto	16
27	<i>Zelkova serrata</i>	Zelkova del japon	Árbol	6
28	SD	SD	N/A	88

Nota: Elaboración propia a través del Inventario de Arbolado Urbano del “Parque Urawa”, (2022).

Los resultados muestran un total de 18 especies arbóreas, destacando la diversidad vegetal que enriquece este espacio verde. Además, se registraron 5 tipos distintos de árboles frutales: *Morus rubra* (mora roja), *Olea europaea* (olivo), *Persea americana* (aguacate), *Prunus persica* (durazno) y el *Prunus serotina* (cerezo negro) de los cuales 2 también son considerados arbustos: *Olea europaea* (olivo) y el *Prunus persica* (durazno) según Rojas y Martínez, 2015. Asimismo, y entre las cuales se identificaron 4 variedades de arbustos: *Callistemon citrinus* (árbol del cepillo), *Ligustrum japonicum* (aligustre del japon), *Tamarix chinensis* (tamarindo rosa) y la *Yucca gloriosa* (yuca) que adornan los senderos y áreas de descanso del parque.

El diseño de estilo japonés del Parque Urawa implica la selección de especies arbóreas que se ajusten al criterio estético de la naturaleza japonesa. Márquez (2021) señala que el “Parque Urawa

fue construido como símbolo de hermanamiento entre la capital del Estado de México y la Prefectura de Saitama”. En este contexto, las especies identificadas en el inventario no son tan comunes debido a la preferencia por árboles y arbustos específicos que encajen con el diseño paisajístico japonés. Por lo tanto, la selección de especies se ajusta por el convenio entre el Estado de México y Japón. La presencia de este diseño en el parque refleja la dedicación a crear un entorno que evoca la belleza natural y la tranquilidad asociada con los jardines japoneses tradicionales.

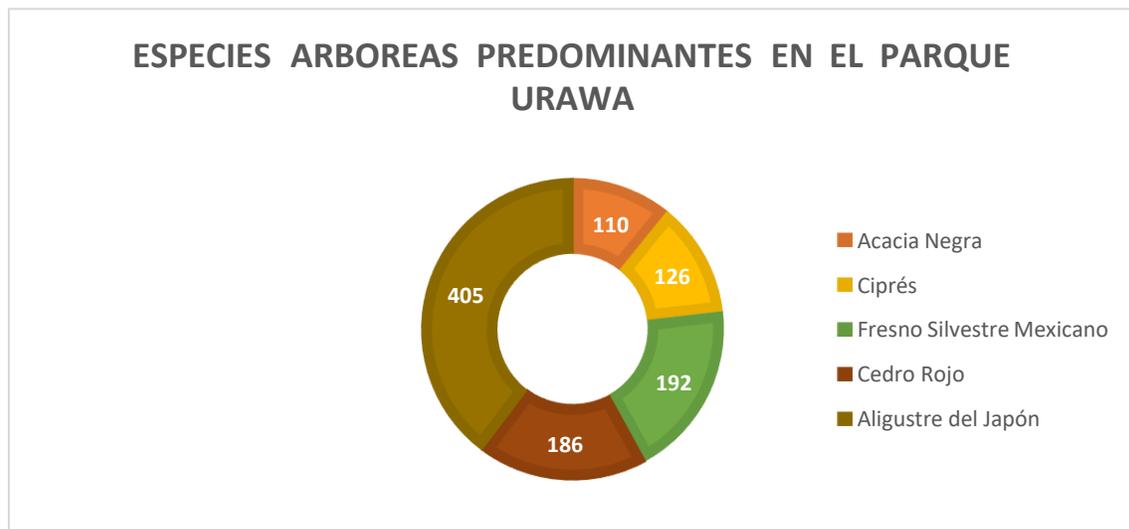
Tomás (2023) explica que las especies más comunes en un jardín japonés son:

Los árboles, arbustos y flores más comunes en un jardín japonés son el pino japonés, bambú, cerezo, arce, sauce, ginkgo, ciprés, cedro japonés y musgo. También hay otro tipo de flores estacionales como lirios, azaleas, hortensias o glicinas.

Los árboles y las flores se agrupan teniendo en cuenta cuándo florecen, para crear maravillosos tapices de colores. Todo esto se calcula y planifica cuidadosamente para mostrar la naturaleza en todo su esplendor y haciendo parecer que todo es natural.

El análisis de la Figura 11, revela que las especies predominantes en el Parque Urawa presentan una marcada concentración de individuos. La especie más abundante es el **Ligustrum japonicum** (aligustre del japon) con un total de 405 individuos, seguido por el *Fraxinus uhdei* (fresno silvestre mexicano) con 192 individuos. Otras especies relevantes son *el Juniperus virginiana* (cedro rojo) con 186 individuos, el *Cupressus lusitanica* (ciprés) con 126 individuos y la *Acacia melanoxylon* (acacia negra) con 110 individuos. Estas especies dominan significativamente el arbolado del parque, contribuyendo a su estructura ecológica y a las funciones ambientales que desempeña en la zona.

Figura 11. Especies arbóreas predominantes en el Parque Urawa



Nota: Elaboración propia a través del Inventario de Arbolado Urbano del Parque Urawa, (2022).

Como se observa en la Figura 9, el *Ligustrum japonicum* (aligustre del japon) emerge como la especie predominante en el Parque Urawa con 405 individuos registrados, esto como resultado de una selección específica basada en el diseño de estilo japonés. Además, la abundante presencia del *Ligustrum japonicum* (aligustre del japon) en el parque sirve como un marcador distintivo del diseño paisajístico. Molina Holgado, Berrocal y Olmo (2005) caracteriza el *Ligustrum japonicum* (aligustre del japon) y demás especies como:

Ligustrum japonicum (aligustre del japon): es una especie nativa de China y Corea; es un arbusto alto o arbolillo de hasta 4 metros de altura, de hojas perennes, ovaladas, de hasta 10 cm y resistente a heladas. Es un elemento de interés como árboles viarios entre calles estrechas y medianas, también adecuados para patios poco soleados (p. 169).

Juniperus virginiana (cedro rojo): es un árbol bajo o un arbusto que puede ser bajo o alto con hojas persistentes, aciculares las jóvenes y escumiformes las adultas. Su origen es de América del Norte y su ambiente preferente son terrizas, taludes, setos y jardineras (p. 233).

Cupressus lusitanica (ciprés): Ha sido cultivada en toda la región del Mediterráneo desde tiempo antiguos, aunque es difícil determinar con certeza cuál es su área de origen. Es un árbol de crecimiento rápido (20/ 30 cm por año) de estrecha copa y porte piramidal, alcanzando tallas superiores a 30 metros. Sus hojas son persistentes, escuamiformes, de color verde oscuro ovado- triangulares. Los cipreses son especies de interés para su utilización en las márgenes de paseos, especialmente si estos se encuentran situados en el interior de espacios ajardinados (p. 153).

La revista *Naturalis Ecuador* caracteriza las siguientes especies arbóreas como:

Fraxinus uhdei (fresno silvestre mexicano): Especie nativa de México y Guatemala. Es un árbol de hasta 35 metros de altura, copa irregular, hojas opuestas, flores unisexuales en panículas grandes de 13 a 20 cm de largo. Esta especie es usada como árbol de sombra en calles, parques y patios.

Acacia melanoxylon (acacia negra):_ Es una especie nativa del este de Australia. Perennifolio de 8 a 15 (hasta 45) metros de alto, copa densa, con raíces fuertes superficiales. Su uso como árbol de la calle se ésta eliminando gradualmente en algunos lugares debido al daño que a menudo causa en las aceras y las tuberías subterráneas. Ha sido considerada una especie invasora por su maleza nociva.

Las especies con menor presencia en el Parque Urawa incluyen: ***Morus rubra*** (mora roja), ***Prunus persica*** (durazno) y el ***Taxodium mucronatum*** (ahuehuate) con un individuo cada una; ***Persea americana*** (aguacate) y ***Callistemon citrinus*** (árbol del cepillo), con 2 individuos por especie y ***Eriobotrya japonica*** (níspero del japon) y el ***Pinus resinosa*** (pino rojo americano) con cuatro

individuos cada una. Dado el tamaño relativamente pequeño de estas especies, en su mayoría frutales, se presume que fueron introducidas al parque en reforestaciones recientes.

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres, la especie arbórea *Acer negundo* (arce negundo) considerada endémica tiene la categoría “En peligro de extinción”, durante el censo fueron identificados 11 individuos de esta especie todos con una condición de salud “Vivo”. La NOM-059-SEMARNAT-2010 define “En peligro de extinción” como:

Aquellas cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el Territorio Nacional han disminuido drásticamente poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros (p. 5).

Se puede observar que de acuerdo a las especies arbóreas, frutales y arbustivas registradas en el inventario y con los datos de Tomás (2023), las especies como el cerezo, el arce, el sauce, el ciprés y el cedro son especies arbóreas que van estar presentes en los parques con diseño japonés independientemente de los individuos identificados. Esta diversidad de especies en un parque urbano es fundamental para promover la estabilidad y la salud del ecosistema, así como para proporcionar una experiencia para los visitantes. La presencia de esta amplia variedad de especies no solo aumenta la biodiversidad, sino que también contribuye a mejorar los servicios ambientales y crear un entorno estéticamente atractivo para los visitantes.

Sin embargo, una desventaja de esta diversidad es el desafío de mantener un equilibrio adecuado entre las especies y lo que conlleva su interacción. La competencia por recursos como la luz solar, el agua y los nutrientes puede llevar a que las especies predominantes acaben con las especies que

no lo son o tengan más ventajas por su tamaño, lo que puede resultar en la pérdida de biodiversidad a largo plazo. Por lo tanto, es importante realizar una gestión de especies para fomentar y cuidar la diversidad de especies dentro del parque especialmente aquellas endémicas en peligro de extinción.

Como se mencionó en la metodología se le asignó una clave a cada especie para identificarla en los filtros de la base de datos, en los sistemas de información geográfica y para calcular sus funciones ambientales y a los individuos que no se les identificó con una especie arbórea se les asignó la clave “15” ya que por sus malas condiciones que se encontraban (tronco seco y sin hojas) no fueron considerados para los cálculos de las funciones ambientales (captura de carbono y regulación de temperaturas).

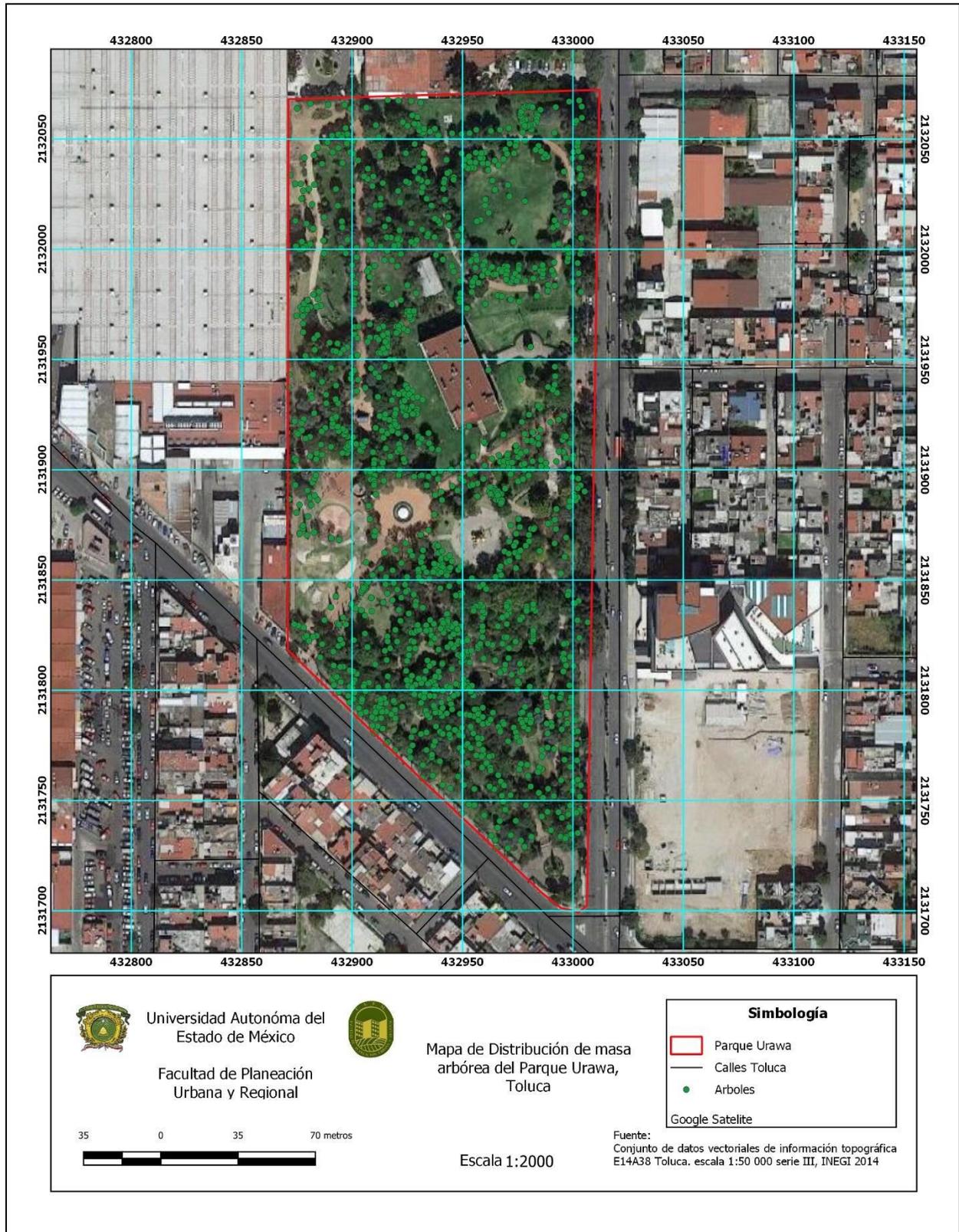
Distribución de la Cobertura Vegetal en el Parque Urawa

Los individuos arbóreos ubicados en el Parque Urawa, mapeados a través de Sistemas de Información Geográfica, se muestran en la Figura 12, donde se representa la distribución del arbolado según el geoposicionamiento de los árboles medidos.

Es importante destacar que, aunque se prioriza la función ambiental del parque, ciertas áreas, especialmente las cubiertas por pastos, no son reforestadas con más árboles debido a su función recreativa. Estas zonas proporcionan espacios abiertos para actividades sociales y deportivas, esenciales en un parque urbano que no solo debe enfocarse en sus beneficios ambientales, sino también ofrecer servicios que satisfagan las necesidades recreativas y de esparcimiento de la sociedad.

El equilibrio entre los objetivos ambientales y las funciones sociales es fundamental para preservar la multifuncionalidad del parque.

Figura 12. Distribución de la Cobertura Vegetal en el Parque Urawa



Densidad arbórea en el Parque Urawa

La densidad en un parque nos ayuda a comprender la distribución y la abundancia de la vegetación para este proyecto la densidad se calculó dividiendo el número total de árboles en el parque por el área total del mismo en hectáreas.

✚ Densidad de árboles: $1454/4.4$

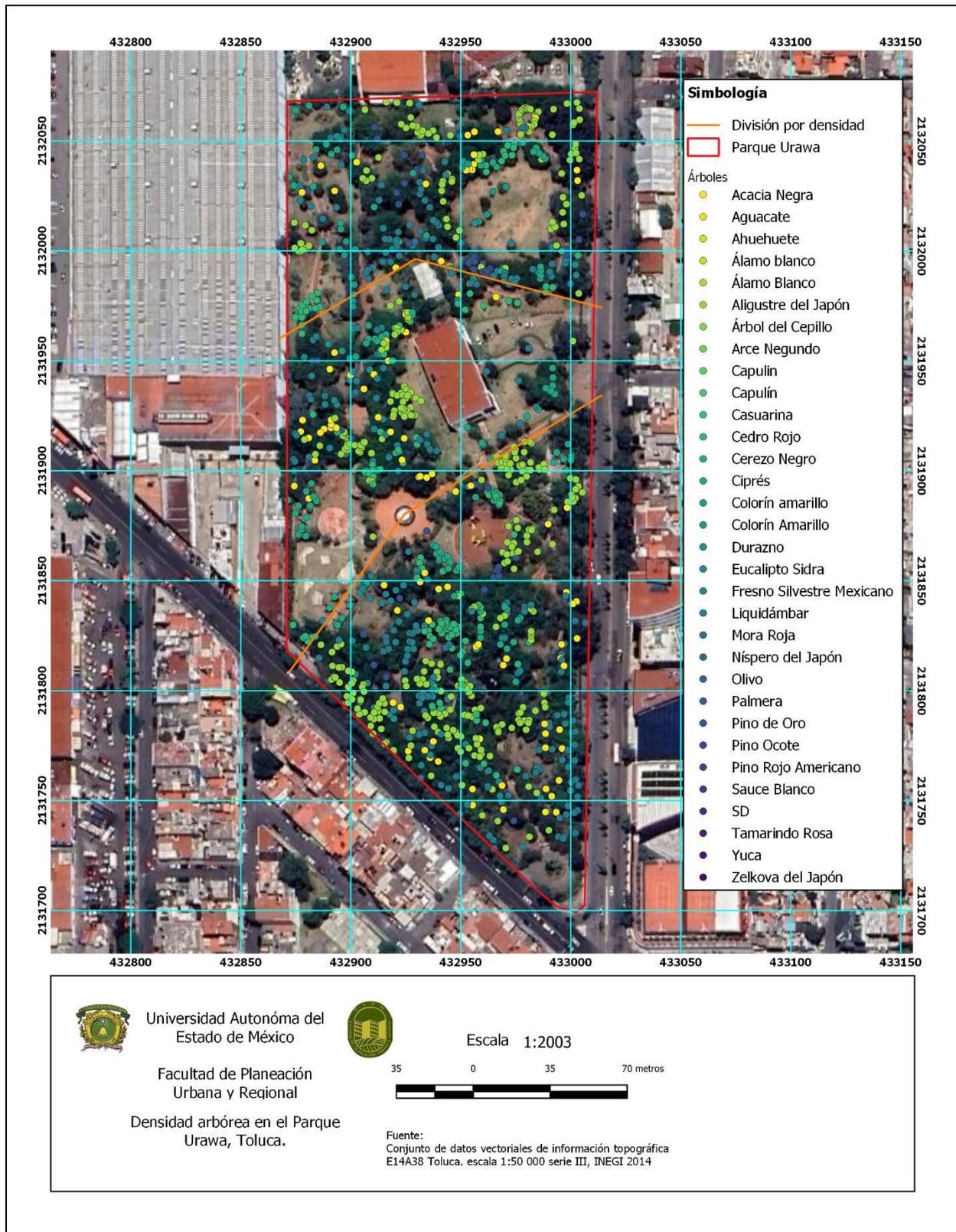
✚ Densidad de árboles: 330.45 árboles por hectárea

Por lo tanto, la densidad de árboles por hectárea en el Parque Urawa es aproximadamente de **330.45** árboles por hectárea. Nos permite evaluar la densidad arbórea y comprender mejor la estructura del paisaje verde. Aunque ocupa una superficie de 4.4 hectáreas exhibe una concentración arbórea significativa y a comparación con el Área Natural Protegida El Calvario, que alberga más árboles por hectárea (**360.45**) por su extensión territorial más amplia (7.97 ha) y contar con un decreto municipal refleja una planeación diferente en la gestión del espacio verde entre ambos parques.

en comparación con el parque El Calvario de 7.97 hectáreas (Cruz, 2019),

El parque ha sido subdividido en tres áreas distintas como se muestra en la Figura 13, cada una con características y distribuciones arbóreas particulares. El área 1 se distingue por su amplitud y la disposición espaciada por los árboles; la vegetación se distribuye de manera más dispersa, lo que permite una mayor permeabilidad visual y un ambiente más luminoso. A pesar que el área es amplia y a simple vista se ve que carece de árboles, cuenta con 17 tipos de especies, sin embargo, a comparación de las otras secciones las especies están en menor cantidad.

Figura 13. Densidad arbórea en el Parque Urawa



El área 2 se reserva principalmente para la infraestructura de servicios y actividades recreativas, lo que resulta en una menor cantidad de árboles en comparación con las otras secciones. Aquí, los árboles están más dispersos y se concentran principalmente en los bordes del área, mientras que el centro se dedica a instalaciones como senderos, áreas de juegos o zonas de descanso. Aunque la presencia arbórea es más limitada en esta zona, cuenta con 18 especies, arbóreas, frutales y arbustivas.

Finalmente, el área 3 presenta una diversidad arbórea más abundante y una disposición más densa de árboles. Esta sección del parque alberga 17 especies arbóreas, frutales y arbustos en mayor cantidad que las otras secciones, creando un entorno más frondoso y sombreado, siendo refugio para la vida silvestre. En esta área se encuentra el jardín japonés, así como una placa conmemorativa.

En esta área, la alta densidad de la cobertura vegetal hace que sea difícil para algunos árboles captar suficiente luz solar, lo que puede afectar su crecimiento y salud. A pesar de esto, el área sigue siendo un refugio importante para el desarrollo de la biodiversidad.

Se ha observado cómo la planificación y la gestión del espacio verde en el Parque Urawa pueden influir en la distribución, densidad y la diversidad arbórea, así como la experiencia general de los visitantes. Desde áreas amplias y despejadas hasta zonas frondosas y densamente arboladas, cada sección del parque ofrece su propio ambiente y características únicas. Es importante comprender la necesidad de que los parques cuenten con un inventario de arbolado urbano para tener una mejor gestión y promover la biodiversidad y la calidad del espacio verde urbano.

Resultados de la estimación de Captura de Carbono del Parque Urawa

Se realizó un estudio de estimación de captura de carbono que involucró a 27 especies arbóreas, frutales y arbustivas, pero solo se consideraron 14 especies en el cálculo debido a que no se encontraron las fórmulas alométricas adecuadas para las restantes (ver capítulo III). Las fórmulas alométricas que se consideraron son específicas para cada especie tomando como base el cálculo de la biomasa de cada una.

La Tabla 13 presenta los resultados de la estimación de carbono realizada en el Parque Urawa. Este análisis se basa en mediciones detalladas de biomasa y datos específicos de 14 especies arbóreas, frutales y arbustivas dentro del parque. Los valores presentados en la tabla representan la cantidad estimada de carbono almacenado en la biomasa de cada especie, expresada en toneladas por especie.

Tabla 13. Estimación de Captura de Carbono en el Parque Urawa

Especie	Nombre	Biomasa (Toneladas)	Carbono (Toneladas)
<i>Acacia melanoxylon</i>	Acacia negra	0.33	0.16
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Pino australiano	1.45	0.73
<i>Cupressus lusitanica</i>	Ciprés	0.92	0.45
<i>Erythrina variegata</i>	Colorín amarillo	0.068	0.03
<i>Eucalyptus gunnii</i>	Eucalipto sidra	28.00	14.00
<i>Fraxinus uhdei</i>	Fresno silvestre mexicano	81.09	31.11
<i>Grevillea robusta</i>	Pino de oro	0.12	0.06
<i>Juniperus virginiana</i>	Cedro rojo	0.53	0.26
<i>Ligustrum japonicum</i>	Aligustre del Japón	53.51	25.15
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidámbar	0.71	0.35
<i>Pinus patula</i>	Pino ocote	0.01	0.007

<i>Pinus resinosa</i>	Pino rojo americano	0.01	0.006
<i>Prunus persica</i>	Durazno	0.002	0.001
<i>Prunus serotina</i>	Cerezo negro	0.01	0.007
ALMACÉN TOTAL DE BIOMASA Y CARBONO		166.80	72.35

Nota: Elaboración propia a través del Inventario de Arbolado Urbano del Parque Urawa (2022).

Los resultados se representan en la Figura 14 donde se observan las especies que sobresalen por su notable capacidad para almacenar carbono y contribuir significativamente a la mitigación del cambio climático, entre estas, destacan el *Fraxinus uhdei* (fresno silvestre mexicano), registrando una estimación de 31.11 toneladas de carbono almacenadas por hectárea, el *Ligustrum japonicum* (aligustre del japon) cuenta con una estimación de 25.15 toneladas por hectárea y por último, el *Eucalyptus gunnii* (eucalipto sidra) con una estimación de 14.00 toneladas por hectárea.

El *Fraxinus uhdei* (fresno silvestre mexicano) que comúnmente es utilizado para reforestaciones en parques urbanos, Alanís, Mora, Jimenez y Cuéllar (2023) dicen que hay que considerar lo siguiente para futuras reforestaciones con esta especie:

La tendencia a futuro en la reforestación de las áreas verdes urbanas es mantener el uso de los taxa nativos. Es fundamental considerar que no todas las especies arbóreas nativas se adaptan fácilmente a su cultivo en parques públicos. Ese es el caso de aquellas que de manera natural se desarrollan en ambientes riparios o acuáticos, como sucede con algunos taxones como fresnos *Fraxinus uhdei*. Por lo tanto, se recomienda que estos se planten a orillas de lagos artificiales o donde exista una fuente constante de humedad (p. 14-15).

Por otro lado, en su investigación Gallegos (2013) encontró una desventaja sobre plantar **Fraxinus uhdei** (fresno silvestre mexicano) en parque urbanos, explica que:

El fresno es uno de los géneros más afectados por el ozono, sobre todo en la Ciudad de México. Los efectos evidentes del ozono sobre las hojas suelen ser: punteado negro sobre la superficie foliar, colapso necrótico del tejido de la superficie foliar, pigmentación rojiza, ya que este contaminante es capaz de reducir el contenido de pigmentos en la hoja y la capacidad fotosintética (p.24-25).

A pesar de lo anterior, PROBOSQUE menciona que es una especie apta para plantar en parques urbanos. Esta recomendación es por sus múltiples beneficios como su capacidad de captura de carbono. Además de ser una especie nativa que contribuye a la biodiversidad local.

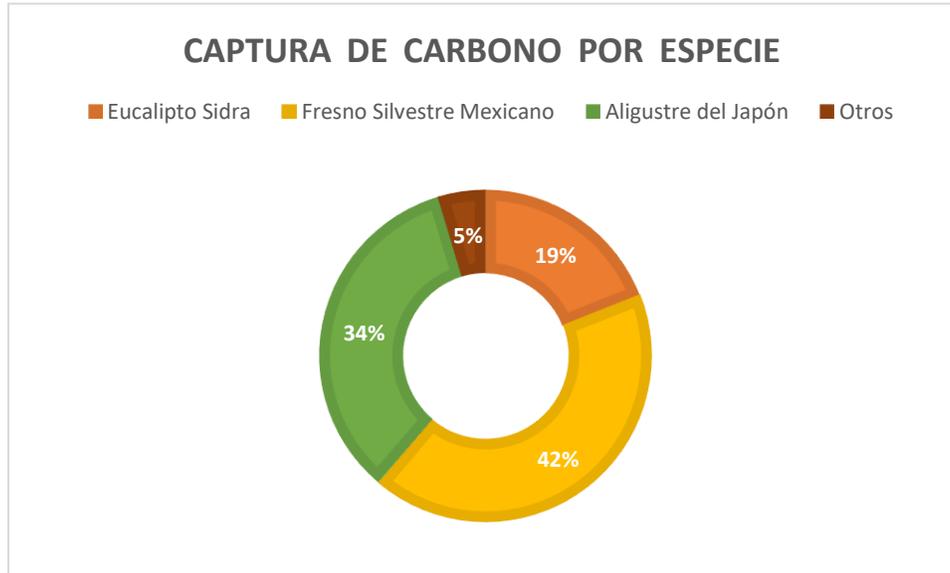
El *Ligustrum japonicum* (aligustre del japon), a pesar de ser una especie única y valorada para el diseño de parques japoneses, no es recomendado por PROBOSQUE para reforestación en parques urbanos debido a su baja prevalencia. Sin embargo, la investigación demostró que esta especie tiene una buena capacidad de captura de carbono.

La *Acacia melanoxylon* (acacia negra) presenta una mayor cantidad de individuos (110) en comparación con los 6 individuos del *Eucalyptus gunnii* (eucalipto sidra), los datos muestran que este último almacena más carbono. Esta diferencia se debe a que los individuos del *Eucalyptus gunnii* (eucalipto sidra) poseen mayor circunferencia y altura, lo que contribuye a una mayor capacidad de almacenamiento de carbono por su calidad y tamaño en comparación con la *Acacia melanoxylon* (acacia negra).

A pesar de que el *Eucalyptus gunnii* (eucalipto sidra), capturó más carbono que la *Acacia melanoxylon* (acacia negra), PROBOSQUE no recomienda esta especie para reforestar en los parques urbanos (Ver Capítulo I). “Las especies exóticas como *Cupressus* y *Eucalyptus* además

de los *Ficus* son especies no recomendadas para el uso en parques urbanos por los daños que ocasionan a la infraestructura, además de no favorecer la fauna local” (Barboza, 2016, p. 40).

Figura 14. Especies con mayor captura de carbono en el Parque Urawa



Nota: Elaboración propia a través del Inventario de Arbolado Urbano del Parque Urawa (2022).

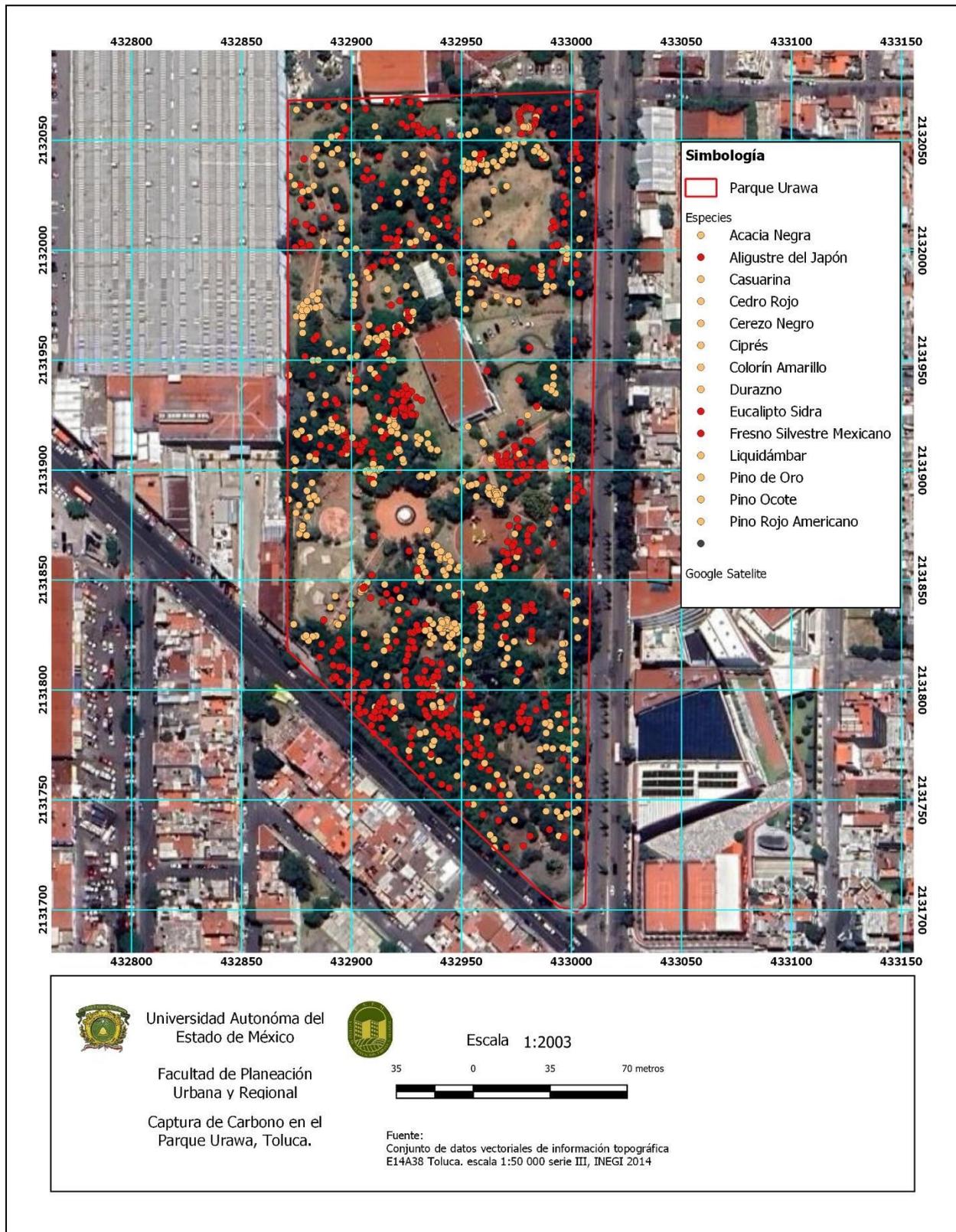
En el inventario resaltan 88 individuos muertos dentro del Parque Urawa. En primer lugar, estos árboles pueden convertirse en un riesgo potencial, ya que son más propensos a caer y causar daños a las personas o a las infraestructuras. Estos árboles muertos no tienen la capacidad para absorber dióxido de carbono lo que significa que están ocupando espacio y recursos que podrían ser utilizados por árboles vivos que sí contribuyan a la captura de carbono. La eliminación de los árboles muertos puede mejorar la estética y salud general del parque, promoviendo un ambiente más seguro y atractivo para los visitantes, por lo tanto, es importante el retiro de los árboles muertos y la replantación con especies adecuadas, asegurando así la continuidad de los beneficios ambientales.

En la Figura 15, se visualiza la distribución espacial de la captura de carbono dentro del Parque Urawa, centrándose en las 14 especies evaluadas. Esta representación cartográfica nos permite identificar áreas específicas donde se concentra la mayor cantidad de carbono almacenado.

En el mapa se distingue dos colores (rojo y crema) donde el rojo corresponde a las especies que cuentan con mayor capacidad para capturar carbono siendo el *Ligustrum japonicum* (aligustre del japon), *Eucalyptus gunnii* (eucalipto sidra) y el **Fraxinus uhdei** (fresno silvestre mexicano), la intensidad del color indica la cantidad relativa de carbono almacenado; se identifica que en todo el parque se almacena carbono considerablemente, pero en el área 3 donde hay mayor densidad y diversidad arbórea es donde hay mayor captura de carbono. Las otras 11 especies que están en color crema representan una menor capacidad para capturar carbono.

La falta de fórmulas alométricas para las demás especies puede limitar la precisión de las estimaciones de captura de carbono para el Parque Urawa, resaltando la importancia de continuar investigando y recopilando datos para mejorar los métodos de estimación en áreas con una diversidad arbórea considerable.

Figura 15. Captura de Carbono en el Parque Urawa



La estimación de captura de carbono nos sirve para la planificación de gestión de recursos en el Parque Urawa, al proporcionar información detallada sobre la distribución espacial de la captura de carbono y destacar las áreas prioritarias para la conservación y el manejo arbóreo urbano.

Este estudio resalta la importancia de promover una mayor diversidad de especies adecuadas para incrementar la capacidad de captura de carbono. Además, la diversidad de especies mejora la estabilidad del ecosistema, ya que la presencia de múltiples especies reduce el riesgo de que una enfermedad o plaga específica afecte a toda la población arbórea.

Resultados de la estimación de temperatura y humedad del Parque Urawa

Como se ha mencionado, los tres transectos del Parque Urawa tienen características distintivas entre sí, lo que influyó en los resultados de la estimación de temperatura y humedad de cada uno.

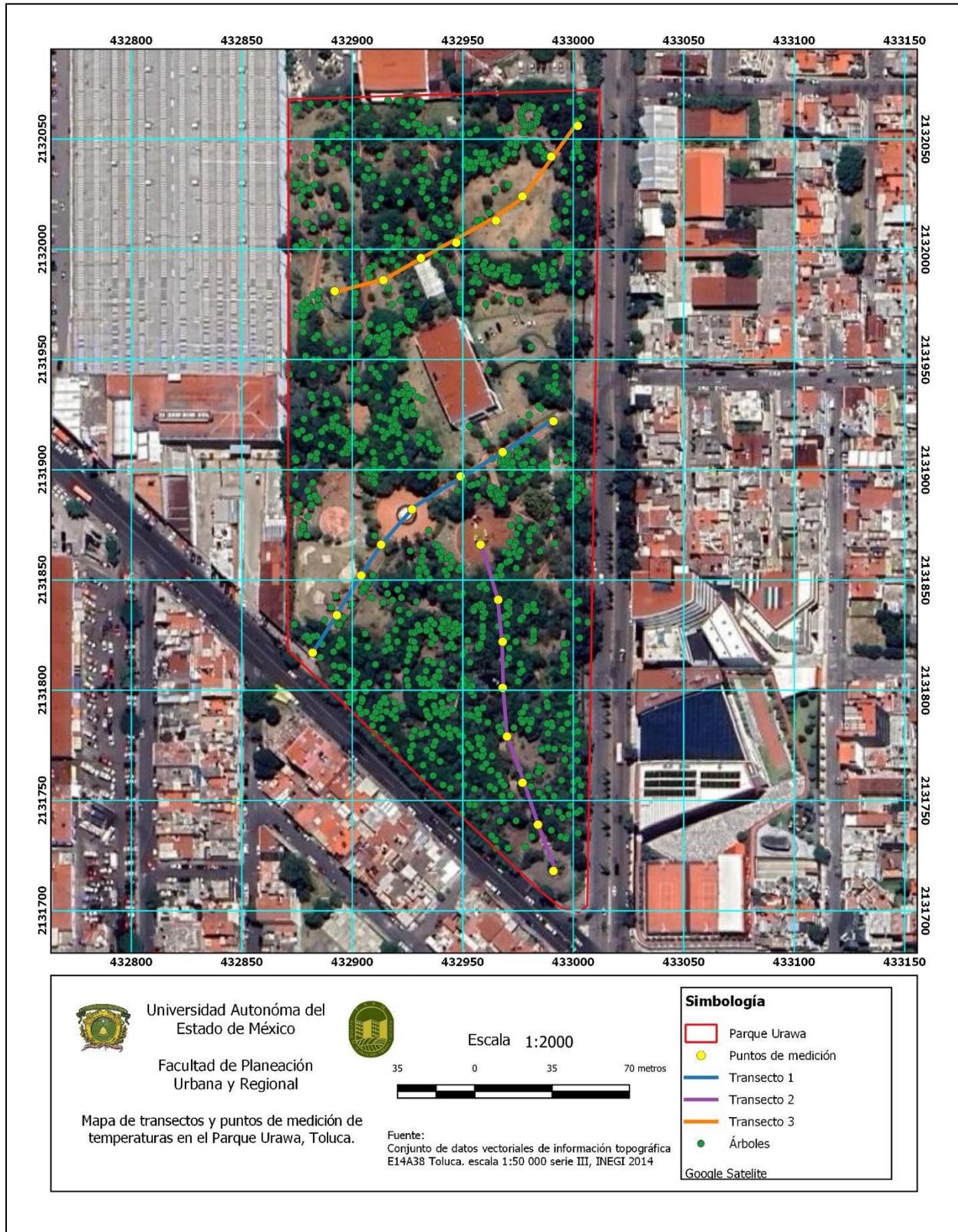
El primer transecto comienza desde la entrada principal del Parque Urawa (entre 5 de mayo y Urawa) y atraviesa el jardín japonés llegando y teniendo su último punto de medición en el área de juegos infantiles, este transecto se distingue por su abundancia de especies arbóreas. Esta densa vegetación proporciona sombra y refugio para diversas especies; así mismo, según los resultados no mostró temperaturas elevadas en comparación con los otros dos transectos, se puede atribuir principalmente a la presencia de una abundante cobertura vegetal, la cual proporciona sombra y ayuda a mitigar el efecto de calor.

El segundo transecto comienza en la entrada que está sobre la calle 5 de mayo y atraviesa la fuente principal llegando hasta la entrada ubicada en Urawa. En contraste con el primer transecto, las mediciones de temperatura en el segundo transecto mostraron valores más elevados. La falta de una cobertura arbórea significativa en este transecto, combinada con la presencia de suelos de concreto, contribuyó a un aumento en las temperaturas registradas. La ausencia de vegetación

arbórea también tuvo un impacto en la humedad ambiental, que se vio reducida en comparación con el primer transecto.

El transecto tres empieza en el límite del parque ubicado en Urawa pasando sobre la biblioteca y finaliza antes de tocar pared como se muestra en la Figura 16. A pesar de contar con una buena presencia de cobertura vegetal, mostró resultados en temperatura y humedad similares al segundo transecto debido a la presencia significativa de infraestructura de servicios. La combinación de áreas urbanizadas y la infraestructura asociada con la provisión de servicios dentro del parque contribuyó al aumento de las temperaturas registradas y a la disminución de la humedad en esta área.

Figura 16. Transectos y puntos de medición en el Parque Urawa



A continuación, se muestra en la Tabla 14 los resultados sobre la estimación promedio de temperaturas en los tres transectos diseñados para el Parque Urawa con el objetivo de analizar cómo la densidad arbórea influye en la regulación térmica del parque. Los datos recopilados ofrecen una visión detallada de cómo la vegetación presente en los transectos del Parque Urawa afecta las variaciones de temperatura a lo largo del día.

Se reitera que las estimaciones fueron hechas en tres ocasiones durante el día. Cada celda de la tabla contiene la temperatura promedio de cada punto y por horarios específicos en cada uno de los transectos del parque. Estas estimaciones proporcionan una estimación aproximada de las condiciones térmicas en cada área del parque.

Tabla 14. Estimación promedio de temperaturas y humedad en el Parque Urawa

TRANSECTO 1						
Punto	9:00 a 10:30 hrs		14:00 a 15:30		18:00 a 19:30	
	T. Prom.	Humedad	T. Prom.	Humedad	T. Prom.	Humedad
1	18.2°C	49%	26.3°C	29%	23.0°C	38%
2	17.8°C	50%	26.4°C	27%	22.8°C	37%
3	18.0°C	49%	26.6°C	28%	22.8°C	36%
4	17.5°C	49%	26.6°C	28%	22.9°C	37%
5	17.6°C	50%	27.4°C	27%	22.9°C	36%
6	17.5°C	49%	28.2°C	26%	23.0°C	37%
7	17.4°C	50%	28.0°C	26%	23.0°C	37%
8	18.0°C	49%	29.2°C	26%	23.1°C	37%

TRANSECTO 2						
Punto	9:00 a 10:30 hrs		14:00 a 15:30		18:00 a 19:30	
	T. Prom.	Humedad	T. Prom.	Humedad	T. Prom.	Humedad
1	17.5°C	48%	28.9°C	26%	23.1°C	36%
2	17.6°C	49%	29.6°C	26%	23.9°C	36%
3	17.7°C	49%	30.0°C	25%	22.9°C	36%

4	18.9°C	47%	31.0°C	25%	22.8°C	36%
5	19.2°C	45%	31.2°C	25%	22.6°C	36%
6	20.4°C	44%	31.6°C	24%	22.4°C	37%
7	21.1°C	42%	31.5°C	25%	22.2°C	37%
8	21.4°C	41%	31.0°C	25%	21.9°C	37%

TRANSECTO 3

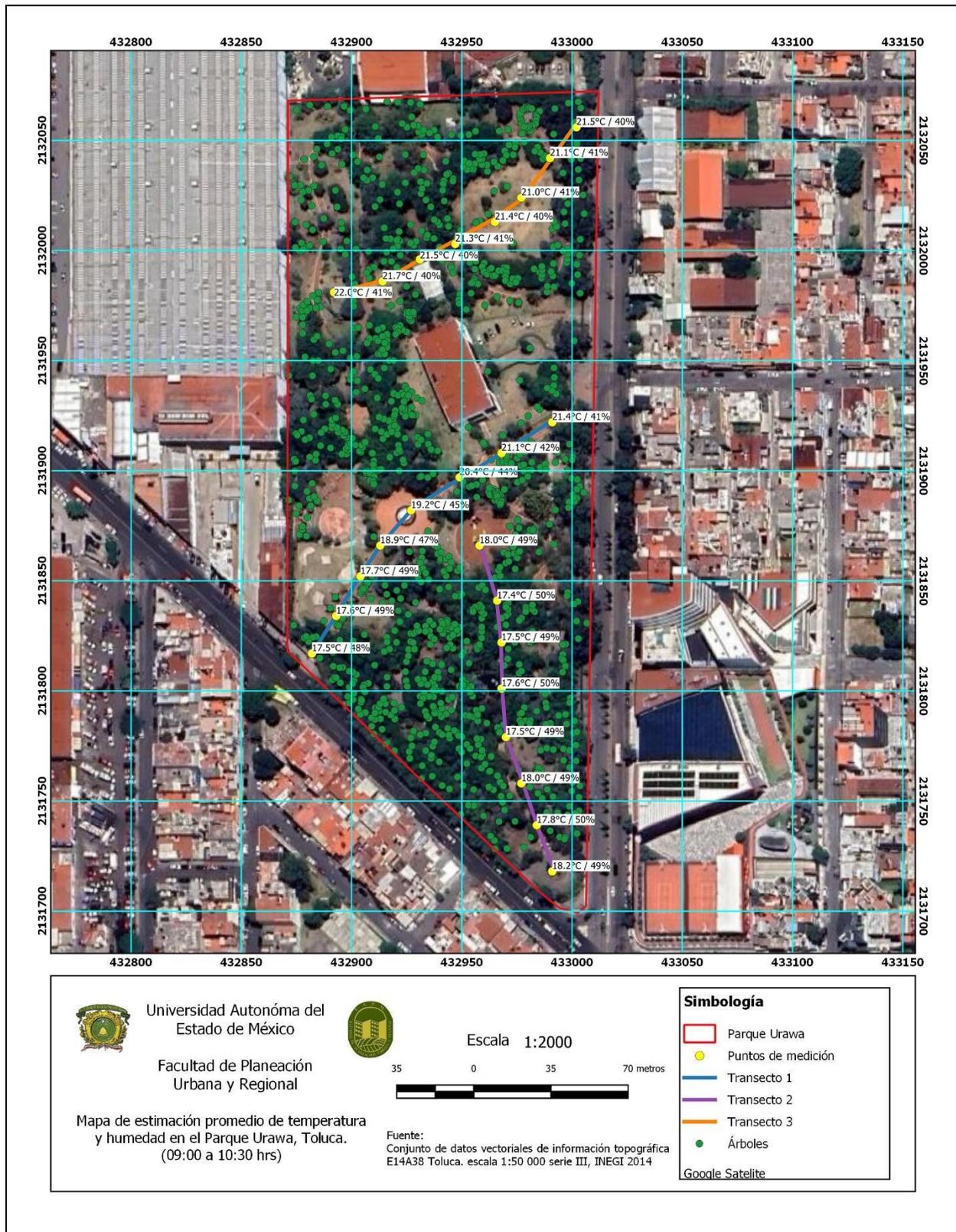
Punto	9:00 a 10:30 hrs		14:00 a 15:30		18:00 a 19:30	
	T. Prom.	Humedad	T. Prom.	Humedad	T. Prom.	Humedad
1	21.5°C	40%	31.0°C	27%	21.6°C	38%
2	21.1°C	41%	30.8°C	26%	21.5°C	38%
3	21.0°C	41%	30.6°C	26%	21.3°C	38%
4	21.4°C	40%	30.8°C	26%	21.2°C	38%
5	21.3°C	41%	30.6°C	26%	21.0°C	38%
6	21.5°C	40%	30.4°C	28%	20.9°C	39%
7	21.7°C	40%	30.1°C	28%	20.7°C	40%
8	22.0°C	41%	30.6°C	28%	20.5°C	40%

Nota: Elaboración propia a través del Inventario de Arbolado Urbano del Parque Urawa, (2022).

Estos datos reflejan una visión detallada de la estimación de temperatura y humedad promedio registradas en cada transecto a lo largo del periodo de dos semanas de los meses de mayo y junio del año 2022, lo que nos permitirá comprender mejor las variaciones térmicas en diferentes momentos del día.

A continuación, se muestra en la Figura 17, los resultados de la estimación promedio de temperatura y humedad durante el periodo mencionado anteriormente, en el horario de 09:00 a 10:30 hrs por cada punto y cada transecto.

Figura 17. Estimación promedio de temperatura y humedad (09:00 a 10:30 hrs)



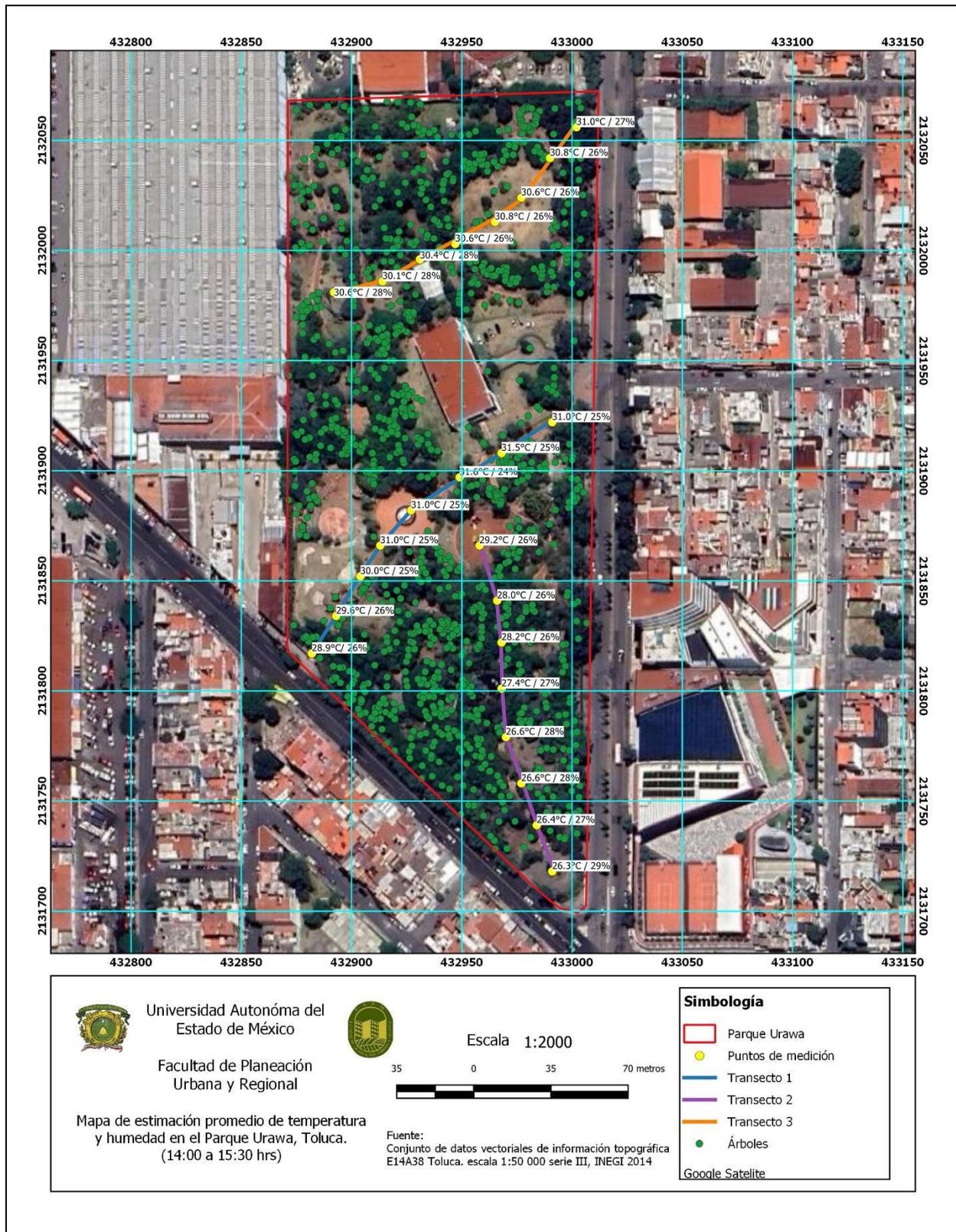
Estimación de temperatura y humedad (09:00 – 10:30 hrs)

Durante la primera toma de temperatura, realizada entre las 09:00 y las 10:30 hrs, se registraron diferencias significativas entre los tres transectos del Parque Urawa. Para el transecto 1, las temperaturas promedio oscilaron entre los 17.5°C y los 18.2°C y con una humedad entre 49% y 50%, mostrando una leve variación dentro de este rango. Por otro lado, en el segundo transecto, las temperaturas oscilaron desde los 17.5°C y los 21.4°C habiendo una gran diferencia en la humedad yendo desde un 49% y disminuyendo a un 41% reflejando una mayor amplitud en los resultados en comparación con el primer transecto. Sorprendentemente, el tercer transecto mostro las temperaturas más altas, con un mínimo de 21.0°C y un máximo de 22.0°C con una diferencia de 1°C, superando incluso al segundo transecto a pesar de las diferencias en volumen de la cobertura vegetal y la infraestructura presente de ambas. Para este transecto, la presencia de humedad se mantuvo entre el 40% y 41%.

Hay que recordar que los datos se tomaron al mismo tiempo para los tres transectos y nos brindan una primera visión de las variaciones térmicas en el Parque Urawa, destacando la influencia de factores como la cobertura vegetal y la presencia de infraestructura en la regulación de la temperatura ambiental.

De la misma manera, en la Figura 18, se aprecian los resultados de las estimaciones promedio de temperatura y humedad en el mismo periodo, pero en el horario de 14:00 a 15:30 hrs del día.

Figura 18. Estimación promedio de temperatura y humedad (14:00 a 15:30 hrs)



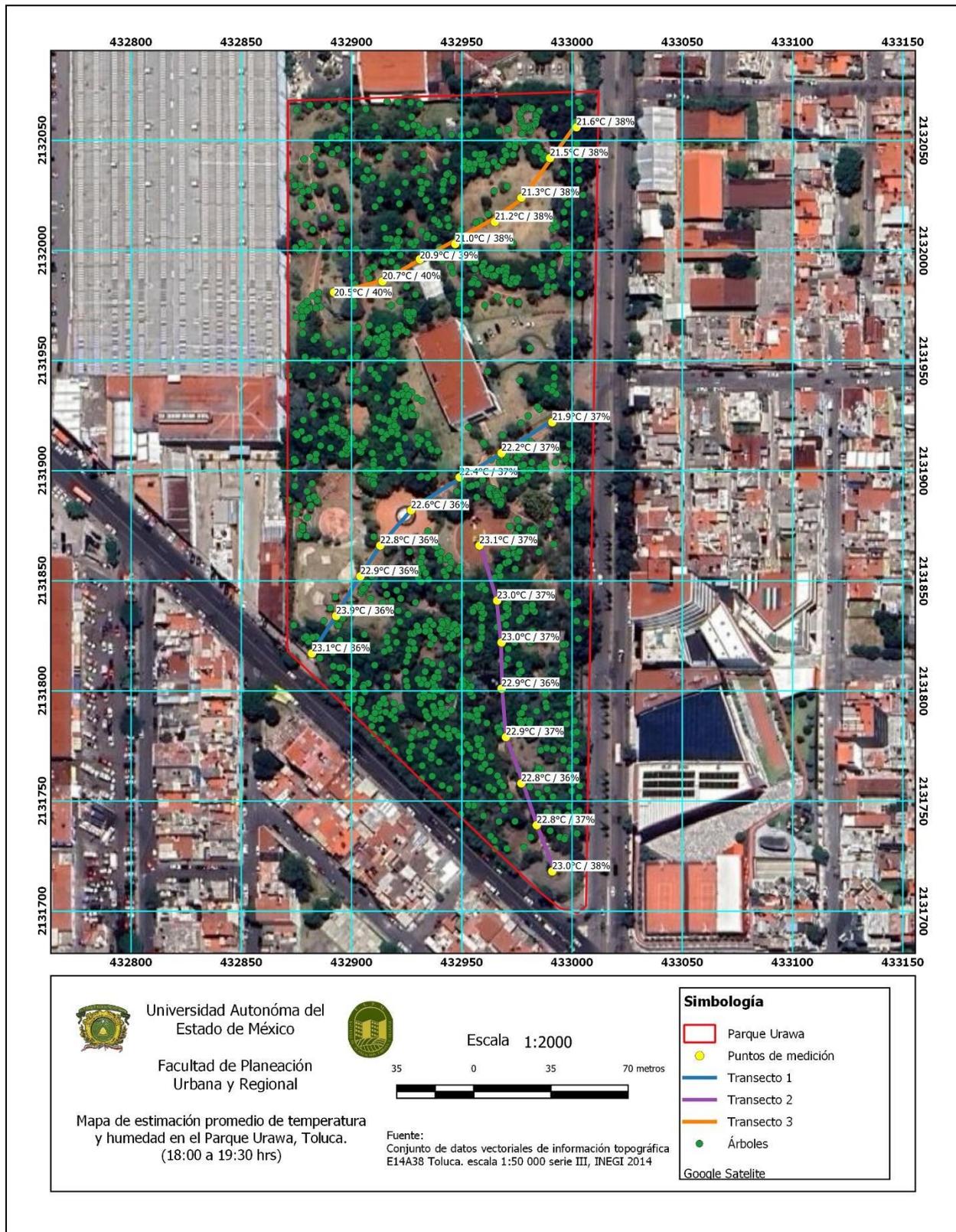
Estimación de temperatura y humedad (14:00 – 15:30 hrs)

Durante la segunda toma de temperatura y humedad, se observaron cambios significativos en los tres transectos del Parque Urawa. En el primer transecto, las temperaturas variaron desde los 26.3°C como mínimo hasta los 29.2°C como máximo, con niveles de humedad que oscilaron entre el 26% y el 29%. Por otro lado, en el segundo transecto, se registraron temperaturas ligeramente más altas, con una oscilación que abarcó desde los 28.9°C hasta los 31.6°C, junto con niveles de humedad ligeramente diferentes entre el 24% y el 26%. Finalmente, el tercer transecto mostró las temperaturas más elevadas de todas, con una mínima de 30.1°C y una máxima de 31°C.

Estos resultados, obtenidos en la misma franja horaria que la primera toma, reflejan un aumento en las temperaturas y una ligera variación en la humedad en todos los transectos. Es notable que, así como paso en la primera toma de datos, a pesar de la presencia de cobertura vegetal en el tercer transecto, las temperaturas registradas fueron más altas que en los otros dos transectos.

Finalmente, en la Figura 19 se presentan las estimaciones promedio de temperatura y humedad correspondientes al horario de 18:00 a 19:30 hrs. Proporcionando un análisis sobre las variaciones térmicas y la humedad durante esta franja horaria específica.

Figura 19. Estimación promedio de temperatura y humedad (18:00 a 19:30 hrs)



Estimación de temperatura y humedad (18:00 – 19:30 hrs)

Durante la tercera toma de temperatura y humedad, se observaron cambios notables en los tres transectos. En el primer transecto, las temperaturas variaron desde los 22.8°C como mínimo hasta los 23.1°C como máximo, con niveles de humedad que oscilaron entre el 36% y el 38%. Por otro lado, en el segundo transecto, se registraron temperaturas entre los 21.9°C y los 23.9°C, destacando una diferencia de 2 grados entre la mínima y la máxima, mientras que los niveles de humedad se mantuvieron entre el 36% y el 37%. En cuanto al tercer transecto, las temperaturas presentaron una variación desde los 20.5°C hasta los 21.6°C, con una humedad que osciló entre el 38% y el 40%.

Es importante señalar que, en esta toma de datos, se observó una variación más amplia en las temperaturas en comparación con las dos tomas anteriores con casi dos grados de diferencia. Estos resultados recalcan la influencia de la hora del día en las condiciones térmicas y de humedad del Parque Urawa, así como la importancia de considerar esta diferencia al analizar los datos climáticos en diferentes momentos del día.

A pesar de los beneficios que aportan los árboles, el calor almacenado en las infraestructuras y superficies del parque puede contrarrestar sus efectos, especialmente en áreas con poca vegetación. Por lo tanto, aunque la vegetación es esencial para la mitigación del calor urbano, es igualmente importante considerar el uso de materiales de construcción que reflejan más el calor y almacenan menos energía térmica. La combinación de ambas estrategias puede resultar en un entorno urbano más fresco.

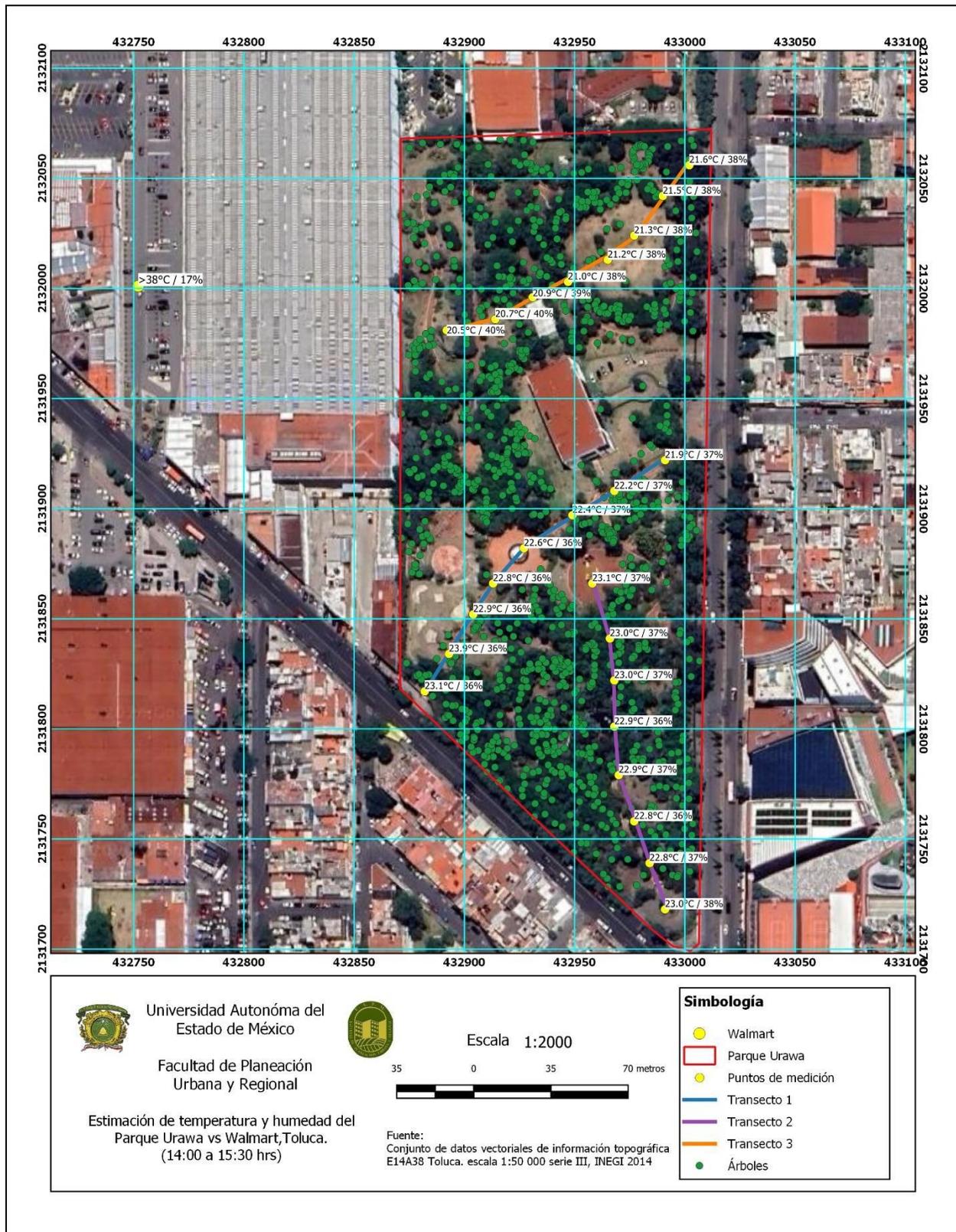
Finalmente, es importante también mencionar que las estimaciones de temperatura fueron alteradas en algunos puntos de medición debido a la exposición excesiva al sol o a la sombra durante las lecturas, incluso en presencia de lluvia. Estas variaciones en las condiciones de

medición pueden haber afectado los resultados, subrayando la necesidad de un enfoque cuidadoso y controlado sobre las temporadas en que se va realizar la recopilación de datos para obtener una representación precisa la estimación de temperaturas.

Estimación de temperatura y humedad del Parque Urawa vs Walmart

Con el fin de comprender la diferencia en las condiciones climáticas, se realizó una comparación con el estacionamiento del centro comercial “Walmart”, ubicado junto al Parque Urawa. Esta comparación se llevó a cabo a las 14:00 horas del día, durante el cual se registraron temperaturas extremadamente altas y una humedad considerablemente baja en el estacionamiento de Walmart. Es importante destacar y como se muestra en la Figura 20, que el entorno carece de árboles y su superficie está cubierta principalmente por concreto.

Figura 20. Estimación de temperatura y humedad de Walmart (14:00 hrs)



Durante el periodo de observación, las temperaturas en el estacionamiento de Walmart alcanzaron hasta los 38.0°C, mientras que la humedad se situó en un 17%. Es importante señalar que, todas las lecturas de temperatura y humedad fueron tomados durante tres minutos al igual que este (Figura 21), comenzando el minuto dos, la pantalla del higrómetro se hizo de color negro, lo que indicó una temperatura superior al límite de medición del instrumento. Aunque no se pudieron registrar los datos precisos después de ese punto, se presume que la temperatura continuó aumentando significativamente.

Estos hallazgos destacan el impacto del entorno construido y la falta de vegetación en los alrededores del Parque Urawa; el estacionamiento de Walmart fue un simple ejemplo para identificar la diferencia térmica pero se presume que las temperaturas en el Mercado Juárez y en la Terminal de Autobuses son similares ya que tienen las mismas condiciones que Walmart (falta de vegetación arbórea e infraestructuras de cemento), subrayando la importancia de crear áreas verdes y promover la vegetación urbana para mitigar los efectos del calor extremo y mejorar la calidad del aire en entornos urbanos.

Figura 21. Estimación de temperatura y humedad en el estacionamiento de “Walmart”



RECOMENDACIONES

1. El diagnóstico realizado en el Parque Urawa del Municipio de Toluca proporciona una base sólida para una gestión más eficaz y sostenible del arbolado urbano. Los datos obtenidos a través del inventario de arbolado y del análisis de sus funciones ambientales ofrecen una visión integral del estado actual del parque. Esta información es esencial para planificar y ejecutar estrategias de renovación de arbolado, poda y control de plagas.
2. Todos los parques urbanos deben contar con un inventario detallado de arbolado. Este inventario permitirá una gestión más eficiente y sostenible de los espacios verdes, facilitando la planificación de mantenimientos, conservación de la biodiversidad y maximización de los servicios ambientales.
3. Es importante aprovechar las áreas disponibles para la reforestación de nuevos árboles. Identificar y utilizar estos espacios no solo contribuirá en aumentar la cobertura arbórea del parque, sino que también mejorará significativamente su capacidad para ofrecer servicios ambientales, como la captura de carbono y la regulación de temperatura y humedad.
4. Se debe considerar la inclusión de especies polinizadoras en estas reforestaciones. Las especies polinizadoras desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento de la biodiversidad y la salud de los ecosistemas. Al atraer polinizadores como abejas, mariposas y otros insectos beneficiosos, estas especies ayudarán a asegurar la polinización de una amplia gama de plantas. Esta selección de especies debe hacerse teniendo en cuenta tanto su adaptación al clima y suelo como su capacidad para ofrecer recursos a los polinizadores durante diferentes épocas del año.

5. Por último, la gestión de los parques urbanos debe ser abordada desde un enfoque ambiental para maximizar los servicios ambientales que estos espacios proporcionan. Adoptar prácticas de manejo sostenible mejorará significativamente la captura de carbono, la regulación de temperatura y humedad, y la conservación de la biodiversidad.

CONCLUSIONES

Las conclusiones de este proyecto reflejan el éxito alcanzado en los objetivos planteados para el año 2022 en el Parque Urawa del Municipio de Toluca. El objetivo general de evaluar las funciones ambientales, como la captura de carbono y la regulación de la temperatura y humedad, se cumplió mediante un inventario detallado del arbolado urbano. El inventario permitió la identificación de 27 especies entre arbóreas, arbustivas y frutales en las 4.4 hectáreas del parque, y se evaluó la capacidad de estas especies para capturar carbono con una estimación total de 72.35 toneladas, destacando su papel en la mitigación del cambio climático. Sin embargo, la diversidad de especies no se correlacionó directamente con la eficiencia en estas funciones, siendo solo un pequeño número de especies el que realmente contribuyó a la captura de carbono y regulación climática.

El inventario de especies realizado permitió dar respuesta a la pregunta de investigación, demostrando que el arbolado del Parque Urawa cumple con funciones críticas en la mitigación de las islas de calor a través de la regulación de la temperatura y la humedad locales. Se observó, a través, de transectos, que las áreas con mayor cobertura vegetal mantenían temperaturas más moderadas, mientras que las áreas con menos vegetación e infraestructura presentaban temperaturas significativamente más elevadas, alcanzando hasta los 31.6°C. Este fenómeno fue corroborado al comparar las temperaturas del parque con las registradas en áreas adyacentes, como el estacionamiento de Walmart, donde la ausencia de vegetación incrementó las temperaturas.

Es importante destacar que la metodología desarrollada en este estudio representa una propuesta inicial, sujeta a posibles mejoras en investigaciones futuras. Se reconoce que existen programas más avanzados que podrían haberse utilizado para la recopilación de datos más exhaustiva y precisa, sin embargo, debido a las limitaciones económicas, nos vimos en la situación de trabajar

con los recursos disponibles, mencionando que fueron herramientas buenas adaptadas a este estudio para tener los datos más precisos y verídicos.

Además. Se identificó que hubo ciertas áreas en las que podríamos haber sido más rigurosos. Por ejemplo, en la medición de la altura de los árboles para estimar la captura de carbono, se reconoce que una mayor precisión en estas estimaciones habría proporcionado resultados más exactos y confiables.

Reconocemos que el ejercicio sobre la estimación de temperatura y humedad podría haberse prolongado durante un periodo más extenso para obtener datos más completos y representativos sobre el comportamiento del clima local del Parque Urawa.

Aunque se reconoce el potencial de mejoras en la metodología utilizada, este estudio representa un primer paso importante en la comprensión de las funciones ambientales del Parque Urawa, siendo posible aplicar esta metodología con otros parques urbanos y en futuras investigaciones se pueda tener acceso abierto a estos datos.

La diversidad de especies en un parque no garantiza por sí sola el cumplimiento de funciones ambientales clave, como la captura de carbono o la regulación de temperatura y humedad. Aunque en este proyecto se identificaron 27 especies entre arbóreas, arbustos y frutales, solo un pequeño número demostró ser eficaz. Esto sugiere que la cantidad de individuos no siempre se correlaciona con su capacidad de cumplir con las funciones ambientales. Es crucial priorizar la presencia de especies locales del sitio y garantizar su salud y vitalidad para asegurar que desempeñen efectivamente sus roles ambientales. En lugar de simplemente buscar una diversidad superficial, se debe enfocar en mantener especies que puedan contribuir significativamente al equilibrio y la salud del ecosistema local.

Por otra parte, al analizar los datos de captura de carbono en el Parque Urawa ha revelado su importante contribución al área urbana. A pesar de las limitaciones en la disponibilidad de fórmulas alométricas para algunas especies, se ha estimado una significativa captura de carbono de aproximadamente 16.45 toneladas por hectárea. Mientras que, a Cruz (2019) registró en el Parque El Calvario una captura de carbono de alrededor de 26.0 toneladas por hectárea. Estos resultados revelan que, el Parque El Calvario supera al Parque Urawa en términos de captura de carbono por hectárea, esto se atribuye a varios factores, como la diversidad arbórea, la densidad de la vegetación y las condiciones ambientales específicas de cada parque.

Tanto el Parque Urawa como el Parque El Calvario, por su cantidad de captura de carbono por hectárea, emergen como puntos focales importantes para la conservación de los recursos forestales urbanos de la Ciudad de Toluca. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar la captura de carbono al planificar y gestionar áreas verdes urbanas, no solo por su valor estético y recreativo, sino también por su papel en la mitigación de las islas de calor. Se necesitan esfuerzos continuos para fortalecer la capacidad de los parques urbanos para almacenar carbono y promover la resiliencia ambiental local.

En cuanto al análisis de las estimaciones de temperatura y humedad por transectos en el Parque Urawa, se reveló la compleja interacción entre la vegetación, la infraestructura y las condiciones climáticas locales. Se observó que, mientras el primer transecto, con su densa vegetación, presentaba temperaturas más moderadas, los transectos 2 y 3, caracterizados por la falta de vegetación y la presencia de infraestructura y asfaltos, registraban temperaturas más altas, alcanzando hasta los 31.6°C durante las horas más calurosas del día. La comparación con el estacionamiento del supermercado Walmart evidenció aún más la influencia del entorno construido.

Para este proyecto, el tiempo de las estimaciones en campo fue limitado debido a los recursos disponibles, lo que permitió obtener una visión general de las dinámicas climáticas del parque. Sin embargo, para obtener resultados más precisos y complejos, es recomendable alargar el tiempo de monitoreo en campo. Estudios a largo plazo permitirán capturar de manera más detallada las fluctuaciones estacionales y las interacciones entre las variables climáticas y la vegetación, proporcionando una base más sólida para la toma de decisiones en la gestión ambiental.

La presente investigación en el Parque Urawa ha proporcionado un análisis sobre el estado actual del arbolado urbano, su diversidad y capacidad de captura de carbono. El inventario detallado de las especies arbóreas presentes permitió no solo evaluar la biodiversidad del parque, sino también identificar las funciones ambientales que desempeñan estas especies, como la regulación de temperatura y captura de carbono. Este enfoque microescala ha puesto en evidencia cómo el diseño paisajístico y las decisiones de plantación influyen directamente en el rendimiento ambiental del parque.

La predominancia de especies ornamentales, como el *Ligustrum japonicum* (Aligustre del Japón), revela la relación entre el diseño del parque y sus funciones ecológicas. A través del inventario, se ha podido concluir que no todas las especies presentes contribuyen de igual manera a la captura de carbono, subrayando la importancia de seleccionar y mantener especies locales y efectivas para cumplir con estos roles.

La realización de un inventario de especies en el Parque Urawa resulta fundamental para evaluar su diversidad biológica y estado de conservación. Este tipo de estudios no solo permite identificar las especies presentes, sino también su distribución, salud y capacidad para cumplir funciones ambientales. El análisis detallado del arbolado revela la importancia de monitorear el estado de salud de las especies en áreas verdes urbanas en esencial para la planificación y manejo sustentable

de los recursos naturales, ayudando a mitigar fenómenos como las islas de calor y el cambio climático.

Este enfoque proporciona una comprensión más profunda de la interacción entre el entorno natural y el construido. El conocimiento adquirido sobre la salud y el impacto de las especies arbóreas en los ecosistemas urbanos puede ser aplicado en la restauración ecológica, la gestión de espacios verdes y en el diseño de políticas públicas ambientales. En este sentido, el inventario realizado en el Parque Urawa no solo aporta información valiosa sobre este sitio específico, sino que también sienta las bases para investigaciones futuras y el desarrollo de estrategias de conservación más efectivas.

Esta investigación ofrece una base sólida para la toma de decisiones en la gestión y planificación de áreas verdes urbanas, contribuyendo de manera significativa en varios aspectos clave. Al proporcionar un inventario detallado de las especies arbóreas presentes en el Parque Urawa y evaluar sus funciones ambientales, como la captura de carbono y la regulación de la temperatura, el estudio data la importancia de los parques urbanos no solo como espacios recreativos, sino también como activos ecológicos que pueden mitigar los efectos del cambio climático y las islas de calor urbanas.

En primer lugar, los datos obtenidos permiten a los responsables de la gestión de parques urbanos tomar decisiones informadas sobre la preservación y reforestación de estos espacios. Al identificar las especies que contribuyen más eficazmente a la captura de carbono, como el *Ligustrum japonicum* (Aligustre del Japón) y el *Fraxinus uhdei* (Fresno Silvestre Mexicano), se puede priorizar la plantación de especies más adecuadas para optimizar los beneficios ambientales del parque. Además, el inventario permite detectar áreas con una baja densidad arbórea que podrían

beneficiarse de una reforestación estratégica, sin comprometer las áreas recreativas necesarias para la sociedad.

Asimismo, este estudio resalta la importancia de la diversidad y el estado de salud del arbolado. Un parque con mayor diversidad y especies en buen estado de salud asegura una función ambiental más eficiente y una mayor resiliencia frente a factores de estrés, como el cambio climático o las plagas. Este conocimiento puede guiar la implementación de políticas para mantener la biodiversidad y asegurar el manejo sostenible de los recursos forestales urbanos.

En el contexto de la planificación urbana, la investigación también ofrece herramientas prácticas para mitigar los efectos del calentamiento urbano, al evidenciar como áreas arboladas moderan las temperaturas locales. Los datos sobre la interacción entre la vegetación y las infraestructuras urbanas pueden ser utilizados para diseñar políticas que promuevan la creación de corredores verdes, la integración de árboles en zonas urbanas densamente construidas, y la priorización de áreas críticas para la reforestación urbana.

Por último, la investigación contribuye al desarrollo académico y profesional proporcionando una propuesta metodológica cuantitativa que puede ser replicada en otros parques y áreas verdes urbanas, contribuyendo al cuerpo de conocimiento en la gestión ambiental. Además, subraya la necesidad de ampliar las investigaciones a largo plazo, integrando datos más completos y precisos sobre las condiciones climáticas y ecológicas de los espacios verdes urbanos.

REFERENCIAS

- Alanís-Rodríguez, Eduardo, Mora-Olivo, Arturo, Jiménez-Pérez, Javier, & Cuéllar-Rodríguez, Gerardo. (2023). Uso de árboles nativos en áreas verdes urbanas: tendencias en el noreste de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 14(76), 4-21. Epub 19 de junio de 2023. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i76.1314>
- Alchapar, N., Correa, E. (2015). Reflectancia solar de las envolventes opacas de la ciudad y su efecto sobre las temperaturas urbanas. *Informes de la Construcción*, 67(540): e112, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.131>.
- Alchapar, N., & Correa, E. (2016). Pautas de diseño para disminuir las temperaturas urbanas en regiones con alta productividad solar. *Parámetros morfológicos y materiales. Hábitat Sustentable*, 6(1), 84-95. ISSN 0719 – 0700
- Ayuntamiento de Toluca. (2019). *Instala Toluca Comisión de Parques, Jardines y Panteones*. Ayuntamiento de Toluca. Consultado el 23 de junio de 2022. <https://www2.toluca.gob.mx/comsoc0118/>
- Ayuntamiento de Toluca. (2020). *Toluca recibe reconocimiento por el programa de Reforestación “Juntos por una Capital Verde”*. Consultado el 30 de marzo de 2022. <https://www2.toluca.gob.mx/com0074-2020/>
- Bando Municipal de Toluca. (2023). *Capítulo Cuarto de las infracciones y sanciones*. Consultado el 25 de diciembre de 2023. https://www2.toluca.gob.mx/wp-content/uploads/2023/02/tol-pdf-Bando_Municipal-2023.pdf
- Barboza. R. (2016). *Selección de especies para el arbolado urbano a partir del análisis de 10 parques urbanos municipales del cantón de Curridabat, San José, Costa Rica*. Academia.edu.

https://www.academia.edu/30389541/Especies_para_arbolado_urbano_An%C3%A1lisis_de_10_parques_urbanos_del_cant%C3%B3n_de_Curridabat

Barradas, V. (1988). Los pulmones urbanos. *Ciencia y desarrollo*, 78, 61-72. Consultado el 17 de marzo de 2022.

https://www.researchgate.net/publication/264551907_Los_pulmones_urbanos

Benjamín, JA y Masera, O. (2001). Captura de Carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7 (1), 3-12. ISSN: 1405-0471.

Bobadilla, M. D. (2019). Análisis del diseño e implementación de la propuesta piloto del inventario de arbolado urbano en la Ciudad de Toluca [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional.

<http://hdl.handle.net/20.500.11799/105552>

Calderón Maya, JR., Pérez Ramírez, CA. (2018). Planeación, gobernanza y sustentabilidad. Variabilidad de la temperatura y precipitación en Toluca. Consultado el 05 de mayo de 2022. Universidad Autónoma del Estado de México. Repositorio Institucional.

<http://hdl.handle.net/20.500.11799/99286>

Castillo Rodríguez, L., & Ferro Cisneros, S. (2015). La problemática del diseño con árboles en vías urbanas: "verde con respuntes negros". *Arquitectura y Urbanismo*, XXXVI (1), 5-24. ISSN: 0258-591X.

Código Penal del Estado de México. (n.d), subtítulo séptimo delitos contra el ambiente.

https://strabajo.edomex.gob.mx/sites/strabajo.edomex.gob.mx/files/files/strabajo_pdf_codigo_penal.pdf

Código Reglamentario Municipal de Toluca. (2022-2024). Sección Novena de la Dirección General de Medio Ambiente.

http://transparencia.toluca.gob.mx/secretaria_ayuntamiento/2022/consejeria_juridica/89039-tol-pdf-codigo_reglamentario_municipal-2022.pdf

Concha, H. (2020). Inventario del arbolado urbano de la Ciudad de León, Gto. Consultado el 30 de marzo de 2022.

https://www.academia.edu/44086799/INVENTARIO_DEL_ARBOLADO_URBANO_d_e_la_Cd_de_LEON_Gto

Cruz, R. M. (2019). Parques urbanos y sustentabilidad: evaluación de los servicios ambientales del Parque Matlazincas, Toluca. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/104605>

Díaz Franco, R., Acosta Mireles, M., Carrillo Anzures, F., Buendía Rodríguez, E., Flores Ayala, E., & Etchevers Barra, JD (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. y Cham. *Madera y Bosques*, 13 (1), 25-34. ISSN: 1405-0471.

Duval, VS, Benedetti, GM y Baudis, K. (2020). El impacto del arbolado de alineación en el microclima urbano. Bahía Blanca, Argentina. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (73), 171-188. ISSN: 1989-9890

Etchevers, J.D., C.M. Monreal, C. Hidalgo M., M. Acosta Mireles, J. Padilla C. y R.M. López R. 2010. Manual para la determinación de carbono en la parte aérea y subterránea de sistemas de producción de ladera. Colegio de Posgraduados, México.

Endreny, T. (2018). Calculamos cuánto dinero ahorran los árboles para tu ciudad. Consultado el 05 de abril de 2022. <https://theconversation.com/we-calculated-how-much-money-trees-save-for-your-city-95198>

Escobedo, F., & Chacalo, A. (2008). Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la ciudad de México. *Interciencia*, 33(1), 29-33. ISSN: 0378-1844

FAO. (2020). El estado de los bosques del mundo. Los bosques, la biodiversidad y las personas. Consultado el 23 de mayo de 2024. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e35f4f7b-fa71-4f75-8dd4-e22de81ba1fa/content>

FAO. (2023). Inventario Forestal. Conjunto de herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS). Consultado el 29 de marzo de 2023. <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules-alternative/forest-inventory/basic-knowledge/es/>

Figueroa Clemente, M. E., & Figueroa Luque, E. (2021). Catálogo de árboles y arbustos recomendables para las diferentes zonas climáticas de Andalucía, aplicable al medio urbano. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo. Consultado el 23 de mayo de 2024. https://fama.us.es/discovery/fulldisplay/alma991013423992604987/34CBUA_US:VUI

Flores, F., Vega, D. J., Corral, J. J., Álvarez, J. G., Ruiz, A. D., López, C. A., & Carrillo, A. (2018). Desarrollo de ecuaciones alométricas de biomasa para la regeneración de cuatro especies en Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46), 158-182. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.119>

Flores-Xolocotzi, R., & González-Guillén, M. D. J. (2010). Planificación de sistemas de áreas verdes y parques públicos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(1), 17-24. Consultado el 19 de junio de 2022, de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322010000100003&lng=es&tlng=es.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322010000100003&lng=es&tlng=es)

Fundación Aequae. (2021). Evolución de la temperatura global - Fundación Aequae. Consultado el 30 de marzo de 2022. <https://www.fundacionaequae.org/wiki/calentamiento-global-primaveras-tempranas-veranos-calidos/>

Galilea-Aranda, S, E. (2017). Alteraciones térmicas del clima en las calles del centro histórico de Mérida y su repercusión en el confort. [Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán]. Repositorio Institucional. <http://redi.uady.mx:8080/handle/123456789/3964>

Galindo-Bianconi, A. S., & Victoria-Uribe, R. (2012). La vegetación como parte de la sustentabilidad urbana: beneficios, problemáticas y soluciones, para el Valle de Toluca. Quivera. Revista de Estudios Territoriales, 14 (1), 98-108.

Gallegos Sánchez, G. (2013). Diagnóstico de salud de la especie fresno (*Fraxinus uhdei*) en zonas críticas por contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco. [Tesis de maestría, Universidad de Guadalajara]. Repositorio CUCBA. <http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/5821>

Gómez, V. (2005). Sobre sistemas, tipologías y estándares de áreas verdes en el planeamiento urbano. *Diseño Urbano y Paisaje*, II (6), 1-22. Consultado el 28 de marzo de 2023. <https://dup.ucentral.cl/pdf/000002.pdf>

Gobierno del Estado de México (2017). Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-018-SEMAGEM-DS-2017: Residuos Sólidos Urbanos. <http://legismex.mty.itesm.mx/estados/ley-edm/EM-NT-NTEA-018-SeMAGEM-DS-2017.pdf>

Gobierno del Estado de México. (2017). Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-019-SEMAGEM-DS-2017: Poda de árboles. Gaceta del Gobierno.

<http://legismex.mty.itesm.mx/estados/ley-edm/EM-NT-NTEA-018-SeMAGEM-DS-2017.pdf>

Godoy, Gustavo. (2013). Modelo de la Isla de Calor Atmosférico y Superficial: Factores en Común y alternativas para la Mitigación de su Efecto en salud humana y medioambiente urbano., doi: 10.13140/2.1.1761.6646.

Iguñiz, G. (2011). El arbolado funcional: qué puede y debe aportar un árbol a la ciudad, y qué puede y debe aportar la ciudad al árbol. Colección "El Árbol Urbano". Consultado el 18 de mayo de 2024.

https://segovia.es/sites/default/files/Components/File_list/Files/documentos_2011_El_arbolado_funcional_6aca890a.pdf

Iguñiz, G. (2013). Árboles en la ciudad. Colección "El Árbol Urbano". Consultado el 18 de mayo de 2024.

https://segovia.es/sites/default/files/Components/File_list/Files/documentos_2013_Arbol_es_en_la_ciudad_87a5e692.pdf

iNaturalist. (s.f.). Acacia melanoxyton. iNaturalist Ecuador. Consultado el 29 de marzo de 2024, de <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/53344-Acacia-melanoxyton>

iNaturalist. (s.f.). Fraxinus uhdei. iNaturalist Ecuador. Consultado el 29 de marzo de 2024, de <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/134212-Fraxinus-uhdei>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, I. N. (2018). Efectos del cambio climático. gob.mx. Consultado el 30 de marzo de 2022. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/efectos-del-cambio-climatico>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Dirección de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional (DGICUR), & Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire (DICA). (2010). Estudio de emisiones y actividad vehicular en la zona metropolitana del valle de Toluca, estado de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/112406/2010_CGCSA_RSD_Toluca.pdf

Lemus, Flores., S. (2016). Isla de calor en la ciudad de Puebla. [Tesis de Licenciatura- Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/302197>

Ley de Parques Estatales y Municipales. (2021). Exposición de motivos. Consultado el 18 de diciembre de 2023. <https://legislacion.edomex.gob.mx/node/1068>

Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México. (2001) Competencia y colaboración entre Autoridades Estatales y Municipales. Facultades de las autoridades Municipales. Consultado el 18 de diciembre de 2023. <https://legislacion.edomex.gob.mx/node/1084>

Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano. (2021). Artículo 59. Consultado el 18 de diciembre de 2023. https://www.dof.gob.mx/leyes/asentamientos_humanos.pdf

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. (2015). Artículo 8. Consultado el 18 de diciembre de 2023. <https://www.dof.gob.mx/leyes/equilibrioecologico.pdf>.

Márquez, P. (2021). Parque Urawa, Toluca: conoce su historia y cuál es su ubicación. Soy Nómada. Consultado el 28 de febrero de 2024, de

<https://www.soynomada.news/viajes/Parque-Urawa-Toluca-conoce-su-historia-y-cual-es-su-ubicacion-20210412-0002.html>

Molina Holgado, P., Berrocal, A., y Olmo, R. (2005). Guía de vegetación para ambientes urbanos. ResearchGate. Consultado el 29 de marzo de 2024, de

<https://www.researchgate.net/publication/331223373>

Mañón de la Cruz, R. (2018). Análisis de los servicios ambientales del Parque Metropolitano Bicentenario en la Ciudad de Toluca. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/80285>

Morales Méndez, C. C., Madrigal Uribe, D., & González Becerril, L. A. (2007). Isla de calor en Toluca, México. CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 14(3), 307-316.

Naciones Unidas. (2022). Día mundial de las ciudades: Las acciones locales tienen un efecto global. Consultado el 30 de marzo de 2022. <https://news.un.org/es/story/2022/10/1516522>

Naciones Unidas. (s.f.). Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. 11 ciudades y comunidades sostenibles. Naciones Unidas. Consultado el 19 de marzo de 2023, de [Ciudades - Desarrollo Sostenible \(un.org\)](https://www.un.org/es/development/desa/urban/11-cities-and-communities-sustainable)

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021. (2021). Artículo 8.2.4. <https://www.dof.gob.mx/normas/NOM-001-SEDATU-2021.pdf>.

Palma, M. L. (2023). Metodología de gestión pública para parques urbanos. Estudio comparativo en Áreas Naturales Protegidas Toluca, México. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/138852>

Pérez-Medina, S., & López-Falfán, I. (2015). Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana. *Economía, Sociedad y Territorio*, XV (47), 1-33. ISSN: 1405-8421.

Plan Municipal de Desarrollo Municipal. (2016-2018). Parques, jardines y su equipamiento. Consultado el 05 de abril de 2022.
https://copladem.edomex.gob.mx/sites/copladem.edomex.gob.mx/files/files/pdf/Planes%20y%20programas/Mpales-2016-2018/PDM_Toluca2016-2018.pdf

Plan de Desarrollo Municipal de Toluca. (2022-2024). Parques, jardines y su equipamiento. Consultado el 28 de junio de 2022.
https://copladem.edomex.gob.mx/sites/copladem.edomex.gob.mx/files/files/pdf/Planes%20y%20programas/Mpales-2022-2024/Toluca_PDM_%202022_2024.pdf

Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Toluca. (2014). Plan de Acción Climática Municipal de Toluca (PACMUN).
<https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/gct/2014/sep123.PDF>

Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Toluca. (2018). Parques, jardines, paseos y plazas. Consultado el 11 de marzo de 2023.

Priego, C. (2002). Beneficios del Arbolado Urbano. 1-24. Consultado el 14 de marzo de 2023.
<http://hdl.handle.net/10261/24578>

PROBOSQUE. (2022). Campaña Estatal de Reforestación. Probosque Estado de México. Consultado el 23 de mayo de 2024. <https://probosque.edomex.gob.mx/per>

Ramos, F. (2018). Zona centro y terminal, los infiernos viales del transporte público en Toluca. El Sol de Toluca. Consultado el 14 de enero de 2024.

<https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/zona-centro-y-terminal-los-infiernos-viales-del-transporte-publico-en-toluca-1654145.html>

Reforestamos. (n.d.). Inventario. Árboles y ciudades. Consultado el 05 de abril de 2022.

<https://www.arbolesyciudades.org/inventario-de-arbolado-urbano>

Reyes Avilés, I., & 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. ISSN: 1405-8626.

Rojas, F., y Martínez, P. (2015). Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. Programa Mexicano del Carbono. https://pmcarbono.org/pmc/descargas/bases_datos/Database_of_478_allometric.pdf

Romero, Hugo, Irrarázaval, Felipe, Opazo, Dustyn, Salgado, Marcela, & Smith, Pamela. (2010). Climas urbanos y contaminación atmosférica en Santiago de Chile. *EURE (Santiago)*, 36(109), 35-62. <https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612010000300002>

Romero, H., & Molina, M. (2008). Relación espacial entre tipos de usos y coberturas de suelos e islas de calor en Santiago de Chile. *Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*, 1(1), 223-230. ISSN: 0717-3946

Sáenz, J. T., Rueda, A., Benavides, J. d. D., Muñoz, H. J., Castillo, D., & Sáenz-Ceja, J. E. (2021). Ecuaciones alométricas, biomasa y carbono en plantaciones forestales tropicales en la costa de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(65), 27-44. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.856>

Salvador Palomo, P. J. (2003). La planificación verde en las ciudades. Consultado el 28 de junio de 2022. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=171424>. ISBN: 84-252-1517-X

Sandoval García, Edgar Roberto, Franco González, Rosa Laura Patricia Edith, & Fernández Morales, Juan Manuel. (2019). Vehículos eléctricos: ¿Una solución para reducir los gases de efecto invernadero proveniente del sector transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México? *Acta universitaria*, 29, e1964. Epub 01 de diciembre de 2019.
<https://doi.org/10.15174/au.2019.1964>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010: Protección Ambiental-Especies de flora y fauna silvestres peligrosas-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio en la lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*. Consultado el 10 de junio de 2024, de <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>

Tomás, L. (2023). Guía de los jardines japoneses. *Japonismo*. Consultado el 24 de febrero de 2024, de https://japonismo.com/blog/guia-jardines-japoneses#google_vignette

Torres, Q. J. (2020). Estrategias de mitigación de islas de calor urbano en Toluca [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional.
<http://hdl.handle.net/20.500.11799/109564>

Estación 15367 “Museo Observatorio Meteorológico Mariano Bárcena”. (2022). Temperaturas máximas y mínimas del año 2020, 2021 y 2022. [manuscrito no publicado]. Universidad Autónoma del Estado de México.

Universidad Nacional del Nordeste. (2018). *Limnología. Guía de Trabajos Prácticos*, 1-27. Consultado el 29 de marzo de 2023.
<http://exa.exa.unne.edu.ar/biologia/limnologiaweb/documentos/Guia%20Practicos-2018.pdf>

Wollmann, C. A., Silva Gomes, S. L., & Comassetto Iensse, A. (2017). Variabilidade espacial da temperatura do ar com uso de transectos móveis em Tupanciretã/RS, sob domínios atmosféricos tropicais. *Ciência e Natura*, 39(), 207-218. ISSN: 0100-8307.