



**Casa abierta al tiempo**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
*Iztapalapa*

**EVALUACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO Y  
FITOSANITARIO DE LAS COMUNIDADES ARBÓREAS EN  
ÁREAS VERDES DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

Que para obtener el grado de  
Maestra en Biología  
PRESENTA

**PUENTE MARTÍNEZ YESSICA**

21 de junio de 2023

La Maestría en Biología de la  
Universidad Autónoma Metropolitana  
pertenece al Padrón de  
Posgrados de Calidad del CONACyT.

El jurado designado por la  
**División de Ciencias Biológicas y de la Salud**  
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó  
**PUENTE MARTINEZ YESSICA**  
El día 23 de junio del año de 2023.

Comité Tutorial y Jurado

Tutor: Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

Asesor: Dr. Pedro Luis Valverde Padilla

Asesor: M. en C. Aurora Chimal Hernández

Sinodal: Dr. Pedro Luis Valverde Padilla

Sinodal: Dra. Cecilia Leonor Jiménez Sierra

Sinodal: Dr. Roberto Bonifaz Alfonzo

Sinodal: M. en C. Aurora Chimal Hernández

*Al amor de mi vida:  
mi hermano Omar.*

## Resumen.

Los enormes problemas de degradación ambiental y la presión a la que se ven sometidos los recursos naturales hoy en día son evidentes; se advierte, por ejemplo, en la pérdida de áreas verdes (AV), cuya evaluación de calidad requiere considerar aspectos de su estructura espacial, como el tamaño, la forma, distribución y distancia entre fragmentos, así como la estructura y funcionamiento de los ensamblajes biológicos que albergan y el entorno demográfico y socioeconómico de la población que hace uso de ellas. El objetivo de este trabajo fue evaluar y comparar el estado ecológico y fitosanitario de las comunidades arbóreas de ocho áreas verdes de la Ciudad de México, en conjunto con otras variables espaciales, socioeconómicas y demográficas. Se propone un índice multivariado de funcionalidad de las áreas verdes, que facilitaría la implementación de posibles soluciones para su gestión, mejoramiento y recuperación. Este índice está basado en trece variables, integradas en modelo lineal definido por un análisis de componentes principales centrado y estandarizado. La ordenación de las AV a lo largo de los gradientes extraídos correspondería a su arreglo de acuerdo con su calidad y funcionalidad. Se definieron cuatro categorías de funcionalidad: baja, media-baja, media-alta y alta. Siete de los ocho parques estudiados tienen una funcionalidad media-baja. La Alameda Central y el parque Amistad México Japón son las AV más y menos funcionales, respectivamente. El índice propuesto podría aplicarse a cualquier área verde de la Ciudad de México y, eventualmente, de cualquier ciudad. Se considera que la mejor estrategia, dadas las condiciones de la Ciudad de México, es la recuperación de las actuales AV, a través de distintos aspectos, siendo el aumento de la diversidad y densidad vegetal junto con un estricto control fitosanitario los más importantes.

## Abstract.

The enormous problems of environmental degradation and the pressure to which natural resources are currently subjected are evident. This is reflected, for example, in the loss of green areas (AV, by its acronym in Spanish), whose quality assessment requires consideration of aspects of AVs' spatial structure, such as size, shape, distribution and distance between fragments. Also, the structure and functioning of the contained biological assemblages, as well as the demographic and socio-economic environment of the population that make use of them should be considered. The objective of this work was to evaluate and compare the ecological and phytosanitary status of tree communities in eight selected contrasting green areas of Mexico City, together with other spatial, socioeconomic, and demographic variables. A multivariate index of functionality of green areas is here proposed, which would facilitate the implementation of possible solutions for their management, improvement, and restoration. This index is based on thirteen variables, integrated into a linear model defined by a principal components analysis (PCA). The AVs' ordination along the extracted gradients would correspond to their arrangement according to their quality and functionality. Four categories of functionality were determined: low, medium-low, medium-high, and high. According to this, six of the eight parks studied showed a medium-low functionality. The Alameda Central and the Amistad México-Japón park are the most and least functional AVs, respectively. The proposed index could be applied to any green area in Mexico City and, eventually, in any city. A main suggestion of this work is that the best strategy, given the conditions of Mexico City, would be the improvement of current AVs, through different approaches, being the increase of plant diversity and density, as well as a strict phytosanitary control the most important ones.

Índice general

<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Antecedentes y justificación</b> .....	<b>5</b>
<b>Pregunta de investigación e hipótesis</b> .....	<b>11</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>12</b>
<b>Método</b> .....	<b>13</b>
<b>Resultados</b> .....	<b>26</b>
Análisis espacial.....	26
Caracterización espacial.....	27
Estructura de las comunidades arbóreas.....	29
Salud del arbolado.....	30
Funcionalidad del área verde .....	31
Variables en estudio.....	34
Parques.....	37
<b>Discusión</b> .....	<b>58</b>
Consideraciones del índice de funcionalidad.....	68
Recomendaciones generales.....	70
<b>Bibliografía</b> .....	<b>76</b>
<b>Apéndices</b> .....	<b>85</b>

## INTRODUCCIÓN

El deterioro del medio ambiente y la sobreexplotación de los recursos naturales son problemas que cada vez se van intensificando con mayor velocidad (Artaraz, 2003; Gómez, 2002). Uno de los factores que más influyen en esta problemática es la urbanización, principalmente por el cambio de uso de suelo que provoca (Angeletto *et al.*, 2015) y porque las ciudades van aumentando la concentración de habitantes (Leal *et al.*, 2018; Meza *et al.*, 2017), provocando una crisis ambiental y social que puede advertirse, por ejemplo, en la pérdida de áreas verdes (AV) (Flores y González, 2010).

En general, las áreas verdes son espacios compuestos con vegetación, principalmente pastos, árboles y algunos arbustos (Meza y Moncada, 2010). Estas áreas son espacios de importancia crítica debido a que proporcionan a las poblaciones humanas diversos servicios que impactan favorablemente en su calidad de vida (Flores, 2012). Entre estos servicios se encuentran el albergue de distintas especies vegetales y animales, el mejoramiento en la calidad del aire, agua y recursos del suelo, amortiguamiento de la temperatura y reducción de los niveles de contaminación por ruido y CO<sub>2</sub> (Ojeda y Espejel, 2014). Por otro lado, contribuyen a la salud física y mental de la población al brindar la oportunidad de recreación y educación ambiental, así como de una mejora estética (Sorensen *et al.*, 1998), por lo que juegan un papel básico en el mantenimiento del bienestar social, económico y ecológico (Leal *et al.*, 2018; Morales *et al.*, 2018).

Los elementos prominentes de las AV son los árboles, tanto por su fisonomía como por sus dimensiones (Meza *et al.*, 2017), y aunque la estructura en su distribución y



abundancia normalmente siguen patrones de diseño diferentes al de la vegetación natural, los servicios que ofrecen son fundamentales: captura de carbono y generación de oxígeno, regulación de la temperatura, protección y ayuda en la recuperación de los suelos, mejora en la calidad del agua, funcionan como barreras contra el ruido y refugio de otras especies, además de enriquecer el paisaje. Por tanto, el manejo de las comunidades arbóreas urbanas debe procurar un adecuado manejo, disposición y conservación para el mejoramiento ambiental urbano (Reyes y Gutiérrez, 2010).

Actualmente se carece de un análisis conjunto de desarrollo sustentable y gobernanza en relación con los procesos de gestión y planificación de espacios verdes urbanos (Flores, 2012), y a pesar de que se reconoce la importancia de las AV en las ciudades, su manejo implica distintos obstáculos. Entre estos, uno de los más importantes es la falta de investigación de los beneficios de estas áreas. Por otro lado, está la falta de espacios designados para el establecimiento de AV, derivada del crecimiento urbano y su falta de planificación.

Debido a la importancia ecológica y social que desempeñan las AV, es necesario desarrollar herramientas que permitan evaluar sus condiciones y funciones ambientales. Esta evaluación se puede realizar a través de distintos indicadores, los cuales permitirían generar y analizar información para una adecuada gestión y mejora continua de las AV (Morales *et al.*, 2018; Sorensen *et al.*, 1998).

En la Ciudad de México, las áreas verdes se definen como “toda superficie cubierta de vegetación, natural o inducida, que se localice en el Distrito Federal (ahora Ciudad de México)” por la Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal (Gobierno

del D. F., 2000). A pesar del reconocimiento de los beneficios que aportan, el desbordado crecimiento poblacional, las dimensiones de la ciudad y la falta de planeación urbana minimiza las posibilidades de mejora de estos espacios (Meza y Moncada, 2010; Meza *et al.*, 2017).

Es por esto por lo que los proyectos diseñados para abordar esta problemática se han centrado en la recuperación de las áreas existentes más que en su aumento en número y extensión (Meza *et al.*, 2017). Esta recuperación requiere de estudios que permitan conocer el estado actual de las áreas verdes para desarrollar las estrategias adecuadas para afrontar el problema. Entre las áreas que la Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal (Gobierno del D. F., 2000) reconoce como “verdes”, se encuentran los parques, jardines y, por su definición, también los camellones, entre otros.

El indicador que normalmente se usa para evaluar las áreas verdes es el área por habitante. Sin embargo, este indicador no brinda información sobre la distribución de estas ni los servicios que proporcionan, aspectos clave en el fortalecimiento de la efectividad de los servicios ecosistémicos brindados a los ciudadanos. Para evaluar su calidad, es necesario considerar aspectos de su estructura espacial, como el tamaño, la forma, distribución y distancia entre fragmentos, así como la estructura y funcionamiento de los ensamblajes biológicos que albergan (de la Barrera *et al.*, 2016).

A través de estas variables (indicadores) sería posible construir un índice que sintetice toda la información brindada y nos dé un indicio de la funcionalidad de un área verde pública de la Ciudad de México. No siempre es posible trabajar con un número alto de

variables, por lo que una herramienta a utilizar en estos casos son los análisis multivariados, los cuales permiten resumir cantidades grandes de información. Entre las técnicas multivariadas más utilizadas está el análisis de componentes principales (ACP), el cual permite construir combinaciones lineales de las variables para reducirlas en número, procurando perder la menor información posible (Hair *et al.*, 1999; León *et al.*, 2008; Ruiz, 2012).

En la Ciudad de México se tienen registradas cerca de 12,000 áreas verdes de todo tipo (parques, camellones, áreas protegidas, entre otras) con una distribución heterogénea entre las 16 alcaldías que la componen (Secretaría del Medio Ambiente SEDEMA, 2019). Con este proyecto se pretende caracterizar aspectos estructurales y funcionales de las comunidades arbóreas presentes en distintas áreas verdes de la Ciudad de México, tomando en cuenta condiciones socioeconómicas.

## ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Las áreas verdes públicas son el principal reservorio de vegetación en las ciudades y, en la actualidad, el interés por estudiar sus patrones paisajísticos ha aumentado para realizar estudios ecológicos, mejorar la conservación de especies y aumentar la calidad de vida (Peña, 2009; Hernández *et al.*, 2018).

Fuera del país hay estudios como el de Peña (2009) en donde analiza la forma, tamaño y distribución de áreas verdes públicas del distrito La Molina, Lima (Perú), con el objetivo de proponer pautas de mejoramiento de su calidad ambiental. En Santiago de Chile, Reyes y Figueroa (2010) también analizaron la distribución de las áreas verdes públicas, además de la superficie y accesibilidad. Otros autores han desarrollado índices de funcionalidad basados en distintos indicadores. El término indicador viene del latín *indicare*: revelar; y en términos de la sustentabilidad brinda información de la asociación sociedad-naturaleza. La importancia de los indicadores ambientales, los cuales conducen a cumplir los objetivos de la sustentabilidad, son creados para un contexto social, administrativo y territorial exclusivo, por lo que su interpretación también está sujeta a las variables de investigación locales (García y Guerrero, 2006).

La Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (2010), desarrolló un índice de funcionalidad para evaluar el potencial de los parques para albergar la mayor diversidad de aves. Se basa en la superficie y tamaño de AV, estratos arbóreos, cobertura y diversidad, e incluyen el porcentaje de superficie que provee agua en el parque, así como la cobertura artificial, es decir, el porcentaje de área impermeable, y por último, la distancia (km) al hábitat fuente (anillo verde o bosque). Sus resultados

muestran que los parques más funcionales son los que más cercanos se encuentran al hábitat fuente, con mayor extensión y diversidad de estratos arbóreos.

Morales *et al.* (2018) utilizaron indicadores ambientales para AV a nivel de distrito en dos ciudades de Costa Rica, y determinaron su funcionalidad también con base en la avifauna. Los autores afirman que aquellas AV con menor funcionalidad son las AV de menor tamaño, con baja superficie de pastos y arbustos, cuyos árboles son pocos y de altura baja, cuyo abastecimiento de agua que se les da es mínima. Por tanto, concluyen que las AV que analizaron no son funcionales para las aves nativas, sino que favorecen a especies exóticas, como *Columba livia*, una especie invasora. También evaluaron la accesibilidad, de la que sus resultados revelan que aquellos parques que ofrecen un mayor acceso son los más utilizados y los que presentan una mejor calidad y mayor seguridad.

Estos mismos autores consideran que una de las ventajas de aplicar indicadores ambientales fue la posibilidad de contar con una base de análisis para las AV, lo cual permitiría una toma de decisiones para su mejoramiento, y a su vez, se podrían iniciar líneas de investigación. Una desventaja considerada por Morales *et al.* (2018) es que únicamente valoraron el aspecto ambiental de las AV, por lo que mencionan que es necesario implementar otras variables a fin de tener una visión integral del verdadero estado de las AV.

En 2006, García y Guerrero utilizaron diez indicadores para la evaluación del parque urbano Monte Calvario de la ciudad de Tandil, Argentina, entre los cuales se encuentran la superficie cubierta por vegetación, cuyos valores son aceptables y

medios, por lo que presentan una situación "buena", que aporta en el control del impacto antropocéntrico, y brinda un espacio adecuado para la realización de actividades de esparcimiento para los habitantes.

La urbanización avanza en la Ciudad de México con tal velocidad que es fundamental mejorar la gestión de las áreas verdes para conservar y aumentar su biodiversidad y los servicios ambientales que generan. Es indispensable conocer el patrón espacial de las áreas verdes para entender cómo van cambiando y realizar un monitoreo y evaluación de sus funciones y calidad, actividades esenciales para su manejo y conservación.

En la literatura especializada no se han encontrado análisis de funcionalidad de las áreas verdes en la Ciudad de México, así como en otras ciudades dentro y fuera del país. Sin embargo, sí se han realizado diversos trabajos en estas áreas. En primer lugar, se han realizado inventarios de la diversidad biológica, tales como los de Chimal y Corona (2016) y SEDEMA (2018). En relación con la vegetación, los estudios realizados abordan la riqueza y diversidad. Por ejemplo, Cano *et al.* (2008) trabajaron con tres áreas de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, donde además de la riqueza, analizaron el valor de conservación de éstas con base en ocho parámetros, entre los que se encuentran la riqueza florística y el área conservada estimada. Saavedra *et al.* (2019) también utilizaron el índice de valor de importancia, además de la diversidad y estructura arbórea, en el Bosque San Juan de Aragón.

Para poder realizar un análisis espacial de las áreas verdes es necesario estimar distintas variables (tamaño, forma, distribución, estructura y funcionamiento de los

ensambles biológicos que albergan), lo que permite realizar planes de conservación e incremento de biodiversidad (Peña, 2009; de la Barrera *et al.*, 2016). Aunado a esto, también resaltan la importancia del diagnóstico fitosanitario por ser una herramienta para el conocimiento de la vegetación Meza *et al.* (2017).

En cuanto a este diagnóstico hay distintos estudios. En el Bosque San Juan de Aragón, también se realizó un diagnóstico y caracterización del arbolado, realizados por Velasco *et al.* (2013). En este trabajo se detectó una baja diversidad de especies. Zaragoza *et al.* (2014) evaluaron la salud del arbolado con el indicador de condición de copa de árboles de tres parques de la Ciudad de México en las alcaldías Iztacalco, Azcapotzalco y Coyoacán. Guzmán *et al.* (2011) y Reséndiz *et al.* (2015) llevaron a cabo un diagnóstico fitosanitario del arbolado del Parque Cultural y Recreativo Tezozómoc, Azcapotzalco, así como una revisión de las condiciones físicas y determinar su estado. En el Bosque de Chapultepec también se ha realizado este diagnóstico; tal es el caso de Cervantes *et al.* (2019), donde valoraron la condición fitosanitaria en la tercera sección del Bosque de Chapultepec.

En este reto por conocer e implementar medidas de gestión del arbolado urbano en nuestra ciudad, el diagnóstico fitosanitario es una de las herramientas más eficaces, ya que el conocer el número de ejemplares con daño permite determinar aquellos beneficios ambientales, sociales y económicos que ofrecen. Por otro lado, este diagnóstico permite conocer su estado específico de salud, agentes y zonas de daño, así como relaciones plaga-especie y plaga-entorno. Por tanto, es posible dar

recomendaciones generales para el manejo de las áreas verdes urbanas (AVU) durante todo el proceso de su intervención de mejora (Meza, 2017).

Por otra parte, la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT) (2018) y SEDEMA (2018) cuentan con Sistemas de Información Geográfica (SIG) donde brindan datos sobre la ubicación y extensión de las áreas verdes de la Ciudad de México, así como censos de arbolado, e índices de cobertura vegetal y de superficie AV por alcaldía y por habitante.

Actualmente las áreas verdes son necesarias para garantizar la sustentabilidad en las zonas urbanas por los distintos servicios ambientales que brindan (Larios, 2010; PAOT, 2010). Sin embargo, en México las áreas verdes continúan sujetas al equipamiento urbano, es decir, son consideradas infraestructura y no un servicio en sí, por lo que son consideradas prescindibles (Ojeda y Espejel, 2014).

Aunada a esta concepción, se suma el problema de la carencia de investigación realizada hasta la fecha para asegurar unos principios sólidos en el manejo de la naturaleza (Herrera, 2008). En la Ciudad de México, la falta de áreas verdes es evidente, pues a pesar de cuantificar aquella de parques, jardines y glorietas, se tiene como resultado una relación de apenas 2.3 m<sup>2</sup> de área verde por habitante; y las dimensiones y características de la ciudad reducen las posibilidades de aumentarlas (Meza y Moncada, 2010; Meza, 2017).

El presente proyecto pertenece al ámbito de la ecología urbana, aplicado al estudio de áreas verdes de la Ciudad de México, que pudiera facilitar su manejo, conservación y fomento.



Estos parques y jardines son las principales infraestructuras de soporte de la biodiversidad dentro de las ciudades, las cuales también albergan una fuerte actividad social y representan un reservorio cultural (Herrera, 2008). La importancia de los árboles se debe a que son los elementos estructurales de las áreas verdes y a los servicios ambientales que brindan, por lo que es necesario realizarles un inventario y un diagnóstico de salud. Esto es posible a través de un diagnóstico fitosanitario, que sirva como base para el desarrollo de un índice de funcionalidad para la toma de decisiones acerca de la gestión, recuperación y/o mejoramiento de las áreas verdes por parte de las autoridades correspondientes.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es el estatus ecológico y fitosanitario de las comunidades arbóreas en áreas verdes de la Ciudad de México?

## **HIPÓTESIS**

Si los rasgos espaciales, ecológicos y fitosanitarios de las áreas verdes urbanas, en conjunto con indicadores de bienestar socioeconómico y demográficos de las poblaciones que las utilizan definen su funcionalidad, se espera que demarcaciones territoriales con condiciones distintas de dichos indicadores en estas áreas verdes, presenten diferencias de funcionalidad.

## OBJETIVOS

### General

Evaluar y comparar el estado ecológico y fitosanitario de las comunidades arbóreas de áreas verdes de la Ciudad de México. Se espera que el resultado, en conjunto con otras variables de índole socioeconómico y demográfico sea el fundamento para el desarrollo de un índice de funcionalidad de un área verde, que sirva de base para su gestión, mejoramiento y recuperación.

### Específicos

1. Caracterizar áreas verdes de la Ciudad de México en términos espaciales (ubicación, forma, tamaño, distribución y conectividad) y de los asentamientos humanos en su vecindario (presión demográfica).
2. Caracterizar la estructura (composición de especies, abundancia, riqueza y diversidad) de las comunidades arbóreas establecidas en áreas verdes de la Ciudad de México.
3. Desarrollar un índice para estimar la funcionalidad de un área verde.
4. Proponer estrategias que puedan ponerse en práctica para mejorarlas.

## MÉTODO

### Consideraciones metodológicas

Ya que por motivos de la contingencia a causa del Covid-19 no fue posible realizar el trabajo de campo, que habría consistido en la realización del diagnóstico fitosanitario directamente en las áreas verdes, se optó por obtener información de otras fuentes. Los datos fitosanitarios fueron recuperados de la Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial (PAOT, 2018), que incluyen altura, diámetro a la altura del pecho (DAP) y condición fitosanitaria de cada individuo censado. La PAOT realiza estos diagnósticos fitosanitarios -con ubicación geográfica de cada individuo- desde el 2012 en diversos parques, jardines públicos, camellones, y avenidas; los cuales han ayudado a su gestión en asociación con los vecinos, con la finalidad de preservarlos y no disminuir la superficie verde en la ciudad.

### Área de estudio

El área de estudio se circunscribe a ocho áreas verdes públicas de la Ciudad de México (Cuadro 1) elegidas de entre aquellas disponibles en la plataforma de la PAOT (2018), procurando cubrir AV con características diferentes.

**Cuadro 1.** Ubicación de las áreas verdes seleccionadas.

<b>NOMBRE</b>	<b>LAT</b>	<b>LONG</b>	<b>CLAVE AGEB</b>	<b>ALCALDÍA</b>
Alameda Central (AC)	19.44	-99.144	733	Cuauhtémoc
Prados Coapa (PC)	19.30	-99.133	229	Tlalpan
México (MEX)	19.41	-99.1698	1197	Cuauhtémoc
Amistad México-Japón (AMJ)	19.41	-99.1765	1426	Cuauhtémoc
Hundido (H)	19.38	-99.179	577	Benito Juárez
Corpus Christi (CC)	19.47	-99.1223	181A//1824	Gustavo A. Madero
Allende (A)	19.35	-99.1623	086A	Coyoacán
La Bombilla (LB)	19.35	-99.1862	1133	Álvaro Obregón

## **1.- Análisis espacial**

A partir de imágenes satelitales y Sistemas de Información Geográfica se realizó un análisis espacial de las áreas verdes a nivel de Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB<sup>1</sup>).

La estructura del paisaje (composición y configuración) puede ser cuantificada a través del uso de Sistemas de Información Geográfica y de un conjunto de métricas de la ecología del paisaje. La información derivada se conforma de valores numéricos que por sí solos no tienen valores determinantes, pero que pueden aportar información una vez puestos en comparación para vislumbrar cambios producidos en uno o más paisajes, o simplemente para hacer una descripción de este (Aguilera, 2010). La Ecología del Paisaje busca comprender la estructura, función y cambio del paisaje, y el desarrollo de los SIG ha brindado múltiples herramientas de análisis para su gestión.

---

<sup>1</sup> Extensión territorial que corresponde a la subdivisión de las áreas geoestadísticas municipales. Constituye la unidad básica del Marco Geoestadístico Nacional y, dependiendo de sus características, se clasifican en dos tipos: rural o urbana (INEGI, 2014).

Se realizó un análisis espacial de las áreas verdes públicas: parques, jardines o plazas y camellones, de cada AGEB a la que pertenecen los parques seleccionados, mediante el software QGIS v3.16.11 *Hannover*, y la extensión *Landscape Ecology Statistics* (LecoS) basada en métricas de FRAGSTATS (McGarigal *et al.*, 2012), que trabaja con capas vectoriales y ráster. Las variables espaciales consideradas para este análisis son: conectividad, distribución, forma y superficie de las AV en cada AGEB.

La configuración del paisaje puede describirse a través del número de parches (NP por sus siglas en inglés *Number of Patches*), y es la métrica más simple para determinar qué tan fragmentado está un paisaje. Este número además puede afectar diversos procesos ecológicos en un hábitat, por ejemplo, alterando las interacciones de especies. A pesar de esto, por sí sola esta métrica no tiene un gran valor interpretativo; sin embargo, es la base para el cálculo de otras métricas que pueden ser más interpretables (Aguilera, 2010; McGarigal y Marks, 1995).

La fragmentación del hábitat provoca una pérdida de biodiversidad, surgiendo de aquí la necesidad de gestionar paisajes completos y no solo sus componentes (McGarigal y Marks, 1995). Existen tres nuevas métricas para estimar la fragmentación del paisaje: división (*Division, D*), índice split (*Splitting index, S*) y el tamaño efectivo de malla (*Effective mesh size, m*). Para este trabajo, la conectividad se evaluó mediante el grado de división del paisaje (degree of landscape *division* “*DIVISION (D)*”), definida como “la probabilidad de que dos lugares elegidos al azar en el paisaje bajo investigación no estén situados en la misma área no seccionada” (Jaeger, 2000), cuyos valores son

$0 \leq D \leq 1$ .  $D = 0$  cuando el paisaje consta de un solo parche, y se acerca a 1 a medida que este se va fragmentando, disminuyendo la conectividad.

La distribución de las AV dentro de las AGEBS en estudio se evaluó mediante el índice de vecino más próximo (*Nearest neighbour index* “NNI”). Existen tres posibles patrones de distribución (Arenas, 2022):

- Aleatorio. Valores próximos a 1. Los puntos no tienen una estructura definida.
- Agrupado. Valores próximos a 0. Los puntos se encuentran agrupados en ciertas zonas.
- Regular. Valores próximos a 2. Los puntos están alejados entre sí y distribuidos de forma constante.

La interacción de la forma y el tamaño del parche puede influir en una serie de procesos ecológicos importantes; principalmente está relacionada con el efecto de borde. Es difícil cuantificar la forma de manera concisa en una métrica. En la Ecología del paisaje frecuentemente se utiliza la dimensión fractal (FRAC) para determinar la forma de los parches (McGarial y Marks, 1995). Así, la forma de las AV se evaluó a través del índice de dimensión fractal (Fractal dimensión index “FRAC”), el cual refleja su complejidad. Sus valores son  $1 \leq \text{FRAC} \leq 2$ . Valores de FRAC cercanos a 1 es un indicador de parches de forma simple, y cercanos a 2 para formas con perímetros intrincados.

## 2.- Caracterización poblacional

El estado socioeconómico de las poblaciones asentadas en las AGEB en donde se ubican las AV de estudio se obtuvo a través del Índice de Desarrollo Social (IDS) y el demográfico, del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2011). El IDS, publicado en el año 2011 por el Consejo de Evaluación del Desarrollo Social del Distrito Federal, sustituye al grado de marginación para conceptualizar cómo se rige la política social para abatir rezagos y garantizar la progresividad (Consejo de Evaluación del Desarrollo Social del D.F., 2011). Este índice utiliza seis indicadores para su cálculo: calidad y espacio de la vivienda, acceso a Salud y Seguridad Social, Rezago educativo, Bienes Durables, Adecuación sanitaria y Adecuación energética.

El inventario de áreas verdes urbanas es una herramienta para su gestión, que posibilita la identificación, cuantificación y caracterización de cada una de ellas. De acuerdo con datos censales del 2020 (INEGI, 2021) e imágenes satelitales de *Google Satellite Hybrid* se obtuvo el índice de superficie verde por habitante de cada AGEB en estudio a través del software QGIS.

$$AVC = A/B$$

Donde:

AVC = Superficie de áreas verdes per cápita

A = Extensión total de áreas verdes urbanas para un territorio (AGEB) y un año (2020) específico.

B = Población urbana total para el territorio en un año específico.



### **3.- Estructura de las comunidades arbóreas**

Se caracterizó la estructura (composición, abundancia) y diversidad alfa de árboles y plantas de porte arbóreo de las ocho áreas verdes de la Ciudad de México. La diversidad alfa se estimó a través del índice de Simpson ( $\lambda$ ) con ayuda del software PAST 4.06 b.

Inicialmente se estableció tomar datos de los diagnósticos fitosanitarios realizados por la PAOT (2018) de 300 árboles al azar de cada parque. Los árboles del parque Prados Coapa se muestrearon en su totalidad, ya que son poco más del número establecido (354 individuos); mientras que los parques Allende y AMJ también se muestrearon en su totalidad por tener apenas 179 y 63 individuos, respectivamente. Los individuos no identificados no están incluidos en los índices de diversidad.

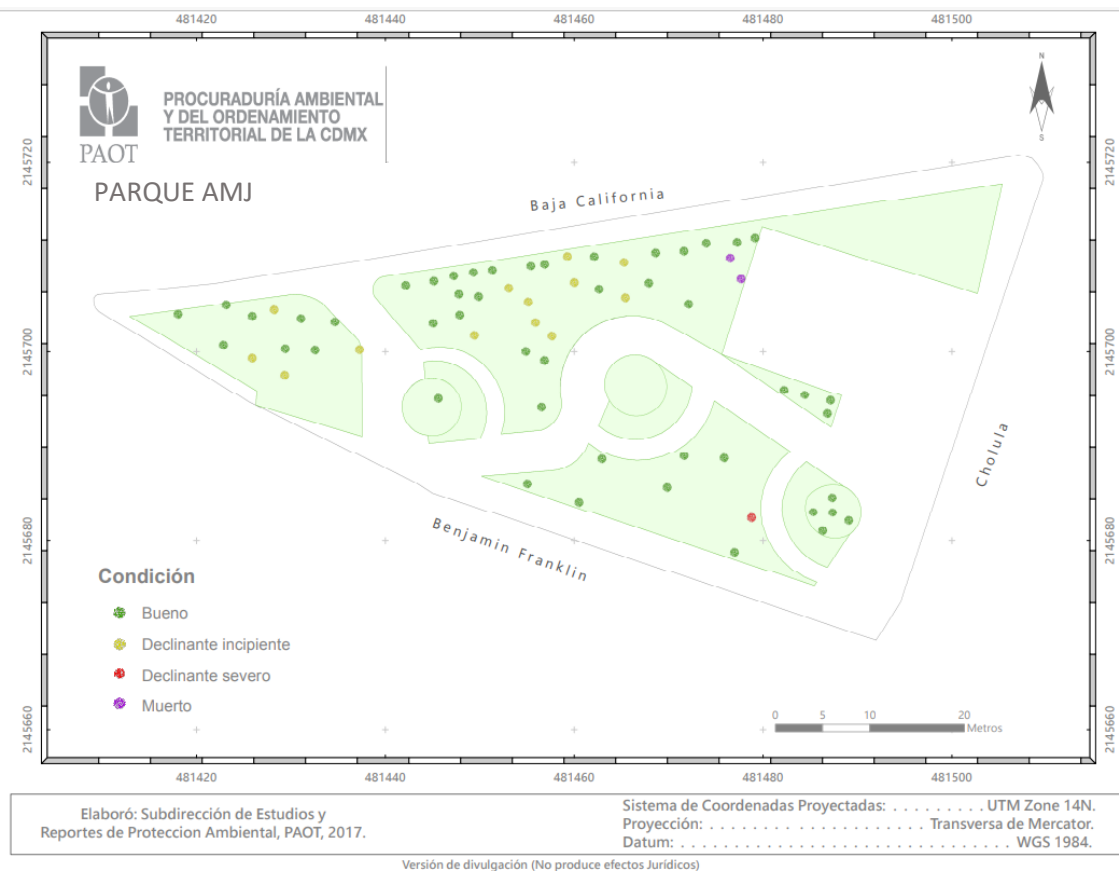
Se realizó la lista de especies arbóreas y arborescentes analizadas en el presente trabajo, se actualizó y agregó el grupo y familia taxonómica, así como el nombre común.

### **4.- Salud del arbolado**

De acuerdo con Meza *et al.* (2017), la salud del arbolado se puede determinar a través de un diagnóstico fitosanitario, el cual es una herramienta que mide diversos parámetros, dando lugar a que funcione como un indicador de sostenibilidad.

Los datos del estado fitosanitario también fueron recuperados de la PAOT (2018), que incluyen nombre del ejemplar, altura, diámetro a la altura del pecho (DAP) y condición fitosanitaria de cada individuo (Figura 1).

**Figura 1.** Ejemplo del mapa interactivo en línea creado por la PAOT sobre el diagnóstico fitosanitario del parque de la Amistad México-Japón. Se representa cada árbol con un punto; el color indica su condición fitosanitaria. La especie del ejemplar, DAP y altura se despliegan una vez que el cursor está sobre el punto (PAOT, 2018).



La PAOT (2011) evalúa el estado general del arbolado basándose en las condiciones de estrés a las que está sometido (deshidratación, falta de nutrientes, vandalismo) y en la presencia de plagas distribuida en el área verde. Tiene cuatro categorías para clasificarlo:

**Bueno:** Organismo arbóreo que no presente raíces expuestas en demasía, cavidades, grietas o desgajes presentes en un 40% en tronco y ramas, anclaje débil y, por tanto que muestre una estructura natural bien distribuida y estable, así como follaje vigoroso.

**Regular:** Organismo que puede tener más de una de las condiciones mencionadas en el párrafo anterior siempre y cuando, estas no pongan en peligro la salud de los demás. Se caracterizan por tener una condición media de vigor, con daños menores de insectos o enfermedades, por problemas fisiológicos reflejados en la calidad del follaje, etc. Pueden mostrar daños mecánicos menores, plaga o enfermedades, pero la muerte no es inminente.

**Malo:** Árbol que presenta anclaje débil, inclinación mayor del tronco a los 45° o alguna fitopatología en la madera (de más del 51% en tronco ramas y raíces), o que se encuentre moribundo. También se consideran a todos aquellos individuos que representen un riesgo inmediato a los usuarios del parque y/o sea necesario su retiro.

**Muerto:** Árbol seco con acción de manejo de derribo.

En 2017 la PAOT crea una nueva clasificación y agregan categorías, resultando las siguientes:

**Muy Buena:** Se refiere a un árbol de estructura completa, vigoroso, saludable que solo requiere actividades de mantenimiento para su conservación.

**Buena:** Se refiere a un árbol con afectaciones no significativas que requiere actividades mínimas de manejo para mejorar su estructura y condición.

**Declinante Incipiente:** Se refiere al estado general del árbol, el cual muestra daños mecánicos, insectos o enfermedades y es susceptible de mejorar.

**Declinante Severo:** Se refiere al estado general del árbol el cual presenta follaje escaso inferior al 30%, pérdida de la turgencia en las yemas, abundante presencia de ramas secas y debilitamiento progresivo de su estado fitosanitario.

**Muerto:** Árbol que se encuentra seco, sin tener la capacidad de realizar sus procesos biológicos y/o fisiológicos.

La condición de los individuos registrados por la PAOT (2018) incluyen AV con las cuatro y cinco categorías, las cuales fueron ajustadas a cuatro: bueno, regular, malo y muerto, a las que se les asignó un valor: 4, 3, 2 y 1, respectivamente, para cuantificarla. Los datos se transformaron para quedar en una escala de 0 a 1, donde el 0 corresponde a individuos muertos y el 1 a individuos en buen estado fitosanitario.

## **5.- Funcionalidad del área verde**

Castro (2005) señala que una forma de analizar el sistema de áreas verdes urbanas es reducirlas a modelos prácticos que se integren fácilmente al sistema urbano para su mejor estudio y gestión. Utilizando modelos numéricos multivariados, se generó un índice de funcionalidad que permitió evaluar y comparar la calidad de las áreas verdes.

Los Análisis Multivariados comprenden técnicas estadísticas que analizan simultáneamente medidas múltiples de cada caso o individuo de interés. Estrictamente, muchas técnicas multivariadas son extensiones del análisis univariado y del bivariado; pero para que se consideren estrictamente multivariadas “todas las variables deben ser aleatorias y estar interrelacionadas de tal forma que sus diferentes

efectos no puedan ser interpretados separadamente con algún sentido” (Hair *et al.*, 1999).

Los análisis multivariados juegan dos roles básicos en la Ecología de comunidades: ayudan a encontrar estructura en los datos y generan un resumen relativamente objetivo y simplificado de los mismos, proporcionando un medio para la efectiva comunicación de resultados (Gauch, 1982).

Su aplicación en la estimación de factores como la calidad ambiental y el desarrollo sostenible permite elaborar indicadores sintéticos que resumen la información de una gran diversidad de datos, ya que hace uso de diversos indicadores simples que interfieren en su evaluación (Escobar, 2008).

Entre las técnicas multivariadas se encuentra el Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés), el cual es un “procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables correlacionadas en un conjunto menor de variables ortogonales (no relacionadas o independientes) entre sí, llamadas componentes principales, que tienen como fundamento explicar la mayor parte posible de la varianza contenida en los datos originales” (Escobar, 2008). Los componentes principales son el resultado de combinaciones lineales de las variables originales, y tienen la característica de estar incorrelacionadas entre sí (Yengle, 2012).

A partir de la caracterización geoespacial, denso-poblacional, económica y fitosanitaria de las áreas verdes seleccionadas se analizaron patrones espaciales de las mismas utilizando métodos de análisis multivariado (clasificación y ordenación) para determinar el estatus de cada AV, permitiendo integrar recomendaciones para su

mejoramiento.

El conjunto de factores registrados y analizados se integraron en una matriz multidimensional con el objetivo de extraer gradientes de variación significativos mediante el uso de un análisis de componentes principales centrado y estandarizado (Gauch, 1982). La ordenación de las AV a lo largo de los gradientes extraídos correspondería, al menos teóricamente, a su arreglo de acuerdo con su calidad y funcionalidad.

Se crearon dos parques hipotéticos, con el objetivo de definir casos extremos en el gradiente de funcionalidad. Así, se generó un parque hipotético con los mejores valores en las variables evaluadas, y otro con las peores. Esto con la finalidad de brindar la posibilidad de evaluar la funcionalidad e incluir dentro de este gradiente cualquier parque de la Ciudad de México a través del índice desarrollado en este trabajo. Esto bajo la suposición de que ningún AV presentaría valores del índice fuera del rango definido por los extremos mencionados.

Para los parques extremos -más y menos funcional- se tomaron los valores máximos y mínimos de la condición fitosanitaria, IDS, índice de Simpson y División. En el NNI se estableció una distribución regular (3) como valor máximo; y una aleatoria para el mínimo. Los valores para la superficie del AV se establecieron con base en el AV más grande de la CDMX, el Bosque de Chapultepec, para el máximo, y las AV más pequeñas, camellones, reportadas por la PAOT (2018) para el mínimo. Para los valores de la altura y DAP, corresponden a las medidas del árbol más grande reportado en CDMX. El número de pobladores en una AGEB para el parque más funcional

corresponde con uno bajo; en este caso fue 1, el cual es un número real reportado por INEGI en la CDMX. Sucede lo contrario para el parque menos funcional. El número más alto de pobladores reportado por INEGI en una AGEB fue de aproximadamente 30,000 habitantes, por lo que se redondeó a este valor. Con base en estos datos se determinó el índice de AV por habitante y la superficie de AV por AGEB.

Se realizó un PCA con el software PAST 4.06 b con una matriz de 13 variables en ocho parques (Apéndice II), con la finalidad de extraer aquel componente que explicara la mayor variación posible. El primer componente principal explica la mayor variación, y la ubicación de los parques dentro de este gradiente está definida por la siguiente ecuación:

$$PC1=[CeX1(x1) + CeX2(x2) + \dots + CeX13(x13)]$$

Donde:

CeXn = coeficiente estandarizado de la variable Xn

Xn = coeficiente de carga de la variable xn

Los resultados se re-escalaron de 0 a 10 a través de la fórmula:

$$\text{Valor re-escalado} = \left( \frac{\text{valor del PC1} + 5.49}{5.49 + 6.30} \right) * 10$$

De esta forma, la funcionalidad de un parque correspondería a una de las siguientes cuatro categorías, de acuerdo con el valor del índice de funcionalidad (IF) (que corresponde con la ecuación del PC1) estimado:

- i) Funcionalidad baja: 0 - 2.50
- ii) Funcionalidad media-baja: 2.51 – 5.00
- iii) Funcionalidad media-alta 5.01 - 7.50
- iv) Funcionalidad alta: 7.51 – 10.00

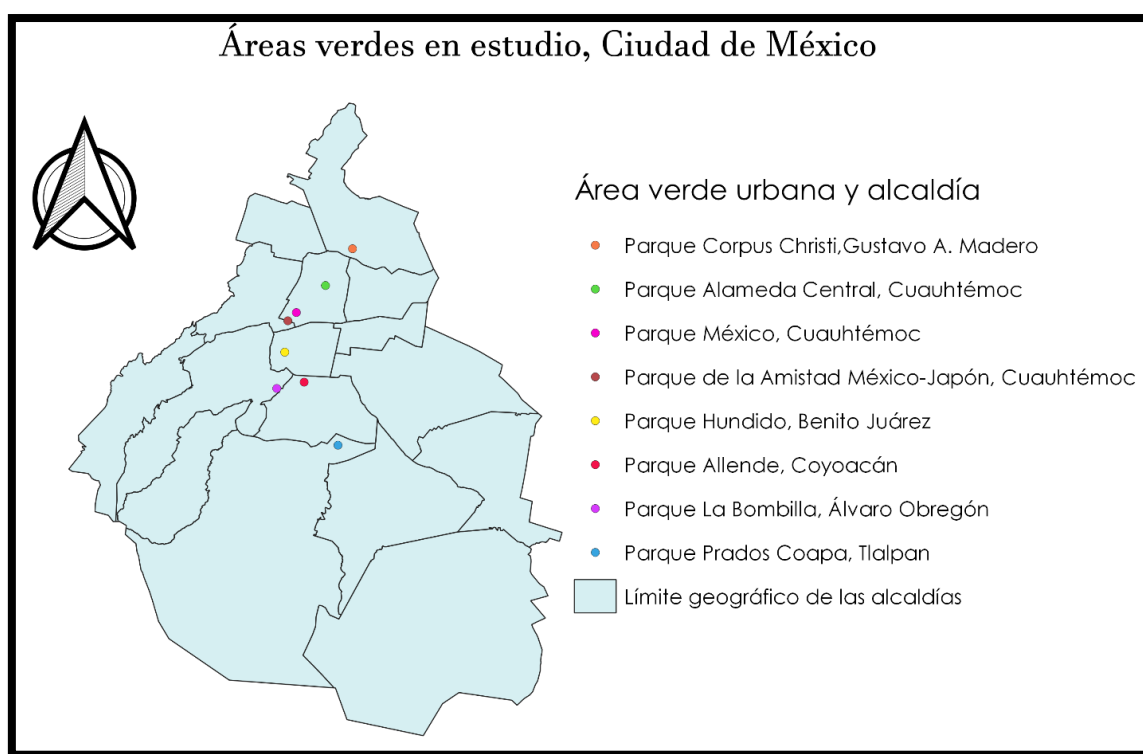


## RESULTADOS

### 1.- Análisis espacial de las áreas verdes

El área de estudio se circunscribe a ocho áreas verdes públicas de la Ciudad de México ubicada al centro del país, con una extensión de 1,494.3 km<sup>2</sup> (Figura 2). Estas áreas verdes públicas son parques ubicados a lo largo de seis alcaldías entre el centro y norte de la ciudad.

**Figura 2.** Ubicación de las áreas verdes estudiadas en las alcaldías de la CDMX.



Los resultados de la métrica DIVISION muestran que las AV de la AGEB (paisaje) donde se encuentra el parque Alameda Central son las menos fragmentadas y, por tanto con mayor conectividad; mientras que las AV de la AGEB donde se encuentra el parque de la Amistad México-Japón son las menos conectadas entre sí (Cuadro 2).

Los valores obtenidos indican que las AV de tres AGEB (con los parques Alameda central, Parque México y Allende) están distribuidas regularmente, mientras que el resto lo están de forma aleatoria (Cuadro 2).

Los resultados muestran que los parches que constituyen las áreas verdes tienen formas simples (FRAC <2) (Cuadro 2). Los resultados de esta variable, al ser iguales para todos los parques, se descartaron para el análisis multivariado.

**Cuadro 2.** Resultados del análisis espacial. NP = número de parches; DIVISION = grado de división del paisaje; NNI = índice de vecino más próximo; FRAC = índice de dimensión fractal; sup par = la suma total de las superficies en m<sup>2</sup> de todos los parches (AV públicas) de cada AGEB en estudio. El nombre completo de las AV se presenta en el Cuadro 1.

AGEB	PARQUE	NP	DIVISION	NNI	FRAC	sup par (m <sup>2</sup> )
733	AC	3	0.03	2.74	1.27	87047.32
229	PC	11	0.69	1.57	1.19	28073.81
1197	MEX	13	0.67	1.78	1.15	107467.74
1426	AMJ	20	0.92	1.04	1.19	12290.30
577	PH	10	0.13	1.02	1.26	94262.46
181A//1824	CC	13	0.65	1.22	1.22	23795.81
086A	A	4	0.53	2.34	1.12	19468.15
1,133	LB	10	0.44	1.31	1.29	60270.13

## 2.- Caracterización poblacional

Datos de IDS por AGEB 2020

En la Ciudad de México existen cuatro estratos del índice de desarrollo social: alto (>0.881 a ≤ 0.933), medio (> 0.832 a ≤ 0.881), bajo (>0.778 a ≤ 0.832) y muy bajo (≥0.00 a ≤ 0.778). En las AGEB en estudio únicamente se encontraron tres estratos: bajo, medio y alto (ver Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Índice de Desarrollo Social y Estrato asignado a cada una de las ocho áreas verdes estudiadas. El nombre completo de las AV se presenta en el Cuadro 1.

<b>DELEGACIÓN</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>AGEB</b>	<b>IDS 2020</b>	<b>Estrato</b>
Cuauhtémoc	AC	733	0.79	Bajo
Tlalpan	PC	229	0.94	Alto
Cuauhtémoc	MEX	1197	0.90	Medio
Cuauhtémoc	AMJ	1426	0.92	Medio
Benito Juárez	H	577	0.94	Alto
Gustavo A. Madero	CC	18A/1824	0.92	Medio
Coyoacán	A	086A	0.94	Alto
Álvaro Obregón	LB	1133	0.95	Alto

#### Superficie de área verde

La AGEB con mayor superficie verde es la de Parque Hundido, y la segunda con más habitantes. A pesar de que la AGEB de Prados Coapa es la de menor superficie verde, al tener pocos habitantes tiene un valor de AV por habitante similar a la de Parque Hundido. Las AGEB de Parque México y Alameda Central son los que presentan un mayor índice de superficie de AV por habitante. En el caso de AC se debe a que se registran muy pocos residentes y no porque la superficie de AV sea extensa. La AGEB con el menor índice de AV por habitante es la del parque Corpus Christi, pues es la que presenta mayor número de habitantes (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Índice de superficie de área verde (m<sup>2</sup>) por habitante de cada AGEB en estudio, en el año 2020.

<b>NOMBRE</b>	<b>AGEB</b>	<b>POB. 2020</b>	<b>SUP AV/AGEB</b>	<b>AV/HAB 2020</b>
Alameda Central	733	369	80761.32	218.87
Prados Coapa	229	1868	60792.74	32.54
México	1197	1206	129544.81	107.42
AMJ	1426	1401	52423.22	37.44
Hundido	577	6059	165051.92	27.24
Corpus Christi	181A/1824	7078	34987.28	9.89
Allende	086A	2670	114082.65	42.73
La Bombilla	1,133	2203	86291.32	39.17

### 3.- Estructura de las comunidades arbóreas

Se caracterizó la estructura (composición, abundancia [Apéndice I]) y diversidad alfa de árboles y plantas de porte arbóreo (arborescentes y palmas) de las ocho áreas verdes de la Ciudad de México.

El total de individuos analizados fueron 2090, y se distribuyen en 68 especies de 32 familias; ocho pertenecen al grupo de las gimnospermas y 60 a las angiospermas, de las cuales 52 son dicotiledóneas y ocho son monocotiledóneas.

Las especies más abundantes en las ocho áreas verdes fueron fresno *Fraxinus uhdei*, cedro blanco *Cupressus lusitanica*, trueno *Ligustrum lucidum* y jacaranda *Jacaranda mimmosifolia*, con 660, 222, 224 y 135 individuos, respectivamente (Apéndice I). Estas especies pertenecen a tres familias: Oleaceae (*Fraxinus uhdei* y *Ligustrum lucidum*), Cupressaceae (*Cupressus lusitanica*) y Bignoniaceae (*Jacaranda mimmosifolia*).

## Diversidad

El índice de diversidad de Simpson ( $1 - \lambda$ ) (Cuadro 5) presentó un valor máximo de 0.9 para el Parque Corpus Christi, lo que indica una alta diversidad y baja dominancia de especies. Los valores de diversidad más bajos los presentan el Parque Prados Coapa y el Parque AMJ (0.68 y 0.48, respectivamente), lo que significa que hay una dominancia alta. El resto de las áreas verdes presentan valores superiores a 0.8, indicando una diversidad alta.

**Cuadro 5.** Índice de diversidad de Simpson ( $1 - \lambda$ ) de cada una de las ocho áreas verdes analizadas.

Nombre	Simpson $1-\lambda$
Alameda Central	0.83
Prados Coapa	0.68
México	0.80
AMJ	0.48
Hundido	0.81
Corpus Christi	0.90
Allende	0.82
La Bombilla	0.84

## 4.- Salud del arbolado

La altura y DAP promedio, así como el error estándar, de los árboles censados dentro de cada área verde se muestran en el Cuadro 6. Los valores de la condición fitosanitaria van de 0.76 del parque Allende a 0.96 de Parque México (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Altura y DAP promedios de cada área verde, representados en metros, y valor de la condición promedio del arbolado de cada área verde.

NOMBRE	ALT PROM	ERROR EST	DAP	ERROR EST	CONDICIÓN
AC	9.71	1.04	0.19	0.03	0.91
PC	8.79	0.76	0.23	0.05	0.94
MEX	10.29	0.79	0.32	0.04	0.96
AMJ	3.80	0.83	0.33	0.17	0.84
H	1.69	0.12	0.01	0.00	0.82
CC	5.99	0.59	0.19	0.03	0.86
A	7.49	1.23	0.18	0.04	0.76
LB	7.11	0.55	0.24	0.02	0.92

## 5.- Funcionalidad de área verde

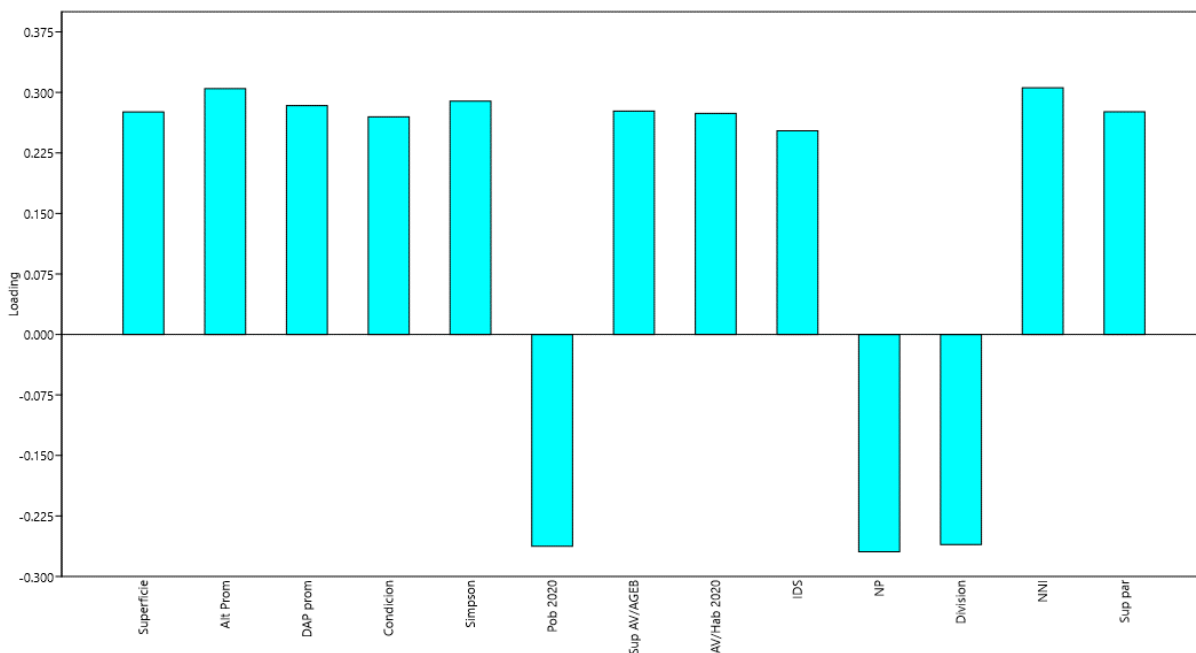
A partir del PCA con 13 variables (Apéndice II) se obtuvieron nueve componentes principales (Cuadro 7) y el coeficiente de carga de las variables (Figura 3, cuadro 8).

La varianza explicada a partir del cuarto componente es muy baja, mientras que el primero explica el 62.1% de la variación total (Cuadro 7, Figura 4), por lo que se seleccionó para determinar el índice de funcionalidad.

**Cuadro 7.** Eigenvalores y porcentaje de varianza explicada por cada componente principal del PCA.

PC	Eigenvalor	% varianza
1	8.079	62.147
2	3.604	27.721
3	0.604	4.649
4	0.487	3.746
5	0.132	1.019
6	0.081	0.624
7	0.008	0.059
8	0.004	0.031
9	<0.001	0.003

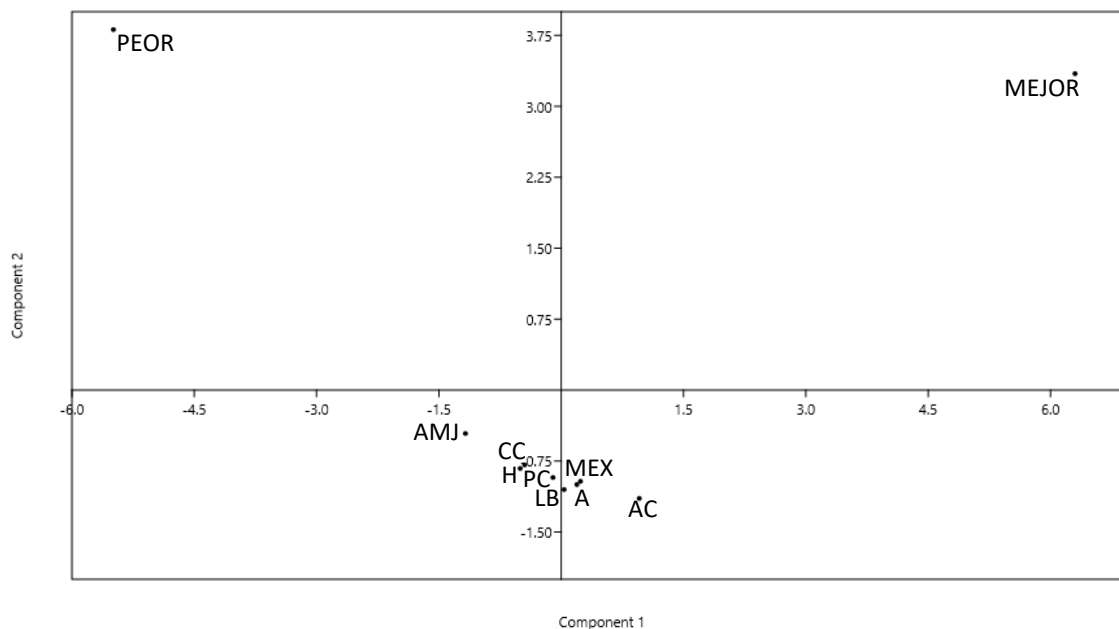
**Figura 3.** Coeficientes de cada variable para el primer componente principal.



**Cuadro 8.** Coeficientes (cargas) de cada variable en la definición del primer componente principal.

VARIABLE	COEFICIENTE
Índice del vecino más próximo (NNI)	0.31
Altura promedio	0.30
Diversidad de Simpson	0.29
DAP promedio	0.28
Superficie de AV por AGEB	0.28
Superficie de parches de AV	0.28
Superficie del AV (parque)	0.28
AV por habitante en el año 2020	0.27
Condición fitosanitaria	0.27
Índice de Desarrollo Social (IDS)	0.25
Grado de División del paisaje (D)	-0.26
Población en el año 2020	-0.26
Número de parches (NP)	-0.27

**Figura 4.** Diagrama de dispersión del PCA. El nombre completo de las AV se presenta en el Cuadro 1.



De acuerdo con el índice, los parques presentan una funcionalidad media-baja, excepto la Alameda Central, único parque con funcionalidad media-alta (IF = 5.47) (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Valor de IF para cada parque en el PCA y re-escalado del índice de funcionalidad para cada parque.

PARQUE	Valor PCA	IF
MEJOR	6.30	10
Alameda Central	0.96	5.47
México	-0.10	4.86
Allende	0.24	4.82
La Bombilla	-1.18	4.69
Prados Coapa	-0.50	4.57
Corpus Christi	-0.45	4.28
Hundido	0.19	4.23
AMJ	0.04	3.66
PEOR	-5.49	0



## **Variables en estudio**

### Índice del vecino más próximo

La variable más importante para definir el primer componente es el índice del vecino más próximo, cuyos valores más altos los tienen la Alameda Central y el parque La Bombilla; y los más bajos, parque Hundido y el parque Amistad México-Japón. Este índice es alto para la AC porque los parches de AV circundantes son muy cercanos; sin embargo hay que considerar que únicamente son dos en toda la AGEB y que son camellones, por tanto su superficie es reducida y el número de árboles es bajo. Por el contrario, la AGEB del parque AMJ, aunque con parches que también son camellones, tiene un número mayor de estos con una mejor distribución en su territorio.

### Altura del arbolado

La segunda variable más importante es la altura promedio, que en conjunto con el DAP promedio se refieren a las dimensiones de los individuos. El parque AMJ es el que tiene los árboles con el DAP más alto (33.48 cm); sin embargo, la altura es de las más bajas. Parque México tiene el valor más alto reportado en altura (10.2 m), y el segundo valor más alto (31.85 cm) de DAP. El AV con los valores más bajos de altura y DAP es Parque Hundido, tal como lo indican los datos bibliográficos de la PAOT (2018).

## Diversidad de especies

Respecto a la diversidad alfa, la tercera variable en importancia, Corpus Christi, Alameda Central y Allende son los tres parques con mayor diversidad en orden descendente, mientras que el parque menos diverso es AMJ.

## Superficie de área verde

Cuatro de las trece variables que definen el primer componente se refieren a la superficie de AV, con cargas prácticamente iguales (Cuadro 9). En cuanto a la superficie del parque, Alameda Central y Parque Hundido son los parques más grandes, mientras el parque AMJ es el de menor superficie. Referente a la superficie total de las áreas verdes públicas y la superficie verde total de cada AGEB a la que pertenece cada parque en estudio, los valores más altos son los de Parque México y Parque Hundido, mientras que las AGEB de los parques AMJ y Corpus Christi tienen los valores más bajos. Estos datos en conjunto con el número de habitantes arrojan el índice de superficie de área verde por habitante por AGEB. La AGEB de la Alameda Central es la mejor representada, mientras que el parque Corpus Christi es el del valor más bajo. El valor de la Alameda Central es alto; sin embargo, hay que tomar en cuenta que es una zona dedicada al comercio, concentrando un alto número de personas aunque el índice sea bajo porque los residentes son pocos.

## Condición fitosanitaria e Índice de Desarrollo Social

En cuanto a la condición fitosanitaria, los árboles de parque México y Prados Coapa son los que presentan mejor estado fitosanitario; los del parque Allende son los que se encuentran en peor condición.

Referente al IDS, la AGEB a la que pertenece el parque La Bombilla tiene un valor de 0.95, el más alto; sin embargo, Parque Hundido, Prados Coapa y Allende también se encuentran en este estrato. Los parques México, AMJ y Corpus Christi se encuentran en un estrato medio, mientras que únicamente la Alameda Central, cuyo valor es de 0.79, se ubica en un estrato bajo.

## Grado de división y Número de parches

Entre las últimas variables en importancia se encuentran el grado de división del paisaje (D) y el número de parches (NP). La AGEB con el valor más alto de D y el mayor número de parches es aquella a la que pertenece el parque AMJ (D=0.92 y 20 parches); mientras que aquella a la que pertenece la Alameda Central es la que menos parches presenta y la que tiene un valor D más bajo (tres parches; D=0.03). De acuerdo con los resultados del PCA, estas variables intervienen poco en el valor funcional de los parques.

## Parques

### Alameda Central

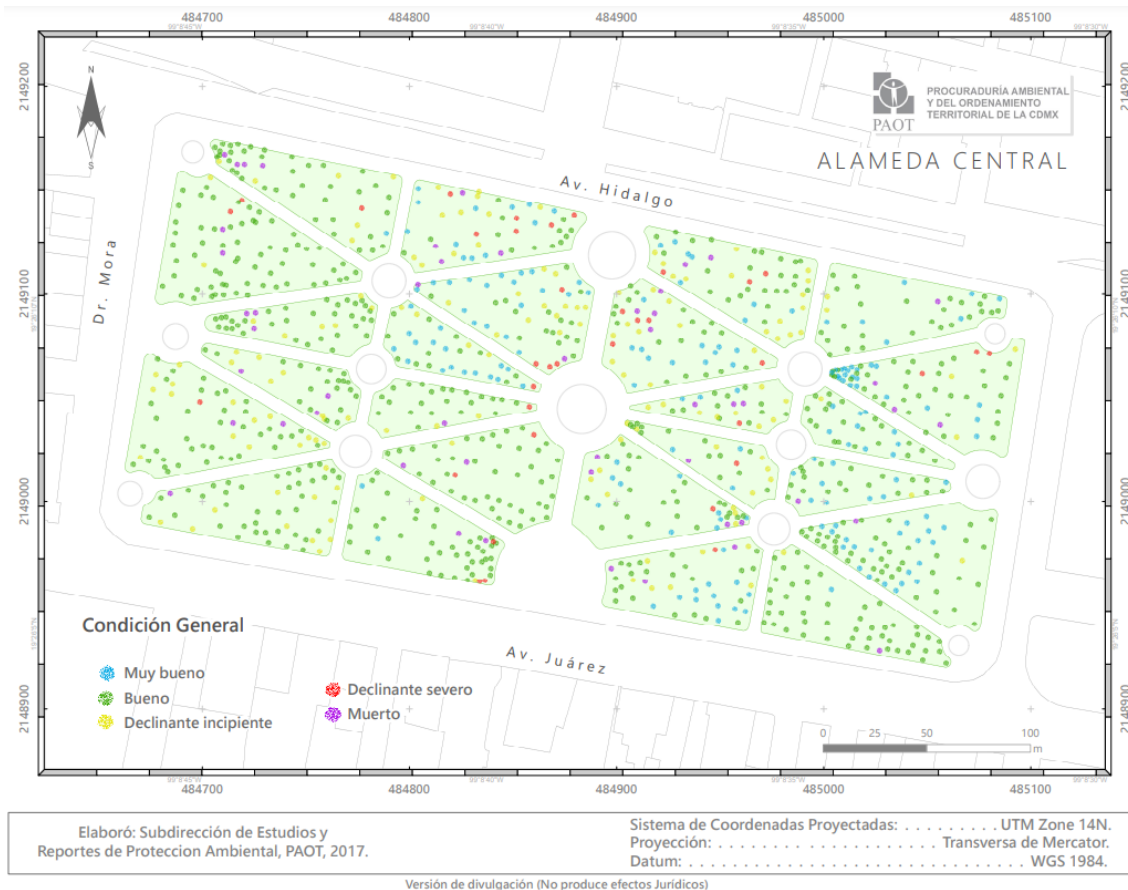
Este parque público, el más antiguo de América Latina, se encuentra en el Centro Histórico, entre las avenidas Hidalgo y Juárez. Fue construido en el siglo XVI y se considera un museo al aire libre, su nombre se debió a la presencia de álamos, sustituidos más tarde por sauces y fresnos (PAOT, 2018; Gobierno de la CDMX, s.f.).

El mapa de la PAOT (2018) muestra que solo hay árboles en buen estado y regular, siendo mínimos aquellos que se encuentran en mal estado o muertos (Figura 5). En cuanto a superficie es el parque más grande de los que se estudiaron, permitiendo un mayor albergue de especies, influyendo en la alta diversidad que posee ( $D=0.83$ ). El parque presenta un alto número de individuos distribuidos en toda la superficie, presentando algunas zonas de aglomeración. El DAP promedio de los árboles es de 19.44 cm, y la altura promedio es de 9.71 m, ya que en su mayoría son fresnos (*Fraxinus uhdei*), jacarandas (*Jacaranda mimmosifolia*) y grevileas (*Grevillea sp*). El valor del índice de superficie de área verde por habitante en la AGEB es el más alto ( $218.9 \text{ m}^2$ ) de todos los parques. Prácticamente la mitad del territorio de esta AGEB está representada por el parque Alameda Central; sin embargo, presenta una escasez de arbolado de alineación tanto en su interior como en sus alrededores, es decir, en las AGEB circundantes.

La Alameda Central forma parte de la Ley de Salvaguarda del Patrimonio Urbanístico Arquitectónico del D.F. (actualmente Ciudad de México) (LSPUA), cuyo valor de condición fitosanitaria del arbolado es de 0.91. El IDS de 0.79 coloca a la AGEB en un

estrato bajo, siendo la única excepción, ya que las demás AGEB se ubican en los estratos medio y alto. El índice indica que tiene una funcionalidad media-alta (IF=5.47), cuyo valor es el más alto reportado. Sin embargo, hay que considerar que el NNI es alto por la cercanía con únicamente dos AV más en toda la AGEB (Figura 6), y que el índice de AV/habitante es alto porque, al ser una zona dedicada al comercio, hay pocos residentes, por lo que su valor en el índice funcionalidad podría ser más bajo.

**Figura 5.** Estado fitosanitario del arbolado del parque Alameda Central.



**Figura 6.** AGEB 733 (polígono rojo) en donde se ubica el parque Alameda Central (AC) y los parches de áreas verdes públicas (malla amarilla).



#### Parque México

El parque General San Martín, mejor conocido como Parque México, se ubica entre la Avenida México y la Calle Michoacán de la Colonia Hipódromo, y fue construido en 1927 como parte de la evolución urbanística de la ciudad (Huerta, 2016; PAOT, 2018).

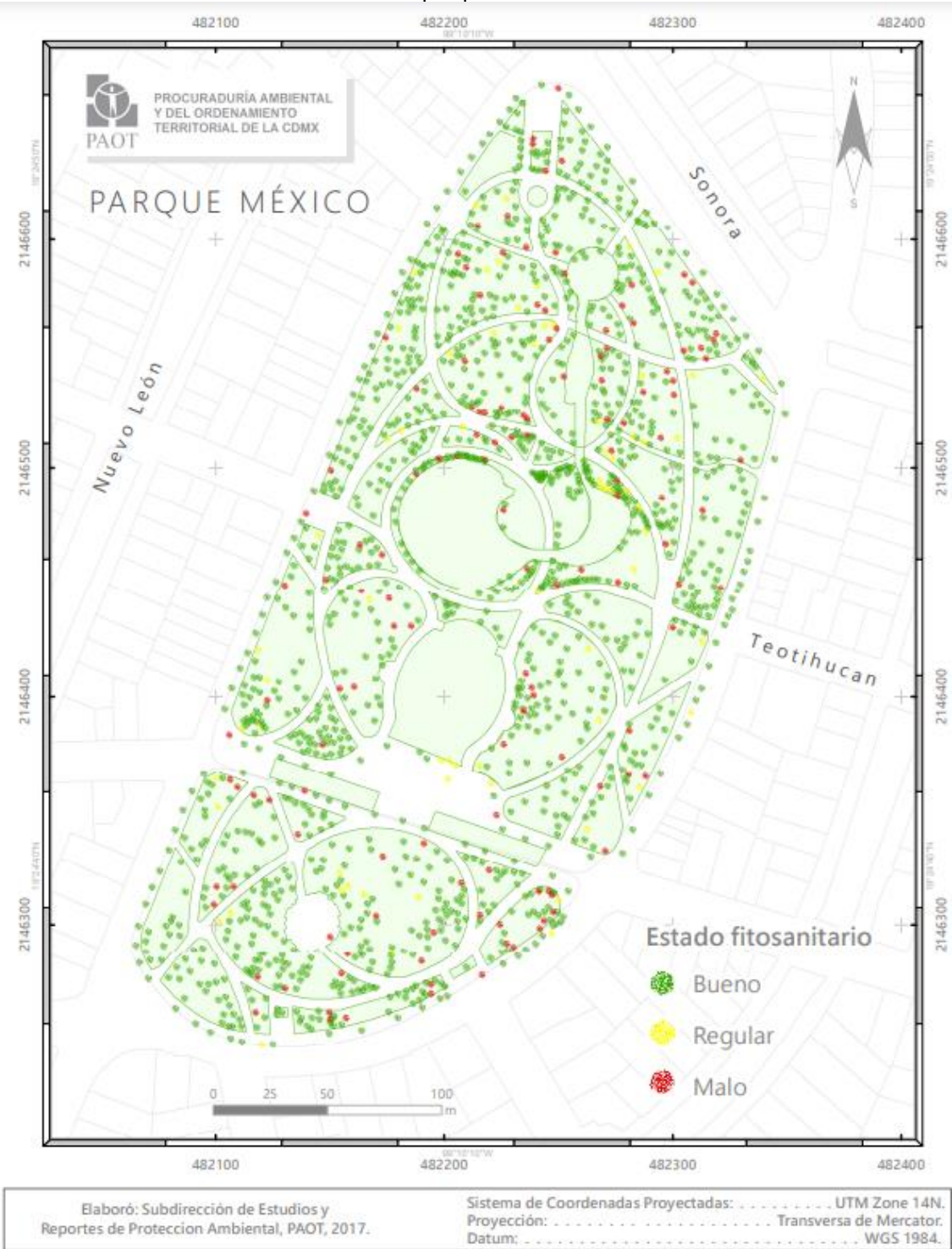
El parque México es el tercero más grande de los parques en estudio, y representa aproximadamente una tercera parte de la extensión total de la AGEB. En esta misma delimitación geográfica se encuentra el parque España, además de camellones arbolados (Figura 8), lo que resulta en una distribución regular de las áreas verdes (NNI = 1.78) y en un alto valor en la superficie de parches de AV públicas dentro de la AGEB (Figura 7).

Presenta una alta diversidad de especies ( $D = 0.8$ ), dentro de las cuales las más abundantes son *Fraxinus uhdei* (fresno) y *Ligustrum lucidum* (trueno); y el valor más

alto en condición fitosanitaria (0.96), reflejado en la Figura 7. En cuanto a dimensiones, los árboles más grandes están en este parque. Sin embargo, el índice de funcionalidad lo ubica por debajo de AC (IF = 3.53).



Figura 7. Estado fitosanitario del arbolado del parque México.



**Figura 8.** AGEB 1197 (polígono rojo) en donde se ubica el parque México (MEX) y los parches de áreas verdes públicas (malla verde).



**Figura 9.** Estado fitosanitario del arbolado del parque Hundido.





**Figura 10.** AGEB 577 (polígono rojo) en donde se ubica Parque Hundido (H) y los parches de áreas verdes públicas (malla morada).



### Parque Hundido

El Parque Luis Gonzaga Urbina, mejor conocido como Parque Hundido, se ubica en la esquina de las Avenidas Insurgentes y Porfirio Díaz, en la alcaldía Benito Juárez, y fue construido en 1930 (PAOT, 2018).

La distribución de los camellones y el mismo parque es aleatoria ( $NNI = 1.02$ ) (Figura 10) dentro de la AGEB, y sus diez parches dan una superficie total de AV públicas de  $94262.461 \text{ m}^2$  y de  $165051.9 \text{ m}^2$  de superficie verde total dentro de la misma.

La diversidad de especies que presenta es alta (0.81), cuya especie más abundante es *Cupressus lusitanica* (cedro blanco), seguida de *Fraxinus uhdei* (fresno). La condición fitosanitaria del arbolado es de 0.82; sin embargo, en la Figura 9 se muestra un alto número de ejemplares secos (puntos color morado); mientras que la altura

promedio que reporta la PAOT (2018) de estos árboles es de 1.69 m. Por tanto, su valor de funcionalidad es bajo (IF=4.23).

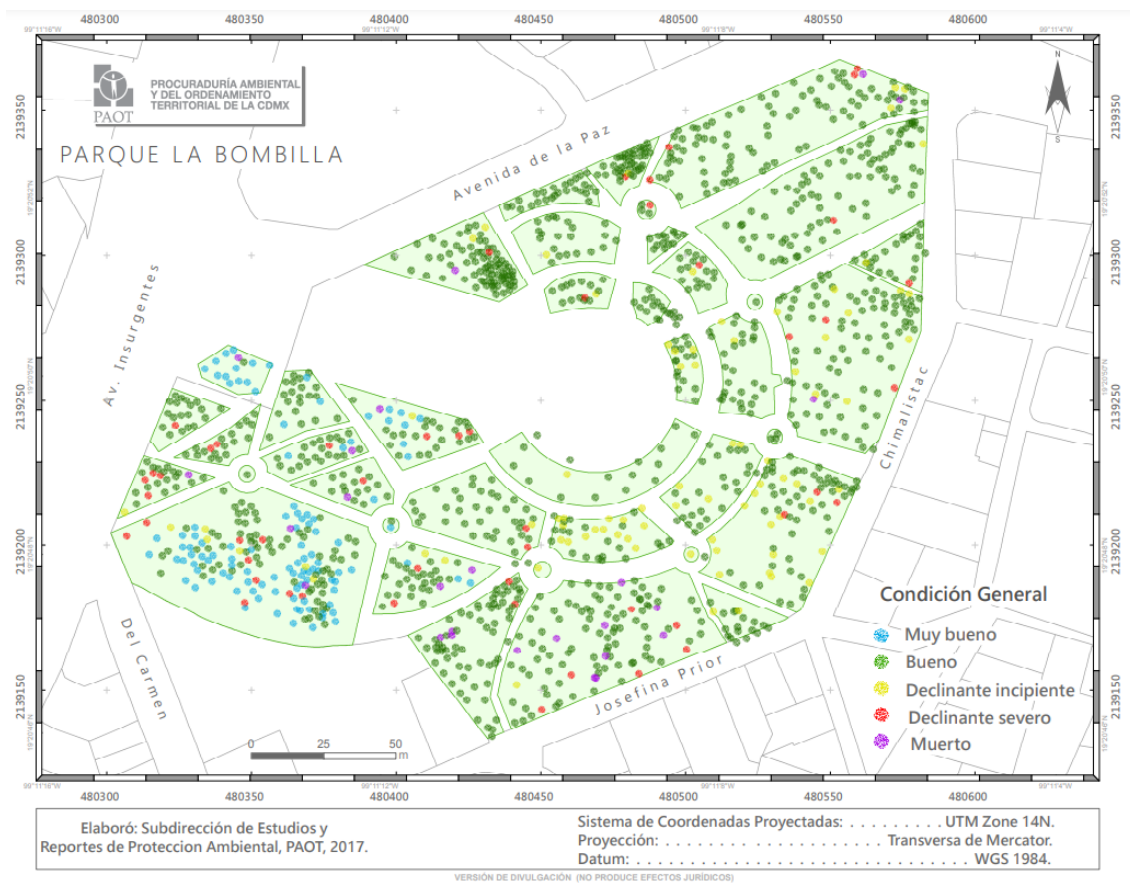
### Parque La Bombilla

Fue inaugurado en 1935, y se ubica en la alcaldía Álvaro Obregón, sobre las Avenidas Insurgentes Sur y de la Paz (PAOT, 2018).

La AGEB tiene una distribución aleatoria en sus AV (NNI = 1.31) (Figura 12), con una superficie en conjunto de 60270.13 m<sup>2</sup>, mientras que la superficie total de AV dentro de la AGEB es de 86291.3 m<sup>2</sup>, dando como resultado un índice de AV/habitante de 32.9 m<sup>2</sup>. Tiene un índice de diversidad alto (D = 0.84); *Fraxinus uhdei* y *Ligustrum lucidum* son las especies más abundantes.

El arbolado presenta una condición fitosanitaria buena (9.2) (Figura 11), cuyos árboles presentan una altura promedio de 7.11 m y un DAP de 23.54 cm. Sin embargo, al tener un grado de división paisajístico de 0.53, una superficie baja de parches de áreas verdes públicas (AV), de AV/AGEB y, por tanto, un índice de AV/habitante bajo comparado con parques como AC o MEX, el índice lo cataloga como un AV con funcionalidad baja (IF = 4.69).

**Figura 11.** Estado fitosanitario del arbolado del parque La Bombilla.



**Figura 12.** AGEB 1133 (polígono rojo) en donde se ubica el parque La Bombilla (LB) y los parches de áreas verdes públicas (malla rosa).



## Parque Prados Coapa

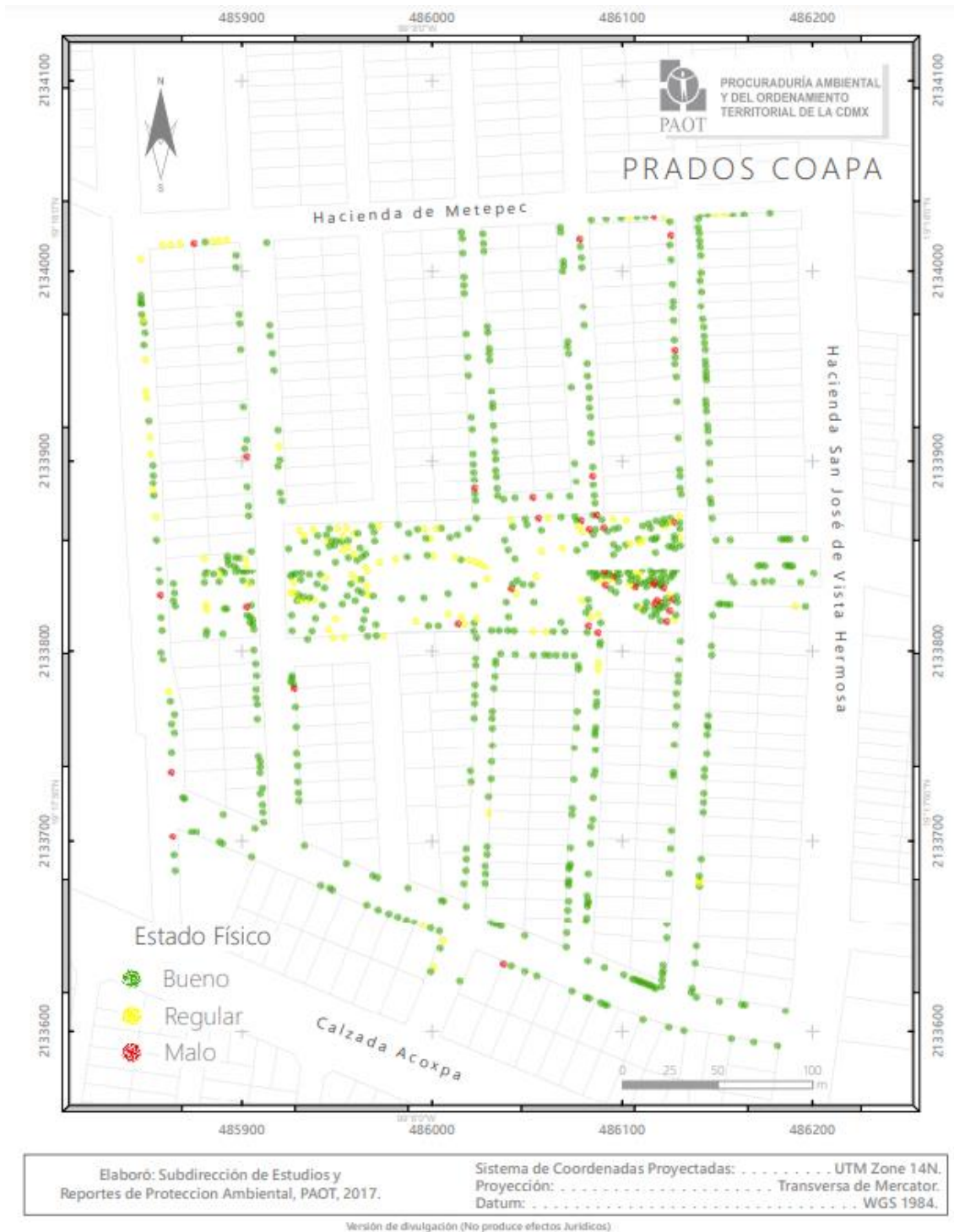
Este parque se ubica en la alcaldía Tlalpan, en la Colonia Prados Coapa 2ª sección, cuya urbanización dio comienzo en los años setenta (PAOT, 2018). Se encuentra entre las calles Hacienda Molino de Flores y Hacienda San José de Vista Hermosa.

PC tiene una superficie de 11819.38 m<sup>2</sup>, cuyos árboles presentan un estado fitosanitario alto (0.94) (Figura 14) y una altura promedio de 8.79 m; sin embargo, presentan una diversidad media de especies (0.68), de las que la más abundante es *Fraxinus uhdei*, seguida de *Schinus molle*.

La AGEB alberga además jardines y camellones arbolados (Figura 13), conformando once parches en total, cuyo NNI es de 1.57, dando un total de 28073.81 m<sup>2</sup>, que en conjunto con el arbolado viario dan como resultado un total de 60792.7 m<sup>2</sup> de AV. El índice de AV/hab es de 32.5 m<sup>2</sup> y su grado de división del paisaje es de 0.69. El parque tiene una funcionalidad media-baja de acuerdo con el IF (4.57).



**Figura 14.** Estado fitosanitario del arbolado del parque Prados Coapa y calles aledañas.



**Figura 13.** AGEB 229 (polígono rojo) en donde se ubica el parque Prados Coapa (PC) y los parches de áreas verdes públicas (malla amarilla).



#### Parque Allende

Este parque forma parte de los tres jardines históricos de la alcaldía Coyoacán. Se ubica en la Colonia del Carmen, entre las calles Xicotencatl y Malintzin. El 2017 fue intervenido por una remodelación, entre lo que incluyó un saneamiento del arbolado (PAOT, 2018).

El valor del índice es de 4.82, es decir, tiene una funcionalidad media-baja. Cuenta con una superficie de 3172.63 m<sup>2</sup>, y árboles con una altura promedio de 7.5m y un DAP de 18.41 cm, cuya condición fitosanitaria es de 0.76 (Figura 15), la más baja de los ocho parques. Su diversidad de especies es alta (0.82), siendo *Fraxinus uhdei* la más abundante, seguida de *Eucalyptus camaldulensis*.



Sus cuatro parches de superficie verde (Figura 16) suman un total de 19468.149 m<sup>2</sup> (el segundo valor más bajo de los reportados); cuyo grado de división paisajístico es de 0.53. El NNI (2.34) indica que se encuentran alejados entre sí y distribuidos regularmente. Estos parches, sumados a las AV privadas y arbolado viario, resulta en 114082.6 m<sup>2</sup> de AV total, y un índice de 42.7 m<sup>2</sup> de AV/hab.

Figura 15. Estado fitosanitario del arbolado del parque Allende.



**Figura 16.** AGEB 086A (polígono rojo) en donde se ubica el parque Allende (A) y los parches de áreas verdes públicas (malla blanca).



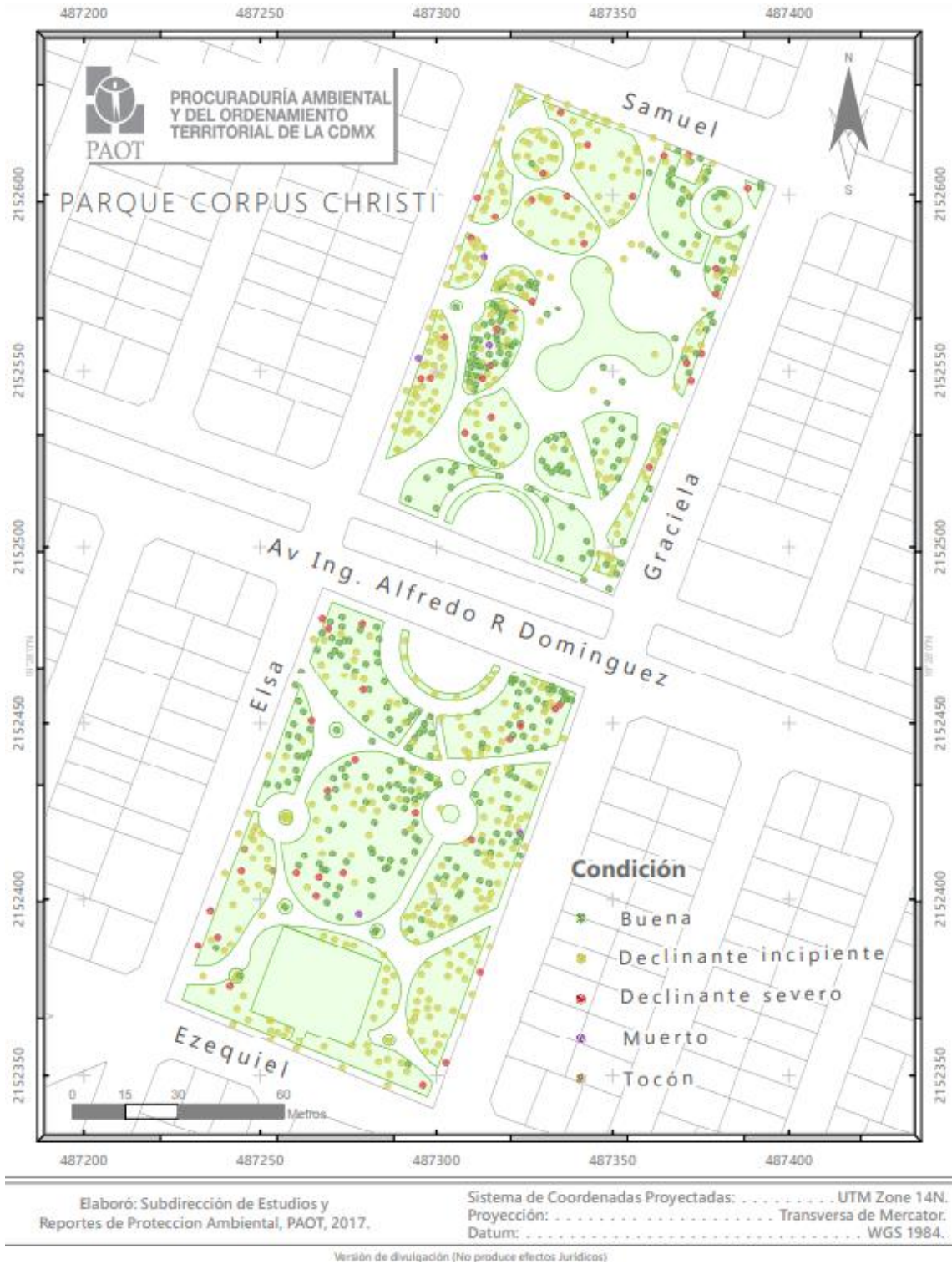
### Parque Corpus Christi

Este parque, ubicado en la colonia Guadalupe Tepeyac, en la alcaldía Gustavo A. Madero, fue remodelado completamente en el 2014, y sus áreas verdes fueron rehabilitadas (PAOT, 2018).

Posee una superficie de 21895.74 m<sup>2</sup>, y en conjunto con los camellones arbolados (Figura 18) tienen un grado de división paisajístico de 0.65 y una distribución aleatoria (NNI=1.22). La suma de las superficies de estos trece parches es de 23795.814 m<sup>2</sup>, aunado a la superficie del arbolado viario, da un total de 34987.28 m<sup>2</sup> de superficie de área verde dentro de las AGEBs, el valor más bajo de los parques en estudio. El índice de AV/habitante es el más bajo de los parques estudiados: 9.9 m<sup>2</sup>.

La altura promedio de los árboles es de 6 m y el DAP de 18.77 cm, cuya condición fitosanitaria es de 0.86 (Figura 17). La diversidad de especies es alta (0.90), siendo *Ligustrum lucidum* y *Cupressus lusitanica* las más abundantes. El valor del IF es de 4.28, posicionándolo en una funcionalidad media-baja.

Figura 17. Estado fitosanitario del arbolado del parque Corpus Christi.





**Figura 18.** AGEBs 181A y 1824 (polígonos rojos) en donde se ubica el parque Corpus Christi (CC) y los parches de áreas verdes públicas (malla morada).



#### Parque de la Amistad México-Japón

El Parque AMJ la Colonia Hipódromo, alcaldía Cuauhtémoc, sobre el eje 4 Sur Benjamín Franklin, entre calle Cholula y Baja California. Sus áreas verdes también recibieron rehabilitación en el 2017: una renovación del arbolado (PAOT, 2018).

Tiene 1707.9 m<sup>2</sup> de superficie. Tiene una diversidad de especies baja (0.48), y la altura y DAP promedios de sus árboles son de 3.8 m y 33.48 cm, respectivamente; mientras que su condición fitosanitaria es de 0.84. La Figura 19 muestra que la mayoría de sus árboles se encuentran en buen estado. La especie más abundante es *Fraxinus uhdei*: hay 45 individuos del total de 60 que alberga el parque.

La AGEB cuenta únicamente con camellones arbolados como áreas verdes públicas además de este parque (20 parches en total) (Figura 20), cuya distribución es aleatoria

dentro de la AGEB (NNI = 1.04), y su índice de división es el más alto reportado (0.92). La suma de las superficies de estas AV públicas es de 12290.3 m<sup>2</sup> (el valor más bajo reportado); y 52423.2 m<sup>2</sup> de AV total por AGEB al sumar el arbolado viario. El índice de AV/habitante es de 37.42 m<sup>2</sup>. Es el parque con el valor funcional más bajo de los estudiados (IF=3.66).

**Figura 19.** Estado fitosanitario del arbolado del parque de la Amistad México-Japón.



**Figura 20.** AGEB 1426 (polígono rojos) en donde se ubica el parque de la Amistad México Japón (AMJ) y los parches de áreas verdes públicas (malla morada).





## DISCUSIÓN

Las áreas verdes urbanas pueden clasificarse en privadas o públicas, ambas contribuyen a la conservación ambiental, y el brindar un espacio en donde se desarrollen actividades de esparcimiento es fundamental, es por esto por lo que aquellas áreas que son públicas son indispensables para el bienestar de los habitantes (Flores y González, 2010; Mazari, 1993), razón por la cual fueron el objeto de estudio en este trabajo.

En la literatura especializada no se han encontrado indicadores que permitan evaluar la funcionalidad de las áreas verdes de la Ciudad de México. Con este proyecto se pretendió caracterizar aspectos estructurales y funcionales de las comunidades arbóreas presentes en distintas áreas verdes de la Ciudad de México, tomando en cuenta las condiciones sociales y económicas de las poblaciones circundantes, porque deben ser parte fundamental de una evaluación seria de estos sistemas. Si bien los estratos socioeconómicos bajos serían los más afectados por los peligros ambientales (tales como contaminación del aire y agua, ruido, escorrentías, entre otros) toda la población se ve afectada (Sorensen, 1998). Entre los parámetros sociales que permiten conocer las condiciones de vida de los habitantes, también se encuentra la densidad poblacional.

Los servicios ambientales que brindan las AV dependen de la cobertura y densidad vegetal, de su composición y estado fitosanitario, y de cómo se distribuyen en el espacio (Pérez y López, 2015). Cuatro de las diez variables más importantes en el índice de funcionalidad se refieren a la superficie de área verde, es decir, su tamaño.

Este es importante porque las funciones ecológicas y sociales están relacionadas con él, requiriendo una superficie mínima para su desarrollo. Entre más grande sea un AV mayores posibilidades tiene de albergar especies, lo que aumenta la diversidad y riqueza, lo que es importante porque los servicios ecosistémicos que proveen las AV están en función de los tipos de vegetación que contienen: a mayor biodiversidad, mejores condiciones ecológicas (contribuyen en mayor medida a la regulación de temperatura, infiltración de agua y purificación del aire) (Mata, 2009, Reyes y Figueroa, 2010; Medina y López, 2005; Morales *et al.*, 2018). , Reyes y Figueroa (2010) sugieren que se requiere de una superficie mínima, proponiendo que 10 ha son suficientes para que su contribución ecológica sea significativa.

Por otra parte estos mismos autores mencionan que entre más grandes sean las áreas verdes permiten el desarrollo de más actividades socioculturales en su interior, y que el tamaño también está relacionado con la accesibilidad, ya que las áreas más grandes se encuentran a mayor distancia de los habitantes y en un número bajo; en cambio las AV de menor tamaño, como podrían ser plazas o jardines, deberían ubicarse a distancias que tomen menos de 15 minutos en llegar a pie desde sus viviendas.

Otra variable es la superficie de AV por habitante, y ha sido objeto de estudio en múltiples trabajos. Mata (2009) sugiere que esta variable sea utilizada en conjunto con una cuantificación de la densidad arbórea de las AV, ya que entre mayor sea esta, mayores beneficios ecológicos proveería (Pérez y López, 2015).

Las otras dos variables se refieren a la superficie total de parches de AV y la superficie verde total (incluyendo AV privadas y arbolado viario) dentro de la AGEb. Las AV

privadas, aunque no son de libre acceso para el desarrollo de actividades socioculturales, sí brindan beneficios ecológicos y por tanto son de vital importancia (Morales, *et al.*, 2018).

Los parques Alameda Central, Parque Hundido y Parque México son los más grandes de este estudio, y coinciden con que tienen una diversidad de especies alta. Sin embargo, el parque La Bombilla, cuya extensión es de aproximadamente la mitad de los tres más grandes, tiene un valor de diversidad más alto que estos; y el parque Corpus Christi, con una superficie de apenas 21895.74 m<sup>2</sup>, es el de mayor diversidad (0.9).

Si bien el parque AMJ, el de menor extensión, coincide con que es el parque con la diversidad de especies más baja; el parque Allende, también reducido en tamaño, tiene una diversidad alta. Por esto, podría decirse que, si bien hay relación, el tamaño del área verde no determina directamente la diversidad de especies. Mata (2009) afirma que la calidad de un AV puede estar relacionada con su tamaño, pero que ésta depende más de la cantidad adecuada del arbolado que posee.

En cuanto al desarrollo de actividades socioculturales, es cierto que en los más grandes se llevan a cabo con mayor frecuencia. Por ejemplo, el parque Alameda Central y el parque México funcionan como sedes de distintos eventos culturales; por lo cual han sido prioridad en programas de mantenimiento: restauración de los sistemas luminarios y de riego e implementación de acciones de recuperación de las AV (Huerta, 2016; PAOT, 2018). En su trabajo con áreas verdes del municipio Apodaca, Nuevo León, México, Mata (2009) encontró que existe una relación positiva

entre la superficie de un AV y la interacción de esta área con los habitantes, quienes la valoran por su uso para convivencia social.

Reyes y Figueroa (2010) mencionan que estas áreas verdes de gran extensión deben estar asociadas a otras AV (de menor tamaño) para que tengan una óptima distribución dentro del territorio.

En el caso de Alameda Central, dentro de su AGEB no hay más parches circundantes que dos camellones de reducido tamaño y escaso arbolado, cuyo tamaño en relación con la AGEB y su distribución espacial son la razón de que el NNI resulte en un valor que dicta un patrón de distribución regular. Esto podría dar una idea errónea de las áreas verdes, ya que la AGEB no tiene más áreas verdes, ni públicas ni privadas. Hay que considerar que prácticamente no hay residentes en la zona, ya que está dedicada al comercio. Sin embargo, la afluencia recibida es muy alta, por lo que la necesidad de superficie de área verde es imperativa.

En el caso de Parque México, es el componente conector de la zona en que se ubica, enlazando avenidas, glorietas y camellones (Huerta, 2016), los cuales al ser ajardinados contribuyen al aumento de la superficie verde; cuya ubicación en el territorio sí está distribuida regularmente. Todas las calles están arboladas, lo que aumenta el índice de AV/habitante y la superficie total de AV dentro de la AGEB. Incluso fuera de los límites de la AGEB hay más áreas verdes cercanas.

El Parque Hundido es el segundo más grande, y a pesar de que no hay más AV públicas en su AGEB, posee camellones y sus calles están arboladas, lo que también

da lugar a un índice de AV/habitante alto. Sin embargo, la distribución de sus AV es aleatoria, al igual que en el resto de los parques.

El Parque Allende también presenta una distribución regular en conjunto con las AV en su AGEB: posee dos parques más y solamente un camellón arbolado; sin embargo, hay un arbolado viario abundante. González y Olave (1996) en su estudio de AVU en Chillán, Chile, observaron que el 70% de la superficie correspondía a plazas pequeñas y arbolado viario. Mata (2009), en su investigación sobre la disponibilidad de AV en Apodaca, N. L., registró que el 57.37% de estas son camellones. Este tipo de arbolado (de alineación: de calles, avenidas y camellones) es importante porque a pesar de su reducida extensión, siguen ofreciendo los mismos servicios ambientales ecológicos (Morales *et al.*, 2018).

Los resultados del PCA muestran que el Índice de Desarrollo Social también es una variable de relevancia. Distintos autores afirman que la cantidad, calidad y accesibilidad de las áreas verdes está relacionado directamente con el estado socioeconómico, así como con la participación de la población en el cuidado y aportaciones para el mantenimiento de estas (Mena *et al.*, 2011; Reyes y Figueroa, 2010; Flores, 2010; Fernández, 2017). Tavera *et al.* (2018) afirman que en Latinoamérica hay una asociación entre el número de AV y el nivel socioeconómico, ya que la gestión de dichas áreas está en función de los ingresos destinados a nivel municipal.

Reyes y Figueroa (2010) analizaron la distribución y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile, y registraron que aquellas zonas con un nivel alto de ingresos

poseen más áreas verdes y con mejor accesibilidad que aquellas de bajos ingresos, mostrando una clara desigualdad.

Por otro lado, Tavera *et al.* (2018) llevaron a cabo una investigación con la que buscaban saber si hay una asociación entre estratos socioeconómicos altos y alta calidad y cantidad de parques en el distrito Santiago de Surco, en Lima, Perú. Sus resultados muestran que no hay relación directa entre estas. La información recabada indica que el mayor número de parques, así como aquellos con mejor calidad, se ubican en los estratos socioeconómicos medios, cuya población hace más uso de las AV, pues aquellos habitantes con ingresos altos utilizan poco los parques (ya sea porque tienen áreas verdes privadas o porque tienen la posibilidad de tener otras actividades o destinos con fines de esparcimiento), mientras que los estratos bajos no tienen los medios suficientes para aportar económicamente en su gestión.

Sin embargo, en la Ciudad de México, Fernández (2017) llevó a cabo un estudio en donde se evidencia la desigualdad en la distribución de áreas verdes por cuestiones socioeconómicas. Sus resultados muestran que dicha distribución es menos equitativa en aquellas zonas con mayor densidad poblacional, donde ésta es más joven y tiene bajos niveles de educación y de ingresos.

Existe una concentración de las áreas verdes al centro y suroeste de la Ciudad de México, mientras que en el sureste hay menos áreas verdes, coincidiendo con que es la zona con los niveles más altos de pobreza (Fernández, 2017), y a la que pertenece la mayoría de los parques de esta investigación. Núñez (2021) reporta que en las alcaldías centrales (Miguel Hidalgo, Benito Juárez, Cuauhtémoc, Iztacalco y

Magdalena Contreras) hubo un aumento de AV entre los años 2000 y 2008. Exceptuando a la AGEB a la que pertenece el parque Alameda Central, todas tienen un IDS entre medio y alto, incluso aquella que se encuentra en la alcaldía Gustavo A. Madero, a la que pertenece el parque Corpus Christi.

A pesar de que en la Ciudad de México claramente hay zonas mejores provistas de áreas verdes, esto no quiere decir que incluso estas zonas no estén necesitadas de superficie verde. Por ejemplo, Fernández (2017) menciona que la alcaldía Miguel Hidalgo cuenta con un alto número de parques, una densidad poblacional media y niveles bajos de pobreza, y aun así está necesitada de AV.

Las zonas arboladas con diversidad alta de especies son un indicador de sostenibilidad ecológica (Pérez y López, 2015). En cuanto al índice de Simpson todos los parques tienen una diversidad arbórea alta, excepto el parque AMJ. Los valores más altos los presentan los parques Corpus Christi, La Bombilla y Alameda Central, en orden descendente. El parque Corpus Christi, además de tener un índice de diversidad alto, también lo son su IDS y valor de condición fitosanitaria.

Aunque existe una diversidad alta en los parques estudiados, son pocas especies las que dominan: *Fraxinus uhdei*, *Ligustrum lucidum*, *Cupressus lusitanica* y *Jacaranda mimosifolia*. Estos resultados coinciden con lo mencionado por Velasco *et al.* (2013): que en las AVU hay una dominancia de las especies pertenecientes a los géneros *Ficus*, *Jacaranda*, *Fraxinus*, *Casuarina* y *Ligustrum*, a pesar de que haya una diversidad alta. Estos autores realizaron un diagnóstico fitosanitario en el que determinaron que el Bosque San Juan de Aragón se ubica entre las categorías regular

y buena, y encontraron dominancia también de pocas especies (siete), entre las que se encuentran *Fraxinus uhdei* y *Cupressus lusitanica*.

Chacalo y Arriaga (2011) reportan dominancia de *Jacaranda mimosifolia*, *Fraxinus uhdei*, *Ligustrum lucidum*, entre otras, en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Estos resultados hablan de una baja diversidad florística, implicando un riesgo de contraer plagas y enfermedades, ya que se sugiere que no haya presencia de una especie por encima del 5% del total (Velasco *et al.*, 2013).

Parque México tiene los árboles más altos y de los más robustos en estudio, y con la mejor condición fitosanitaria (0.96). Es uno de los parques que tiene manejo gubernamental por parte de la LSPUA, además de que los vecinos están involucrados en su cuidado. En este trabajo se registraron 30 especies en dicho parque, mientras que Rivas (2006) registró un total de 54 especies, coincidiendo en que la especie más abundante es *Fraxinus uhdei*, y coloca al olmo chino como la segunda especie más abundante, y al trueno, como la tercera, mientras que en este estudio esta especie es la segunda en abundancia.

Este mismo autor registró que el 33.8% de los árboles presenta una altura de más de 12 m, mientras que el 20.4%, entre 3 y 6 m. En cuanto al estado de salud, mientras en esta investigación se ubica con una condición fitosanitaria buena, el autor concluye que la mayoría de los árboles se encuentran en una categoría regular a pesar de que la mayoría presenta un estado vigoroso, cuyos daños principales son del tipo fisiológicos y entomológico. Los fresnos son los que tienen mayor daño entomológico, mientras que los truenos son los que presentan daño fisiológico en su mayoría debido



a malas prácticas de poda. Reporta que los individuos se encuentran en una fuerte competencia por espacio y captura de luz.

La altura es importante porque, además de que entre mayor sea más beneficios ambientales pueden proveer los árboles, también es un indicador de funcionalidad de las áreas verdes (Morales *et al.*, 2018). Estos autores estimaron la funcionalidad a través de la avifauna en dos ciudades de Costa Rica, y observaron que aquellas AV de menor tamaño con baja superficie de pastos y arbustos, y árboles de altura baja en las ciudades de estudio, son menos funcionales porque las aves hacen mayor uso de aquellos que superan los 20 m, que sobresalen en el paisaje. Los autores declaran que la altura, una cobertura foliar amplia y diversidad de estratos arbóreos, influyen en la riqueza y composición trófica de las aves. Bajo este supuesto, el parque menos funcional de acuerdo con la altura de los árboles es Parque Hundido. Los árboles del resto de parques oscilan entre 7 y 10 metros.

El parque La Bombilla tiene el segundo valor más alto de diversidad de especies, y el tercero con la mejor condición fitosanitaria, mientras que su valor de IDS es el más alto.

El parque Prados Coapa es de los que tienen árboles más altos, justo después de Alameda Central, y a pesar de tener el segundo valor más bajo de diversidad, tiene también el segundo valor más alto en la condición fitosanitaria de 0.94, coincidiendo con que posee el segundo valor más alto de IDS registrado: 0.94. Otras AV que tienen este mismo valor de IDS son Parque Hundido y el parque Allende; mientras que el

primero corresponde a un valor alto de condición fitosanitaria, no sucede así con el segundo, pues tiene el valor más bajo registrado.

Por tanto, a pesar de que hay una excepción con el parque Allende, se observa una relación entre el estado socioeconómico (evaluado a través de IDS) y la condición fitosanitaria.

## **Consideraciones del índice de funcionalidad**

La construcción de este índice se realizó durante la cuarentena a causa del COVID-19, por lo que al no poder realizar trabajo de campo, se utilizaron únicamente las bases de datos bibliográficos del diagnóstico fitosanitario disponibles. Esto deriva en falta de información, por ejemplo, qué plagas o enfermedades presentan los árboles, y puede que haya errores que no se pueden controlar.

Al no tener acceso directo a las AV para hacer el diagnóstico fitosanitario se tuvo que trabajar únicamente con aquellos parques con datos accesibles dentro del portal de la PAOT (2018), dificultando el tener AV con un IDS más bajo, o cuya ubicación en la CDMX abarcase un territorio mayor o fuese más regular en el espacio.

La forma de los parques fue la misma (regular) para todos, sin embargo, podría ser que al tomar otros como objeto de estudio estos posean formas irregulares y sea una variable de importancia para definir la funcionalidad, o bien, la aplicación de otras métricas para esta variable podría ser más informativas.

Por otra parte hay que considerar que las métricas de análisis espacial no dan una respuesta definitiva y que, como ya se mencionó, por sí solas no dicen nada, sino únicamente cuando son asociadas a otras variables y se realizan comparaciones.

El análisis espacial y socioeconómico se realizó a nivel de AGEB. Esta delimitación geográfica se eligió porque, después de manzana, es la unidad más pequeña en que los datos de densidad poblacional son presentados en el Censo del 2020, así como los del IDS. Además porque al ser AV deben ser consideradas dentro de un espacio

“pequeño”, ya que no deben estar a una distancia que tome más de 15 minutos a los habitantes de su vecindario (Flores y Gonzalez, 2010).

Sin embargo, afecta directamente a variables como el índice del vecino más cercano (NNI), ya que en casos como el de la AC, a nivel de AGEB no hay más AV que dos camellones, pero en los límites de esta unidad geográfica hay otras circundantes, entre las que habría conectividad, incrementando también el valor del índice de división.

Por otro lado, podría considerarse en un futuro incluir también la superficie de AV privadas, pues de acuerdo con Núñez (2021) un porcentaje alto de las AV son privadas en la CDMX, y presentan la mayor pérdida de superficie debido a la urbanización. Además de que, como ya se mencionó anteriormente, aunque no brindan un espacio para la recreación de cualquier persona y muchas veces están compuestas mayoritariamente por pastos, siguen ofreciendo servicios a toda la población.

Se crearon dos extremos de funcionalidad con parques hipotéticos, que tuvieran las mejores y peores condiciones posibles a nivel de AV y de AGEB, con el fin de brindar la posibilidad de evaluar a cualquier área verde pública de la Ciudad de México con el índice desarrollado. Flores y González (2010) mencionan que los índices deben ser propios de cada ciudad, por lo que, si bien este índice no puede tomarse tal cual para evaluar otras ciudades mexicanas, incluso dentro de la CDMX tendría que tomarse con reserva por lo que se ha venido discutiendo, esta primera aproximación funciona como una base para estudios posteriores que dirijan la toma de decisiones por parte de las autoridades correspondientes.

## Recomendaciones generales

En México nos enfrentamos a la falta de espacio en las zonas urbanas, con pocas posibilidades de aumentar el espacio para áreas verdes (Meza *et al.*, 2017), por lo que si bien sería la primera recomendación basada en el índice de funcionalidad, también es la que menos posibilidades tiene para llevarse a cabo.

Las dimensiones de las ciudades mexicanas se van modificando rápidamente en función del incremento poblacional y de la demanda de espacio que implica, generando una expansión periférica sin planeación (Mazari, 1993). Esta falta de planeación se acentúa con la poca inversión a la investigación sobre problemas ambientales locales, llevando a una apresurada toma de decisiones basada en la urgencia, sin considerar las posibles repercusiones (Sánchez, 2014). Una de estas consecuencias es la baja superficie de AV por habitante en las zonas urbanas (Ojeda y Espejel, 2010).

Se suma la concepción que se tiene en México de que las áreas verdes forman parte de la infraestructura, es decir, a pesar de que son consideradas parte del equipamiento urbano, son fácilmente prescindibles (Ojeda y Espejel, 2010).

Este problema de espacio lo padece la Ciudad de México, ya que sus dimensiones y características dificultan el desarrollo de más AV, por lo que se ha optado por recuperar y/o mejorar las existentes (Meza *et al.*, 2017).

Aunque en la actualidad el problema de las áreas verdes ya no es únicamente la superficie, sino salvaguardar los ya existentes, por ejemplo, de la delincuencia, el

escaso o nulo mantenimiento y el deterioro de la vegetación (Mazari, 1993). Además, es más costoso crear un AV nueva que intentar dar gestión a las áreas ya establecidas (Sorensen, 1998).

Hay que tener presente que el simple hecho de crear AV no sería suficiente, ya que se necesitan recursos para su mantenimiento, tanto monetarios como de participación comunitaria (Sorensen, 1998). Por lo que la recuperación de las AV públicas con las que ya contamos es la mejor opción.

Si bien es cierto que los costos de mantenimiento pueden ser altos, se debe considerar que las AV proveen servicios cuyos costos no han sido estimados, y que, sin embargo están presentes, tales como purificación del aire, recreación, mejoras estéticas, etc. Por tanto, debe considerarse una inversión pública (Sorensen, 1998). Lamentablemente las AV reciben poca atención en nuestro país, reflejada en el bajo presupuesto destinado a su manejo (Ojeda y Espejel, 2010).

Una de mejores formas de optimizar un área verde es a través del aumento de la diversidad de especies, variable importante en el índice de funcionalidad. La biodiversidad representa uno de los indicadores más importantes de la calidad de un ecosistema y de la calidad de vida de los residentes (Pallares *et al.*, 2016; Ojeda y Espejel, 2010), cuyo éxito en cuanto a conservación se debe en gran parte a la ubicación, distribución y composición de dicha diversidad (Ojeda y Espejel 2010).

Una de las dificultades a las que se enfrentan al querer aumentar la densidad arbórea es la degradación ambiental que ha sufrido el área en el pasado, principalmente en la condición del suelo; pero también a la contaminación ambiental, temperaturas

extremas y velocidad del viento, entre otras, que interfieren directamente en la supervivencia de nuevos ejemplares arbóreos (Sorensen, 1998).

Esta repoblación arbórea sería efectiva a través de la realización de diagnósticos fitosanitarios, los cuales, además de dictaminar el estado de salud, permitirían realizar una elección adecuada de aquellos individuos que hay que retirar y de aquello necesario para vigorizar a los que lo necesiten. Zaragoza *et al.* (2014) proponen un indicador para evaluar el estado fitosanitario: el de *condición de copa*, está basado en que la salud de un árbol se refleja en la condición del follaje, determinada a través de tres variables: densidad de copa, muerte regresiva y transparencia del follaje.

El indicador de condición de copa permite inferir el estado de salud e identificar los agentes estresantes del arbolado. Sin embargo, Zaragoza *et al.* (2014) aclaran que no son fáciles de determinar aquellos problemas de salud menos obvios, o que estén asociados a más de un factor. Un inconveniente que estos autores mencionan acerca de su indicador es el uso de tres categorías para la salud del arbolado: buena, promedio y pobre, pues excluye a aquellos individuos con valores extremos. Otra de las limitaciones de este índice es la dificultad para delimitar el contorno de copa de cada individuo. Además que en la Ciudad de México es común que los árboles tengan las copas con formas diferentes a las que naturalmente tendrían, ya sea por los tamaños reducidos en que se encuentran, la poda y el mantenimiento recibidos (que pueden varían entre Alcaldías), u otras interferencias como postes y cables de luz.

Estos diagnósticos dan un panorama del estado de la vegetación, el cual da paso a una mejor intervención en el mejoramiento de las AV para que puedan proveer los

beneficios intrínsecos (Meza *et al.*, 2017). Todo esto cuidando de no caer en una sobreplantación, la cual produciría una disminución de zonas libres e iluminadas para el desarrollo de arbustos y cubresuelos (Meza *et al.*, 2017). El plantar indiscriminadamente individuos, es decir, el manejo inadecuado del arbolado y una mala planeación tiene impactos negativos tales como caída de los árboles, invasión del drenaje por parte de las raíces, surgimiento de plagas, entre otros (Ojeda y Espejel, 2010; Sánchez, 2014).

En esta plantación, contar con distintos tipos de vegetación en las AV junto con un adecuado arreglo espacial de los individuos, brinda un mejor aspecto, mejorando la percepción que de ellas tienen los visitantes (Ojeda y Espejel, 2010), dando pie a que los residentes se sientan vinculados a estas áreas y puedan contribuir con su participación en la gestión de estas.

Pese a la dificultad de crear nuevas AV de grandes dimensiones tales como parques o jardines, es posible crear AV de menor tamaño, tales como azoteas verdes, huertos urbanos, jardineras; que aunque los beneficios enlistados serán mucho menos, aquellos referentes al índice de AV/habitante, purificación del aire, control de la temperatura y conectividad serían mejorados. Estas estrategias solo serán exitosas en la medida en que los residentes se vean involucrados con su participación.

Una de las estrategias para fortalecer la preservación y mejoramiento de las AV es la inclusión de los grupos sociales a los que estas pertenecen en el proceso de diseño, planificación y conservación (Flores y González, 2010).



Las áreas verdes, principalmente parques y jardines, son visitados por los pobladores, quienes, si no se sienten identificados con estas a través de la pertenencia social, pueden influir negativamente en estos espacios, provocando su deterioro. Uno de los retos que existen para mejorar la calidad de las AVU es lograr la participación ciudadana, que se interesen genuinamente en la revitalización de estos espacios para salvaguardar sus valores social, ecológico y paisajísticos (Mazari, 1993).

A través de la identificación de los habitantes con su entorno se fortalece la necesidad de protegerlo y de participar en su enriquecimiento (Pallares *et al.*, 2016). Por tanto, el aumento de las áreas verdes o de la vegetación de las ya existentes no soluciona el problema por sí mismos, sino que se necesita además la participación de los habitantes que circundan estas áreas, ya que son estos vínculos, creados a través de la interacción hombre-ecosistema lo que refuerza su protección (Sánchez, 2014; Sorensen, 1998).

Mata (2009) menciona que hay autores que recomiendan la determinación de un valor monetario a los servicios que ofrecen las AV con el fin de resaltar su importancia a los habitantes, quienes, probablemente de esta forma, podrían estar dispuestos a aportar recursos para su mejoramiento y conservación.

En algunas ciudades europeas se ha visto que la participación de los ciudadanos en el cuidado de las áreas verdes ha sido un detonante para su conservación. Sin embargo, a pesar de su importancia, la participación ciudadana no lo es todo, ya que la creación de áreas verdes tiene que ver principalmente con la gobernanza y el capital social. Por ejemplo, en su estudio en Mérida, Yucatán, Medina y López (2015) resaltan

que a pesar de que los ciudadanos tienen disposición al cuidado de las AV, no existen mecanismos gubernamentales que permitan su gestión, además de la imposibilidad de crear nuevas áreas debido al poco espacio destinado, por lo que es necesario su implementación por parte de las autoridades pertinentes.

Este estudio presenta un procedimiento numérico original para la evaluación de áreas verdes en la Ciudad de México. Aunque solamente se consideró a ocho parques, la inclusión y evaluación de otras áreas verdes de la ciudad para las que se cuente con la información suficiente sería relativamente sencilla e incluso se podría extender a otras ciudades del país. Sin embargo, esta es apenas una primera aproximación que debe enriquecerse con datos finos sobre el estado fitosanitario de los árboles que incluyan la presencia de plagas y una estimación del vigor de las plantas, la consideración de los servicios ambientales que ofrece cada AV y la percepción de los visitantes sobre la calidad de ellas a partir de encuestas de opinión. Estos y otros aspectos se pueden incorporar al modelo multivariado desarrollado, sin mayor complicación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2010). Plan de indicadores de sostenibilidad urbana de Vitoria-Gasteiz. *Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, Ayuntamiento Vitoria Gasteiz*. Barcelona.
- Angeoletto, F., da Silva, F. F., y Albertin, R. M. (2015). El planeta ciudad y la ecología de los ecosistemas urbanos. *Revista Internacional Interdisciplinar INTERthesis*, 12(2): 141-155.
- Aguilera, F. (2010). Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el área metropolitana de Granada. *Anales de Geografía*, 30(2): 9-29.
- Arenas, J. M. (2022). *Análisis de patrones espaciales con QGIS*. Geoinnova: México. Recuperado de <https://geoinnova.org/blog-territorio/analisis-de-patrones-espaciales-con-qgis/> consultado en enero 02 de 2022.
- Artaraz, M. (2003). Hacia una economía sostenible: interpretaciones, teorías e indicadores de desarrollo sostenible. *CIUDAD Y TERRITORIO Estudios Territoriales*, XXXV, 35(138): 551-563.
- Castro, S. (2005). Evaluación de un índice para valorar las áreas verdes urbanas: su aplicación y análisis en la localidad de Barrio Dent y Altos del Escalante con una perspectiva geográfica. *Revista Reflexiones*, 84 (1): 107-125.
- Cano, Z., Castillo, S., Martínez, Y. y Juárez, S. (2008). Análisis de la riqueza vegetal y el valor de conservación de tres áreas incorporadas a la Reserva Ecológica del

- Pedregal de San Ángel, Distrito Federal (México). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 82: 1-14.
- Cervantes, M., Ortiz, R. y Reséndiz, J. F. (2019). Condición fitosanitaria del arbolado de la tercera sección del bosque de Chapultepec. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6(1): 122-135.
- Chacalo, H., A. y L. Arriaga R. (2011). Inventario del arbolado de la UAM Azcapotzalco. *Aleph Suplemento Ambiental* 15(4): 2.
- Chimal, A. y Corona, N. (2016). Árboles urbanos. En: la biodiversidad en la Ciudad de México, vol. II. Conabio/Sedema, México.
- Consejo de Evaluación del Desarrollo Social del Distrito Federal. (2011). Índice de desarrollo social de las unidades territoriales delegaciones-colonias-manzanas del Distrito Federal. México, D.F.
- de la Barrera, F., Reyes, S., y Banzhaf, E. (2016). Indicators for green spaces in contrasting urban settings. *Ecological Indicators*, 62: 212-219.
- Escobar, L. A. (2008). Indicadores ambientales sintéticos: una aproximación conceptual desde la estadística multivariante. *Gestión y Ambiente* 11(1): 121-140.
- Fernández, R. (2017). Inequitable distribution of green public space in Mexico City: an environmental injustice case. *Economía, sociedad y territorio*, 17(54), 399-428.
- Flores, R. (2012). Incorporando desarrollo sustentable y gobernanza a la gestión y planificación de áreas verdes urbanas. *Frontera Norte*, 24(48): 165-190.

- Flores, R. y González, M. D. J. (2010). Planificación de sistemas de áreas verdes y parques públicos. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 1(1), 17-24.
- García, S. y Guerrero, M. (2006). Indicadores de sustentabilidad ambiental en la gestión de espacios verdes: Parque urbano Monte Calvario, Tandil, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*, (35), 45-57.
- Gauch, H. G. (1982) *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gobierno de la Ciudad de México. (s.f.). Alameda Central. Recuperado el agosto 19 de 2022 de <http://www.alamedacentral.cdmx.gob.mx/>
- Gobierno del Distrito Federal. (2000). Ley de salvaguarda del patrimonio urbanístico arquitectónico del Distrito Federal. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*. México, D. F.
- Gobierno del Distrito Federal. (2000). Ley ambiental de protección a la tierra en el Distrito Federal. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*. México, D. F.
- Gobierno del Distrito Federal. (2003). Coordinación de Planeación del Desarrollo Territorial, Dirección de Planeación. *Distrito Federal, Atlas Socioeconómico y de Marginación por Manzana*, México, D. F.
- Gómez, C. F. (2002). El fenómeno del crecimiento urbano. Una experiencia de análisis con un sistema de información geográfica. *Revista INVI*, 17(45):171-182.
- González, S. y Farías, D. O. (1996). Áreas Verdes Urbanas en la Ciudad de Chillán. Chile. *Tiempo y Espacio*, 6, 75-83.

- Guzmán, L., Muñoz, A. L., Reséndiz, J. F. y Olvera, L. P. (2011). Condición fitosanitaria del arbolado del parque Tezozómoc, Azcapotzalco, D. F. en: *XVI Simposio Nacional de Parasitología Forestal*. Cuernavaca, Morelos, del 26 al 28 de octubre de 2011.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L. y Black, W. C. (1999). *Análisis multivariante*. Prentice Hall Iberia.
- Hernández, J. C., Gastón, J. J., Juan, J. I., Franco, R. y Czerny, M. (2018). Distribución de áreas verdes y bienestar socio ambiental. Un estudio en la Ciudad de Toluca, México. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 9(21): 919-942.
- Herrera, P. M. (2008). Infraestructuras de soporte de la biodiversidad: planificando el ecosistema urbano. *Ciudades: Revista del Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid*, 11: 167-188.
- Huerta, L. A. (2016). Etnografía urbana. Parque General San Martín de la Ciudad de México. *Esencia y espacio*, 41-45.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2021). *Mapa digital de México*. INEGI: México. Recuperado de <http://gaia.inegi.org.mx/> Consultado en septiembre 20, 2021.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2021). Censo de Población y Vivienda 2020. México: INEGI.
- Jaeger, J. A. G. (2000). Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 15: 115–130.

- Larios, J. C. A. (2010). Recuperación de áreas verdes, educación social incluyente. *Hekademus: Revista Científica de la Fundación Iberoamericana para la Excelencia Educativa*, 7: 45-63.
- Leal, C. E., Leal, N., Alanís, E., Pequeño, M. Á., Mora, A. y Buendía, E. (2018). Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48): 252-270.
- León, A., Llinás, H. y Tilano, J. (2008). Análisis multivariado aplicando componentes principales al caso de los desplazados. *Ingeniería y Desarrollo*, 23, 119-142.
- Mata, E. (2009). Caracterización y evaluación espacial de las áreas verdes urbanas en el municipio de Apodaca, N. L. (Tesis de especialización en Gestión e Impacto Ambiental, Universidad Veracruzana).
- Mazari, M. (1993). Áreas verdes urbanas, un espacio en busca de identidad. *Bitácora Arquitectura*, 4, 12-17.
- McGarigal, K. & Marks, B. J. (1995). FRAGSTATS: *spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- McGarigal, K., Cushman, S. A. & Ene, E. (2012). FRAGSTATS v4: *Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps*. Department of Environmental Conservation, University of Massachusetts, Amherst.

- Mena, C., Ormazábal, Y., Morales, Y., Santelices, R. y Gajardo, J. (2011). Índices de área verde y cobertura vegetal para la ciudad de Parral (Chile), mediante fotointerpretación y SIG. *Ciência Florestal*, 21(3): 521-531.
- Meza, M. C. y Moncada, J. O. (2010). Las áreas verdes de la Ciudad de México. Un reto actual. *Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 14(331).
- Meza, M. C., Velázquez, L. y Larrucea, A. (2017). Recuperación De Áreas Verdes Urbanas. La importancia del diagnóstico fitosanitario para la intervención. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 1(22).
- Morales, V., Piedra, L., Romero, M. y Bermúdez, T. (2018). Indicadores ambientales de áreas verdes urbanas para la gestión en dos ciudades de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 66(4): 1421-1435.
- Núñez, J. M. (2021). Análisis espacial de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México. *Economía, sociedad y territorio*, 21(67): 803-833.
- Ojeda, L. y Espejel, I. (coord.) (2014). Cuando las áreas verdes se transforman en paisaje urbano. La visión de Baja California Norte. Tijuana: El Colegio de la Frontera Norte.
- Pallares, M., Boada, M., Sánchez, S., Barriocanal, C. y Duch, J. (2016). Bienestar, planificación urbana y biodiversidad. El caso de Barcelona. *Universidad Autónoma de Barcelona*.



- Peña, V. (2009). Una aproximación metodológica para la caracterización espacial de las áreas verdes públicas del distrito de La Molina, Lima. *Anales Científicos*, 70(2): 158-166.
- Pérez, S. y López, I. (2015). Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana. *Economía, Sociedad y Territorio*, XV(47): 1-33.
- Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial del D. F. (PAOT). (2010). Diagnóstico fitosanitario del arbolado del parque Alameda Oriente.
- Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial del D. F. (PAOT). (2010). Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México. México, D.F.
- Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial del D. F. (PAOT). (2017). Dictamen técnico. Folio PAOT-2017-1064-DEDPPA-368.
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D. F. (PAOT). (2018). Sistema de Información Geográfica del Patrimonio Ambiental y Urbano de la CDMX. México: Geoportal PAOT. Recuperado de <http://www.paot.org.mx/> Consultado en octubre 7, 2020.
- Reséndiz, J. F., Guzmán, L., Muñoz, A. L., Nieto de Pascual, C. y Olvera, L. P. (2015). Enfermedades foliares del arbolado en el Parque Cultural y Recreativo Tezozómoc, Azcapotzalco, Distrito Federal. *Revista Mexicana de Ciencias forestales*, 6(30): 106-123.

- Reyes, S. y Figueroa, I. M. (2010). Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *EURE (Santiago)*, 36(109): 89-110.
- Rivas, M. I. (2006). El Parque San Martín (Parque México) una evaluación diagnóstica del arbolado la calidad del paisaje y su infraestructura (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México), TESIUNAM.
- Ruiz, C. Y. (2012). Aplicación del análisis de componentes principales como técnica para obtener índices sintéticos de calidad ambiental. *UCV-Scientia*, 4(2): 145-153.
- Sánchez A. D., Sánchez Lizárraga A. D. 2014. Conceptualización jurídica del arbolado urbano. Un estudio sobre sus limitaciones para la sustentabilidad urbana. Tesis para Especialista en Ciencias del Ambiente, Gestión y Sustentabilidad. Facultad de Ciencias, Centro Universitario de Gestión Ambiental. Universidad de Colima.
- Saavedra, L. de L., Hernández, P., Alvarado, D., Martínez, T. y Villa, J. (2019). Diversidad, estructura arbórea e índice de valor de importancia en un bosque urbano de la Ciudad de México. *Polibotánica*, (47): 25-37.
- Sedema. (2018). Áreas verdes de la Ciudad de México. México: Datos abiertos Ciudad de México. Recuperado de <https://datos.cdmx.gob.mx/> Consultado en octubre 10, 2020.

- Sedema. (2019). Áreas verdes de la Ciudad de México. [https://datos.cdmx.gob.mx/explore/dataset/cdmx\\_areas\\_verdes\\_2017/informati on/](https://datos.cdmx.gob.mx/explore/dataset/cdmx_areas_verdes_2017/informati on/). Consultado en abril 6, 2021.
- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K. y Williams, J. (1998). Manejo de las áreas verdes. *Documentos de Buenas Prácticas*, Washington, D.C.
- Tavera, T., Dunin, A. S., Pastor, P. y Suárez, O. (2018). Importancia del estudio y análisis de la calidad, cantidad y distribución espacial de los parques del distrito de Santiago de Surco en el contexto del cambio climático. *Espacio Y Desarrollo*, 31: 87-114.
- Velasco, E., Cortés, E. N., González, A., Moreno, F. y Benavides, H. M. (2013). Diagnóstico y caracterización del arbolado del bosque de San Juan de Aragón. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 4(19): 102-111.
- Yengle, C. (2012). Aplicación del análisis de componentes principales como técnica para obtener índices sintéticos de calidad ambiental. *Scientia*, 4(2): 145-153.
- Zaragoza, A. Y., Cetina, V. M., López, M. A., Chacalo, A., de la Isla, M. L. y González, H. (2014). Indicador condición de copa y su aplicación en tres parques del Distrito Federal. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(25): 34-51.

## APÉNDICES

Apéndice I. Composición y abundancia de especies de las ocho áreas verdes en estudio (datos de la PAOT, 2018) actualizado con el grupo, familia taxonómica y nombre común.

NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	AC	PC	MEX	H	CC	LB	A	AMJ	Total
<b>ANGIOSPERMA DICOTILEDÓNEA*</b> <i>Acacia</i> sp.* Acacia	<b>FABACEAE</b>	4	0	0	3	12	1	0	0	20
<i>Acer negundo</i> *	<b>ACERACEAE</b>	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Alnus jorullensis</i> * Aile	<b>BETULACEAE</b>	13	1	4	22	2	7	0	0	49
<i>Aralia</i> sp. * Aralia	<b>ARALIACEAE</b>	0	2	0	0	2	0	0	0	4
<b>GIMNOSPERMA</b> <i>Araucaria excelsa</i> Araucaria	<b>ARAUCARIACEAE</b>	0	0	1	0	0	1	0	0	2
<i>Bauhinia divaricata</i> * Árbol de orquídea	<b>FABACEAE</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Buddleja cordata</i> * Tepozán	<b>SCROPHULARIACEAE</b>	0	0	0	1	0	1	0	0	2
<i>Callistemon citrinus</i> * Árbol de Lava Botella Escobillón	<b>MYRTACEAE</b>	1	0	0	0	2	0	0	0	3
<i>Casimiroa edulis</i> * Zapote blanco	<b>RUTACEAE</b>	0	0	0	0	1	0	1	0	2
<i>Cassia</i> sp. *	<b>FABACEAE</b>	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Casuarina cunninghamiana</i> * Casuarina, Pino de tontos	<b>CASUARINACEAE</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Casuarina equisetifolia</i> * Casurina, Pino de los tontos	<b>CASUARINACEAE</b>	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Casuarina</i> sp.* Casuarina, Pino de tontos	<b>CASUARINACEAE</b>	0	3	3	4	37	1	0	0	48
<i>Celtis australis</i> *	<b>CANNABACEAE (ULMACEAE)</b>	1	0	0	2	0	0	0	0	3
<i>Citrus reticulata</i> * Mandarino	<b>RUTACEAE</b>	0	0	0	2	0	0	0	0	2
<i>Citrus sinensis</i> * Naranja	<b>RUTACEAE</b>	0	1	0	0	0	0	0	0	1
<b>GIMNOSPERMA</b> <i>Cupressus lusitanica</i> Cedro blanco	<b>CUPRESSACEAE</b>	4	4	11	114	42	45	1	1	222

\*Dicotiledónea.

Continuación...

<b>GIMNOSPERMA</b> <i>C. sempervirens</i> Cedro italiano	<b>CUPRESSACEAE</b>	0	3	3	0	1	3	0	0	10
<b>ANGIOSPERMA</b> <b>MONOCOTILEDÓNEA</b> <i>Ensete ventricosum</i> Fruto Plátano Hierba perenne	<b>MUSACEAE</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Eriobotrya japónica*</i> Níspero	<b>ROSACEAE</b>	0	0	0	0	2	1	1		4
<i>Erithryna americana*</i> Colorín	<b>FABACEAE</b>	0	8	0	2	1	2	0	0	13
<i>Eucalyptus</i> sp.* Eucalipto	<b>MYRTACEAE</b>	0	3	0	33	0	0	0	0	36
<i>Eucalyptus camaldulensis*</i> Eucalipto, Eucalipto rojo	<b>MYRTACEAE</b>	0	0	16	0	22	4	26	0	68
<i>Eucalyptus globulus*</i> Eucalipto	<b>MYRTACEAE</b>	0	0	0	0	0	1	3	0	4
<i>Ficus benjamina*</i> Ficus benjamina	<b>MORACEAE</b>	0	8	3	0	7	1	9	5	33
<i>Ficus elastica*</i> Hule hoja ancha	<b>MORACEAE</b>	0	4	0	0	0	0	0	0	4
<i>Ficus retusa*</i> Ficus	<b>MORACEAE</b>	0	7	2	5	2	0	0	6	22
<i>Ficus</i> sp. * Ficus	<b>MORACEAE</b>	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Fraxinus uhdei*</i> Fresno	<b>OLEACEAE</b>	95	190	116	37	37	79	61	45	660
<b>GIMNOSPERMA</b> <i>Ginkgo biloba</i> Ginkgo	<b>GINKGOACEAE</b>	0	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Grevillea robusta*</i> Grevilia	<b>PROTEACEAE</b>	39	1	1	0	0	2	0	0	43
<i>Jacaranda mimosifolia*</i> Jacaranda	<b>BIGNONIACEAE</b>	39	30	33	5	20	7	0	1	135
<i>Lagerstroemia indica*</i> Astronómica	<b>LYTHRACEAE</b>	0	0	0	4	0	0	0	0	4
<i>Ligustrum japonicum*</i> Trueno	<b>OLEACEAE</b>	0	0	0	0	0	0	6	0	6
<i>Ligustrum lucidum*</i> Trueno	<b>OLEACEAE</b>	0	23	45	12	54	65	25	0	224
<i>Liquidambar styraciflua*</i> Liquidambar	<b>ALTINGIACEAE</b>	13	0	3	0	0	4	0	0	20
<i>Magnolia grandiflora*</i> Magnolia	<b>MAGNOLIACEAE</b>	10	0	0	0	0	0	0	0	10
<i>Morus alba*</i>	<b>MORACEAE</b>	0	0	0	1	0	0	0	0	1

\*Dicotiledónea.

Continuación...

<i>Mora</i>										
<i>Persea americana*</i> Aguacate	LAURACEAE	0	0	3	6	0	23	4	0	36
MONOCOTILEDÓNEA <i>Phoenix canariensis</i> Arborescente Palma canaria, Palma fénix	ARECACEAE	0	1	7	0	16	4	1	0	29
<i>Phytolacca dioica*</i> Fitolaca	PHYTOLACCACEAE	8	0	0	0	0	5	0	0	13
GIMNOSPERMA <i>Pinus sp.</i> Pino	PINACEAE	2	2	2	27	1	16	0	0	50
GIMNOSPERMA <i>Pinus radiata</i> Pino radiata	PINACEAE	0	0	0	0	0	0	19	0	19
<i>Platanus hybrida*</i> Árbol Platano	PLATANACEAE	6	0	0	0	0	0	0	0	6
<i>Platanus occidentalis*</i> Árbol Platano	PLATANACEAE	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Platanus x hispánica*</i> Árbol Platano	PLATANACEAE	8	0	0	0	1	0	0	0	9
<i>Populus alba*</i> Álamo plateado	SALICACEAE	0	0	0	3	0	0	0	0	3
<i>Populus tremuloides*</i> Álamo temblón	SALICACEAE	11	0	0	0	0	0	0	0	11
<i>Prunus serotina*</i> Capulín	ROSACEAE	0	0	0	1	1	0	0	1	3
<i>Punica granatum*</i> Granado	PUNICACEAE	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Quercus rugosa*</i> Encino	FAGACEAE	0	0	1	0	0	4	0	0	5
<i>Robinia sp. *</i>	FABACEAE	0	0	0	0	1	2	0	0	3
MONOCOTILEDÓNEA <i>Roystonea sp.</i> Arborescente	ARECACEAE	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Salix alba*</i> Sauce	SALICACEAE	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Salix babylonica*</i> Sauce llorón	SALICACEAE	0	0	2	0	0	0	0	0	2
<i>Salix sp. *</i> Sauce	SALICACEAE	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Schinus molle*</i> Piru, Pirul	RUTACEAE	0	0	0	2	4	0	0	0	6
<i>Schinus terebinthifolius*</i> Pirul brasileño	RUTACEAE	0	40	0	0	0	0	0	1	41
<i>Synadenium grantii*</i>	EUPHORBIACEAE	0	0	0	0	1	0	0	0	1

\*Dicotiledónea.

Continuación...

Euforbia trigona, lechero africano ARBUSTO; ARBOLITO										
GIMNOSPERMA <i>Taxodium mucronatum</i> Ahuehuete	TAXODIACEAE	16	0	2	1	0	0	0	0	19
GIMNOSPERMA <i>Thuja sp.</i> Tulia, Tulla	CUPRESSACEAE	0	0	0	0	8	0	0	0	8
<i>Ulmus minor*</i> Olmo común	ULMACEAE	0	0	2	0	0	0	0	0	2
<i>Ulmus parvifolia*</i> Olmo chino	ULMACEAE	3	18	16	1	7	7	0	1	53
MONOCOTILEDÓNEA <i>Yucca elephantipes</i> Yuca	ASPARAGACEAE	0	0	0	0	0	0	6	0	6
MONOCOTILEDÓNEA <i>Yucca guatemalensis</i> Yuca pinta	ASPARAGACEAE	0	0	0	0	0	0	8	0	8
MONOCOTILEDÓNEA <i>Yucca sp.</i> Yuca	ASPARAGACEAE	0	5	4	1	6	6	0	0	22
MONOCOTILEDÓNEA <i>Washingtonia filifera</i> Palma washintonia	ARECACEAE	0	0	7	0	5	1	0	0	13
MONOCOTILEDÓNEA Palma	ARECACEAE	0	0	0	5	0	0	0	0	5
Especies no identificadas		26	0	3	0	0	3	2	0	34
Total de individuos		300	354	297	299	300	298	179	63	2090

\*Dicotiledónea.

Apéndice II. *SUPERFICIE*= Superficie total (m<sup>2</sup>), *ALT PROM*= altura (m) promedio de los árboles, *DAP PROM*= diámetro (cm) a la altura del pecho promedio de las especies arbóreas, *CONDICIÓN*= valor del estado fitosanitario de las especies arbóreas, *NP*= número de parches de AV públicas en cada AGEB, *DIVISION*= grado de división del paisaje, *NNI*= índice de vecino más próximo, *sup par*= la suma total de las superficies en m<sup>2</sup> de todos los parches (AV públicas) de cada AGEB en estudio.

Parque	Superficie	Alt Prom	DAP prom	Condicion	Simpson	Pob 2020	Sup AV/AGEB	AV/Hab 2020	IDS	NP	Division	NNI	Sup par
AC	88043.46	9.71	19.44	0.91	0.83	369	87047.32	218.87	0.79	3	0.03	2.74	80761.23
PC	11819.38	8.79	23.39	0.94	0.68	1868	60792.74	32.54	0.94	11	0.69	1.57	28073.81
MEX	80663.49	10.2	31.85	0.96	0.8	1206	129544.81	107.42	0.9	13	0.67	1.78	107467.7
AMJ	1707.89	3.8	33.48	0.84	0.48	1401	52423.22	37.42	0.92	20	0.92	1.04	12290.3
H	82520.10	1.69	1.37	0.82	0.81	6059	165051.92	27.24	0.94	10	0.13	1.02	94262.46
CC	21895.74	5.99	18.77	0.86	0.9	7078	34987.28	9.89	0.92	13	0.65	1.22	23795.81
A	3172.63	7.49	18.41	0.76	0.82	2670	114082.65	42.73	0.94	4	0.53	2.34	19468.15
LB	43488.36	7.11	23.54	0.92	0.84	2203	86291.32	39.17	0.95	10	0.44	1.31	60270.13
MEJOR	7000000	15	400	1	1	1	7000000	7000000	1	1	0	3	7000000
PEOR	10	1	1	0	0	30000	3000	0.1	0.1	100	1	0	3000





Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

# ACTA DE EXAMEN DE GRADO

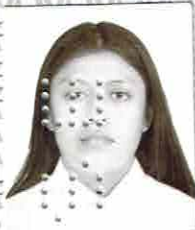
No. 00223

Matricula: 2202800693

EVALUACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO Y FITOSANITARIO DE LAS COMUNIDADES ARBÓREAS EN ÁREAS VERDES DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 11:00 horas del día 21 del mes de junio del año 2023 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. PEDRO LUIS VALVERDE PADILLA  
MTRA. AURORA CHIMAL HERNANDEZ  
DR. ROBERTO BONIFAZ ALFONZO  
DRA. CECILIA LEONOR JIMENEZ SIERRA



YESSICA PUENTE MARTINEZ  
ALUMNA

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretaria la última, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRA EN BIOLOGÍA

DE: YESSICA PUENTE MARTINEZ

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

APROBAR

REVISÓ

MTRA. ROSALIA SERRANO DE LA PAZ  
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CBS

  
DR. JOSE LUIS GOMEZ OLIVARES

PRESIDENTE

  
DR. PEDRO LUIS VALVERDE PADILLA

VOCAL

  
MTRA. AURORA CHIMAL HERNANDEZ

VOCAL

  
DR. ROBERTO BONIFAZ ALFONZO

SECRETARIA

  
DRA. CECILIA LEONOR JIMENEZ SIERRA