

Diversidad, estructura y salud del arbolado en áreas verdes de la ciudad de Texcoco, México

Diversity, structure and health of trees
in green areas of Texcoco city, Mexico

**Luis Manuel Morales-Gallegos ^a, Tomás Martínez-Trinidad ^{a*},
Patricia Hernández-De la Rosa ^a, Armando Gómez-Guerrero ^a,
Dionicio Alvarado-Rosales ^b, Luz de Lourdes Saavedra-Romero ^b**

* Autor de correspondencia: ^aCampus Montecillo, Colegio de Postgraduados, Posgrado en Ciencias Forestales, Montecillo, Texcoco de Mora, Estado de México, México. tomtz@colpos.mx

^b Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, Posgrado en Fitosanidad, Montecillo, Texcoco de Mora, Estado de México, México.

SUMMARY

Urbanization without proper planning is the cause of a number of ecological problems, including degradation and loss of vegetation. Analysis of trees' diversity and structure is relevant due to their relationship with tree health and the trees' consequent capacity to provide environmental, social and economic benefits. Trees in favorable conditions have a direct impact on urban sustainability, planning and management. The aim of this study was to evaluate the health of trees located in green areas of the city of Texcoco de Mora, Mexico and its relationship with the structure, diversity and typology of urban green areas, in order to provide management and planning recommendations. 21 green areas of the city were evaluated and a tree census was carried out. Richness and diversity indices were used to analyze tree vegetation and chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) as indicators of tree health. 1,543 trees were registered, including 53 species distributed in 36 genera and 24 families. The evaluation revealed that the urban trees were made up mostly of young individuals, and showed tree density to be higher than other green spaces in Mexico. The use of richness and diversity indices allowed the researchers to evaluate the presence of a greater number of non-native species and denoted the differences between Urban Green Areas (AVU). Evaluation of chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) indicated that the trees are under stress conditions (Fv/Fm < 0.780). No correlation was found between the values of Fv/Fm, richness and diversity in the studied areas, however, the shape and surface of the green areas were correlated with the aforementioned indices.

Keywords: urban forest, diversity indexes, environmental services, forest health, chlorophyll fluorescence.

RESUMEN

La urbanización sin la planeación adecuada es causa de un sin número de problemas ecológicos, entre ellos la degradación y pérdida de vegetación. El análisis de la diversidad y estructura del arbolado toma relevancia por la relación con su condición de salud y la consecuente capacidad para proveer beneficios ambientales, sociales y económicos. El arbolado en condiciones favorables repercute de forma directa en temas de sostenibilidad urbana, planeación y manejo. El objetivo del presente estudio fue evaluar la salud del arbolado ubicado en áreas verdes de la ciudad de Texcoco de Mora, México y su relación con la estructura, diversidad y tipología de áreas verdes urbanas, para proveer recomendaciones de manejo y planeación. Se evaluaron 21 áreas verdes de la ciudad y se realizó un censo del arbolado. Se utilizaron índices de riqueza y diversidad para analizar la vegetación arbórea y la fluorescencia de la clorofila (Fv/Fm) como un indicador de salud de la vegetación arbórea. Se registraron 1.543 árboles, identificando 53 especies distribuidas en 36 géneros y 24 familias. La composición reveló un arbolado conformado mayormente por especies jóvenes, presentando una densidad arbórea superior a otros espacios verdes en México. El uso de índices de riqueza y diversidad permitió evaluar la presencia de un mayor número de especies no nativas y denotó la existencia de diferencias entre Áreas Verdes Urbanas (AVU). La fluorescencia de la clorofila (Fv/Fm) indicó que el arbolado se encuentra en condiciones de estrés (Fv/Fm < 0,780). No se encontró correlación entre los valores de Fv/Fm, riqueza y diversidad en las áreas estudiadas, sin embargo, la forma y superficie de las áreas verdes se correlacionaron con los índices antes mencionados.

Palabras clave: bosque urbano, índices de vegetación, servicios ambientales, salud forestal, fluorescencia de la clorofila.

INTRODUCCIÓN

La urbanización sin planeación es causa de un sin número de problemas ecológicos, entre ellos la degradación y pérdida de áreas con vegetación (Sjöman *et al.* 2018, Sikuzani *et al.* 2019). El arbolado urbano es un componente importante de estudio principalmente por los servicios ecosistémicos que provee como la filtración de contaminantes del aire, mitigación de ruido, infiltración de agua, incremento de fauna, mejora en la salud física y psicológica de las personas, entre otros (Leal *et al.* 2018, Scholz *et al.* 2018). El análisis de la diversidad y estructura de la vegetación arbórea toma relevancia por la estrecha relación con la condición de salud del bosque urbano (Danguilla *et al.* 2019, Morgenroth *et al.* 2020, Martínez-Trinidad *et al.* 2021). El arbolado en condiciones favorables repercute de forma directa en el tema de sostenibilidad urbana, planeación, manejo, adaptación y mitigación del cambio climático (Danguilla *et al.* 2019, Morgenroth *et al.* 2020), lo que contribuye al bienestar de la población y mejora del ambiente urbano (Scholz *et al.* 2018).

Las áreas verdes urbanas (AVU) son elementos importantes de la infraestructura como indicadores del sistema ambiental urbano, sin embargo, en algunos casos son de un tamaño reducido y presentan un alto grado de fragmentación (Krajter *et al.* 2017), lo que reduce los servicios que proveen (Bingqian *et al.* 2020, Canizales *et al.* 2020, Morgenroth *et al.* 2020). A pesar de lo anterior, las AVU presentan una condición de diversidad y estructura arbórea muy particular (Sjöman *et al.* 2018), comprendiendo especies nativas y no nativas. La diversificación de las especies mejora su condición de salud y estabilidad a través del tiempo (Danguilla *et al.* 2019, Bihunova *et al.* 2021, Mehraj *et al.* 2021). Dicha condición influye en la capacidad de las comunidades vegetales para adaptarse y sobrevivir a cambios ambientales adversos, así como al afrontar de forma eficiente el ataque de plagas y enfermedades (Velasco *et al.* 2013, Saavedra-Romero *et al.* 2019, Bihunova *et al.* 2021). Por otra parte, la remoción de las especies autóctonas e introducción de no nativas (exóticas) genera competencia entre estos grupos e incrementa la condición de estrés, la cual, dependiendo de su persistencia e intensidad, puede afectar el crecimiento, la salud y la esperanza de vida de la vegetación arbórea (Saavedra-Romero *et al.* 2019).

La estimación del grado de vulnerabilidad del arbolado urbano con vitalidad pobre es común a través del análisis de la diversidad y estructura de la vegetación arbórea, reuniendo información sobre la altura, diámetro a la altura del pecho, composición, riqueza específica y origen de las especies, entre otras (Velasco *et al.* 2013, Saavedra-Romero *et al.* 2019, Bingqian *et al.* 2020). Cabe indicar que existen métodos que utilizan procesos fisiológicos para cuantificar la respuesta del arbolado al estrés (Callow *et al.* 2018), uno de ellos es la evaluación de la fluorescencia de la clorofila denotada por el cociente Fv/Fm, siendo esta una relación normalizada creada al dividir la fluorescencia variable (Fv)

entre la fluorescencia máxima (Fm) (Uhrin y Supuka 2016). Este índice provee información sobre la eficiencia del sistema fotosintético, en consecuencia, una menor eficiencia fotosintética está relacionada con una menor condición de salud del arbolado (Morales-Gallegos *et al.* 2019).

Existen pocos trabajos en México relacionados con la diversidad y estructura de la vegetación arbórea y su condición de salud en áreas verdes urbanas (Alanís *et al.* 2014, Saavedra-Romero *et al.* 2019), promover un enfoque de desarrollo urbano sostenible implica, entre otras cosas, estudiar la diversidad y estructura del arbolado en áreas verdes urbanas como factores que influyen en su condición de salud (Danguilla *et al.* 2019, Mehraj *et al.* 2021). Por lo anterior, los objetivos del presente trabajo son: 1) describir la composición y estructura del arbolado ubicado en las AVU de la ciudad de Texcoco de Mora, Estado de México, México, 2) determinar y comparar la riqueza y diversidad de la vegetación arbórea de las AVU, 3) evaluar y comparar a nivel de especie y AVU la salud del arbolado y 4) correlacionar variables dasométricas para registrar asociaciones que permitan dar recomendaciones de manejo y planeación del arbolado urbano. Las hipótesis planteadas son: a) la riqueza y diversidad de la vegetación arbórea no es diferente entre AVU y b) no existe diferencia en la salud del arbolado urbano entre sitios con mayor o menor diversidad de especies arbóreas.

MÉTODOS

Área de estudio. El estudio se realizó en las áreas verdes de la ciudad de Texcoco de Mora (19° 30' 52,30" N y 98° 52' 57,73" O), en el Estado de México, México (figura 1). La ciudad tiene una elevación promedio de 2.240 m s.n.m, un clima templado con una temperatura media anual de 15,9°C y una precipitación media de 686 mm anuales; los suelos son en su mayoría Vertisoles de textura arcillosa alterados por acciones antropogénicas (Gutiérrez y Ortiz 1999).

Se seleccionaron 21 áreas verdes bajo los siguientes criterios: ubicación (dentro de la ciudad de Texcoco), administración (mantenimiento a cargo de la ciudad) y acceso (abiertas o de libre acceso al público) (cuadro 1). Se utilizaron imágenes de Google Earth del año 2021, las cuales se descargaron al sistema de información geográfica QGIS versión 3.28.4 *Firenze*, utilizando el complemento "QuickMapServices" para ubicar y digitalizar las áreas verdes; posteriormente, se determinó la superficie, perímetro y se generó una base de datos en Microsoft Excel® incorporando la tipología con base en su función, infraestructura y artículos relacionados (Saavedra-Romero *et al.* 2019, Alanís *et al.* 2020, Morales-Gallegos *et al.* 2021).

Levantamiento de la información. Se realizó un censo del arbolado que se encuentra establecido en las AVU; la información se levantó en los meses de junio a agosto de 2021, que es una etapa de crecimiento activo de la vegetación arbórea (Velasco *et al.* 2013). Se consideraron los árboles

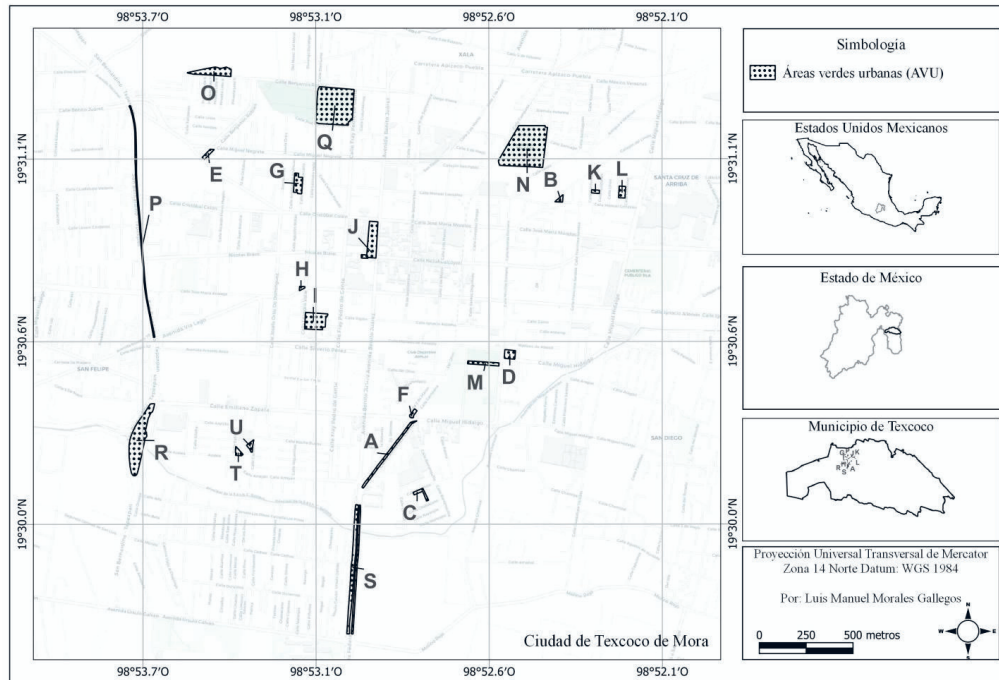


Figura 1. Ubicación de las áreas verdes urbanas en la ciudad de Texcoco de Mora, Estado de México, México.

Location of urban green areas in the city of Texcoco de Mora, State of Mexico, Mexico.

Cuadro 1. Áreas verdes evaluadas dentro de la ciudad de Texcoco de Mora, Estado de México, México.

Green areas evaluated within the city of Texcoco de Mora, State of Mexico, Mexico.

ID	Nombre	Perímetro (m)	Superficie (m ²)
A	Boulevard Jiménez Cantú	940,5	4.687,2
B	Valle de Santa Cruz 2	141,7	848,9
C	Jardín San Martín	259,8	1.379,9
D	Parque Niños Héroeos	205	2.632,2
E	Parque las Américas	174,7	1.123,3
F	Parque del Ahuehuete	132,9	876,1
G	Parque Heberto Castillo	304,9	4.167,7
H	Parque Arteaga	92	435
I	Parque de la Tercera Edad	406	9.478,5
J	Jardín Municipal	549,6	9.765,8
K	Valle de Santa Cruz 3	118,3	717,8
L	Valle de Santa Cruz 1	192,7	2.128,9
M	Parque Municipal	366,9	2.694
N	Alameda Texcoco	849,5	43.898,9
O	Parque Xolache	517	7.436,3
P	Camellón Lechería	2.505,4	7.554,3
Q	Deportivo Silverio Pérez	765,4	37.159,4
R	Parque Bicentenario	859,2	21.397,4
S	Boulevard Chapingo	2.801,4	16.347,4
T	Las vegas 1	151,5	1.105,6
U	Las vegas 2	167,9	1.173,2
	Total	12.503,3	177.008,6

con un diámetro ≥ 5 cm (Dangulla *et al.* 2019, Saavedra-Romero *et al.* 2019). Para cada árbol fueron evaluadas las siguientes variables: la altura total (At) de cada árbol con un clinómetro electrónico Haglöf ECII D[®], el diámetro normal (Dn) con una cinta diamétrica (Forestry Suppliers Inc[®], Jackson, MS) y en los casos en que el tronco se encontró bifurcado por debajo de 1,3 m de altura, cada tronco se consideró como un árbol individual (Morgenroth *et al.* 2020), además, se estimó el área basal (Ab) y la cobertura de copa (Cc) con una cinta métrica de 50 m de longitud (Truper[®]) de una línea de goteo a otra y en sentido de los puntos cardinales (cuadro 2); en gabinete se calcularon ambas variables (Saavedra-Romero *et al.* 2019, Alanís *et al.* 2020). Finalmente, para realizar comparaciones estadísticas entre índices y AVU, se aplicó un muestreo con sitios circulares de dimensiones fijas, con una intensidad de muestreo del 15 %, estableciendo 66 parcelas de 0,04 ha cada una (400 m²) (r = 11,28 m) ubicadas de forma aleatoria dentro de las AVU, con base en la metodología del Inventario Nacional Forestal de México (Saavedra-Romero *et al.* 2019, CONAFOR 2011).

Se identificaron las especies por nombre común y científico, esto a través de claves botánicas y guías de campo;

cuando por este medio no se lograron identificar las especies arbóreas, se realizó una colecta botánica y se llevó al herbario Hortorio (CHAPA) del Colegio de Postgraduados para su identificación; se determinó el origen (nativa o no nativa) y se contabilizó el número de árboles por AVU (Número de árboles AVU⁻¹), así como la densidad arbórea (Número de árboles ha⁻¹) (Sikuzani *et al.* 2019, Alanís *et al.* 2020, Martínez-Trinidad *et al.* 2021). Finalmente, se verificó la nomenclatura correcta de las especies utilizando la plataforma web Tropicos[®] (Tropicos 2021).

Diversidad y estructura. Fueron calculados en una hoja de Microsoft Excel[®] los índices de riqueza de las especies utilizando el índice de Margalef (D_{Mg}), la diversidad con el índice de Shannon-Wiener (H') y el índice de Simpson (ID_s), así como un índice foráneo (Sa), que indica el porcentaje de especies no nativas con relación a las nativas, es decir, el porcentaje de aquellas especies que no son originarias de la región (Leal *et al.* 2018) (cuadro 2). Para facilitar la interpretación del índice de Simpson, el valor fue expresado como el complemento del índice: $1-ID_s$ (1-D), indicando, que cuando el valor se aproxima a 1, la diversidad tiende a ser mayor (Saavedra-Romero *et al.* 2019). Se evaluó el

Cuadro 2. Fórmulas utilizadas para determinar la riqueza, diversidad, especies foráneas e índice de valor de importancia, encontradas en las áreas verdes evaluadas dentro de la ciudad de Texcoco de Mora, Estado de México, México.

Formulas used to determine richness, diversity, alien species and importance value index, found in the green areas evaluated within the city of Texcoco de Mora, State of Mexico, Mexico.

Fórmulas	Donde
$Ab = (\pi / 4) * d^2$	$\pi = 3.1416$ d = diámetro Ab = área basal (m ²)
$Cc = (D1 + D2) / 2$	D1 = diámetro mayor D2 = diámetro menor Cc = cobertura de copa (m ²)
$D_{Mg} \frac{S-1}{\ln(N)}$	D_{Mg} = índice de Margalef S = número de especies presentes N = número total de individuos ln = logaritmo natural
$H' = - \sum pi \ln(pi),$ con $pi = \frac{ni}{N}$	H' = índice de Shannon-Weiner ln = logaritmo natural N = número total de individuos ni = número de especies individuales
$ID_s = \sum \left(\frac{(ni(ni-1))}{N(N-1)} \right)$	ni = número de individuos de la i-ésima especie N = número total de individuos ID_s = índice de Simpson
$Sa = \left(\frac{Snn}{(Snn+Sn)} \right) x 100$	Snn = número de especies no nativas Sn = número de especies nativas Sa = índice Foráneo
$IVI = \frac{\sum_{i=1}^n (ARi + DRi + FRi)}{3}$	ARi = abundancia relativa de la especie i respecto al total DRi = dominancia relativa de la especie i respecto al total FRi = frecuencia relativa de la especie i respecto al total IVI = índice de valor de importancia

índice de valor de importancia (*IVI*), el cual resulta de la suma de los valores porcentuales de la abundancia ($N \text{ ha}^{-1}$), dominancia ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$) y frecuencia, y determina la presencia de cada especie dentro de la comunidad evaluada, considerando el ajuste en la escala propuesto por Alanís *et al.* (2020), para que el resultado sea en una escala de 0 a 100, lo que permite una interpretación más sencilla (cuadro 2).

Evaluación de la condición de salud. Para evaluar la fluorescencia de la clorofila (Fv/Fm), se implementó un muestreo aleatorio simple de los árboles censados por cada AVU con una confiabilidad del 95 %, utilizando la fórmula de Sosa-Martínez *et al.* (2020).

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2Z^2} \quad [1]$$

Donde:

n = tamaño de muestra mínimo

N = tamaño de la población

$\sigma = 0,5$

Z = nivel de confianza 1,96 (95 % de confianza)

e = límite aceptable de error (0,05)

Se utilizó un fluorímetro portátil Pocket PEA (Hansatech Instruments Ltd., King's Lynn, UK), con los parámetros de detección de 1s y una emisión de luz a una longitud de onda de 650 nm con una intensidad de $3.500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Las mediciones se realizaron a través de adaptar a la obscuridad (10 minutos) con los clips del fluorímetro un total de 5 hojas elegidas al azar alrededor de la copa de cada árbol (Morales-Gallegos *et al.* 2019).

Análisis de datos. La información recolectada en campo se compiló en una base de datos en Microsoft Excel®, esta se organizó a través del uso de tablas dinámicas con fines descriptivos y se utilizó la función “agrupar” del mismo software para establecer intervalos de clases diamétricas y de alturas (Alanís *et al.* 2020). Se empleó la prueba de Kruskal-Wallis para comparar las AVU por tipología y entre especies, se compararon las medias a través de la función *kruskal* ($n > 2$) del paquete *agricolae* del software R, el cual utiliza el criterio de Diferencia Mínima Significativa de Fisher (LSD). Finalmente, se emplearon correlaciones de Pearson (r) entre las variables tomadas del arbolado urbano, índices de diversidad y fluorescencia de la clorofila, a través de la versión Studio del Software R (R Core Team 2021).

RESULTADOS

Composición y diversidad. La superficie total evaluada de AVU fue de 177.009 m^2 , con una densidad arbórea de 130 N ha^{-1} . Las familias más representativas fueron Cupressaceae y Rosaceae con cuatro taxones cada una, Oleaceae y Fabaceae con tres; y finalmente, Pinaceae y Bignoniaceae con dos. Las angiospermas representaron el 75,31 %

de la población censada, mientras que las gimnospermas el 24,69 %. Se registraron 1.543 árboles, identificando 53 especies distribuidas en 36 géneros y 24 familias; de estas 16 son nativas y 37 introducidas (cuadro 3). Las 21 AVU presentaron una superficie y funciones variadas, la diversidad fue diferente ($P < 0,05$) entre las áreas verdes (figura 2). Se identificaron y clasificaron cuatro tipos principales de áreas verdes, de los cuales 3 fueron del tipo *alineación* (se identifican como camellones, bulevares o vías transitadas), 5 del tipo *deportivo* (presentan mobiliario para el desarrollo de diversas actividades físicas o deportivas), 5 de tipo *parque* (cuentan con fuentes, quioscos, monumentos) y 8 clasificados como *parques de contemplación* (cuentan únicamente con bancas). Se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) en la riqueza y diversidad a nivel de tipos de AVU (cuadro 5), presentando el mayor valor de riqueza y diversidad el AVU de tipo *parque* ($H' = 1,912$, $D_{Mg} = 2,774$), caso contrario, el AVU de tipo *alineación* presentó los valores más bajos ($H' = 1,031$, $D_{Mg} = 0,842$).

En cuanto a las especies más representativas estas fueron *Casuarina equisetifolia* L. con una densidad de $17,32 \text{ N ha}^{-1}$ (13,35 %), *Jacaranda mimosifolia* D. Don con $14,13 \text{ N ha}^{-1}$ (10,89 %), *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh. con $10,93 \text{ N ha}^{-1}$ (8,43 %), *Cupressus sempervirens* L. con $10,34 \text{ N ha}^{-1}$ (7,97 %), *Ficus benjamina* L. con $10,09 \text{ N ha}^{-1}$ (7,78 %) y *Cupressus macrocarpa* Hartw. con $9,42 \text{ N ha}^{-1}$ (7,26 %); lo cual representa un 55,67 % de la población arbórea censada (cuadro 4).

Con relación a las clases diamétricas, las especies arbóreas presentaron una distribución asimétrica positiva (figura 3A), en la cual, la mayor abundancia se registró en la clase diamétrica de 5,09 - 18,09 cm con 724 N ha^{-1} . Referente a las alturas (figura 3B), se encontraron pocos árboles de porte bajo, la mayor parte de los individuos se ubicó en la clase de 4 a 6,99 m con un total de $58,45 \text{ N ha}^{-1}$.

Salud del arbolado. Se evaluaron 2.745 registros de fluorescencia de clorofila (Fv/Fm) provenientes de 549 árboles muestreados. La Fv/Fm en las especies arbóreas indicó que la mayoría de los árboles presentan algún tipo de estrés. El rango de Fv/Fm de las especies evaluadas fue de 0,497 (*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.) a 0,847 (*Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex Carrière). Se consideró el rango de menor estrés (saludables) a los valores entre 0,780 y 0,850 ya que diversos estudios en árboles caducifolios y perenifolios indican que dentro de este rango se encuentra arbolado saludable poco estresado, con un óptimo comúnmente alrededor del valor de 0,830 (Percival 2005, Johnstone *et al.* 2013, Callow *et al.* 2018), por lo que sólo 16 de las 53 especies estudiadas presentaron una condición libre de estrés, dentro de las cuales encontramos a *Prunus salicifolia* Kunth, *Cupressus lusitanica* Mill., *Pinus patula* Schltldl. & Cham., *Pinus greggii* Engelm. ex Parl., *Cupressus macrocarpa* Hartw. y *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton (figura 4), sin embargo, la Fv/Fm por tipo de área verde presentó diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$) (cuadro 5).

Cuadro 3. Especies arbóreas y promedio de variables dasométricas encontradas en 21 áreas verdes de la ciudad de Texcoco de Mora, Estado de México, México.

Tree species and average of dasometric variables found in 21 green areas of Texcoco de Mora, State of Mexico, Mexico.

Especie	Familia	Árboles	Origen	Dn	At	Ab	Cc
<i>Acacia angustissima</i> (Mill.) Kuntze	Fabaceae	1	Nn	17,19	5,90	5,82	14,19
<i>Acacia baileyana</i> F. Muell.	Fabaceae	5	Nn	11,17	4,52	8,95	14,70
<i>Acacia longifolia</i> (Andrews) Willd.	Fabaceae	5	Nn	15,22	5,98	6,57	14,86
<i>Acacia mearnsii</i> De Wild.	Fabaceae	1	Nn	9,58	5,60	10,44	16,26
<i>Acacia melanoxylon</i> R. Br.	Fabaceae	12	Nn	12,24	5,50	8,17	11,37
<i>Acacia pycnantha</i> Benth.	Fabaceae	1	Nn	8,59	5,70	11,64	3,98
<i>Acacia saligna</i> (Labill.) H.L. Wendl.	Fabaceae	2	Nn	24,19	4,70	4,13	12,09
<i>Alnus japonica</i> (Thunb.) Steud.	Betulaceae	3	Nn	16,52	8,23	6,05	15,20
<i>Araucaria columnaris</i> (J.R. Forst.) Hook.	Araucariaceae	5	Nn	8,89	4,10	11,24	4,61
<i>Bauhinia variegata</i> L.	Fabaceae	15	Nn	16,13	5,35	6,20	16,35
<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	Casuarinaceae	206	Nn	28,05	9,41	3,57	20,53
<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Manetti ex Carrière	Pinaceae	5	Nn	44,11	11,48	2,27	36,73
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> (A. Murray) Parl.	Cupressaceae	1	Nn	14,32	4,40	6,98	8,22
<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	Rutaceae	1	Nn	18,46	3,00	5,42	0,79
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Rutaceae	1	Nn	14,16	5,40	7,06	4,34
<i>Crataegus mexicana</i> DC.	Rosaceae	1	Na	8,75	5,10	11,42	3,80
<i>Cupressus arizonica</i> Greene	Cupressaceae	3	Nn	19,30	9,90	5,18	9,67
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	Cupressaceae	97	Na	23,78	6,91	4,21	20,03
<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw.	Cupressaceae	112	Nn	13,64	4,81	7,33	7,31
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	Cupressaceae	123	Nn	13,56	7,26	7,37	5,71
<i>Duranta repens</i> L.	Verbenaceae	1	Na	8,75	5,00	11,42	10,18
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	Rosaceae	1	Nn	18,27	7,30	5,47	5,56
<i>Erythrina americana</i> Mill.	Fabaceae	6	Na	66,92	8,57	1,49	35,81
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	Myrtaceae	60	Nn	41,79	13,73	2,39	50,62
<i>Eucalyptus cinerea</i> F. Muell. ex Benth.	Myrtaceae	2	Nn	61,20	13,85	1,63	36,02
<i>Euphorbia cotinifolia</i> L.	Euphorbiaceae	3	Na	13,40	5,87	7,46	13,48
<i>Ficus benjamina</i> L.	Moraceae	120	Nn	23,73	5,29	4,21	12,24
<i>Ficus microcarpa</i> L.f.	Moraceae	108	Nn	21,21	6,20	4,72	16,35
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	Oleaceae	130	Na	23,29	7,61	4,30	24,69
<i>Grevillea robusta</i> A. Cunn. ex R. Br.	Proteaceae	11	Nn	13,49	5,92	7,41	9,44
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D.Don	Bignoniaceae	168	Nn	20,70	6,70	4,83	22,28
<i>Juglans regia</i> L.	Juglandaceae	1	Nn	8,02	2,50	12,47	0,66
<i>Ligustrum lucidum</i> W.T. Aiton	Oleaceae	86	Nn	16,16	5,06	6,19	14,57
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	Altingiaceae	7	Na	20,88	8,00	4,79	22,58
<i>Magnolia grandiflora</i> L.	Magnoliaceae	35	Nn	11,93	4,81	8,38	7,98
<i>Malus domestica</i> (Suckow) Borkh.	Rosaceae	2	Nn	12,38	4,90	8,08	13,66
<i>Olea europaea</i> L.	Oleaceae	1	Nn	12,19	6,00	8,20	4,85
<i>Persea americana</i> Mill.	Lauraceae	1	Na	11,81	3,90	8,47	11,95
<i>Pinus arizonica</i> Engelm.	Pinaceae	6	Na	8,85	3,80	11,31	4,88
<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.	Pinaceae	13	Na	24,86	6,88	4,02	29,03
<i>Pinus monophylla</i> Torr. & Frém.	Pinaceae	1	Na	10,44	3,50	9,58	4,71
<i>Pinus patula</i> Schlttdl. & Cham.	Pinaceae	3	Na	32,79	8,80	3,05	29,16
<i>Platanus mexicana</i> Moric.	Platanaceae	2	Na	7,96	5,00	12,56	11,16

Continúa

Continuación Cuadro 3

<i>Populus alba</i> L.	Salicaceae	18	Nn	12,93	4,97	7,73	11,76
<i>Populus deltoides</i> Marshall	Salicaceae	20	Nn	38,48	10,90	2,60	41,48
<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	Rosaceae	6	Nn	10,70	4,40	9,35	12,13
<i>Prunus salicifolia</i> Kunth	Rosaceae	3	Na	14,87	6,43	6,73	9,38
<i>Quercus virginiana</i> Mill.	Fagaceae	3	Na	24,35	7,07	4,11	8,73
<i>Schinus molle</i> L.	Anacardiaceae	106	Nn	46,48	9,09	2,15	31,28
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	Bignoniaceae	1	Nn	9,96	3,80	10,04	5,75
<i>Talipariti tiliaceum</i> (L.) Fryxell	Malvaceae	6	Nn	7,36	4,13	13,59	5,04
<i>Taxodium huegelii</i> C.Lawson	Cupressaceae	10	Na	46,75	7,47	2,14	44,77
<i>Thuja occidentalis</i> L.	Cupressaceae	2	Nn	18,41	3,10	5,43	1,66

Nn = No nativa, Na = Nativa, Dn = Diámetro normal (cm), At = Altura total (m), Ab = Área basal (m²), Cc = Cobertura de copa (m²).

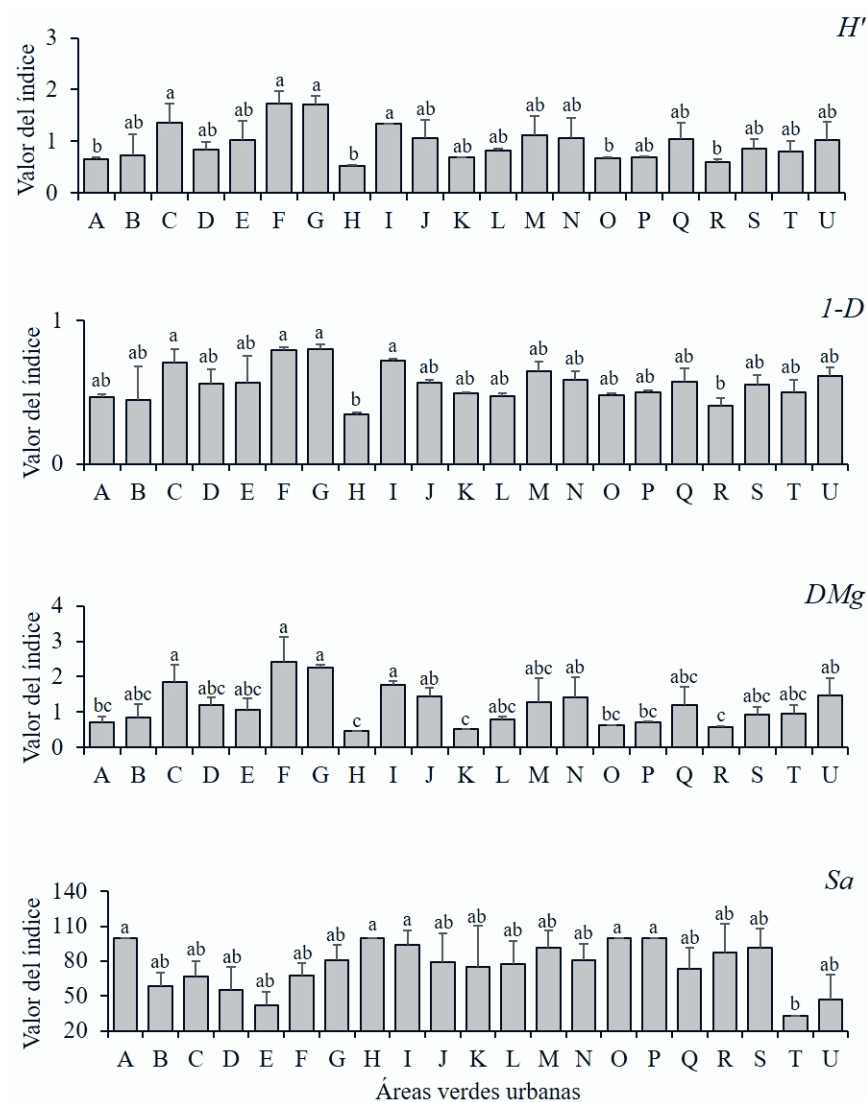


Figura 2. Índices de riqueza y diversidad encontrados en 21 áreas verdes de la ciudad de Texcoco de Mora, Estado de México, México. H' = Índice de Shannon-Weiner; $I-D$ = Índice de Simpson; D_{Mg} = Índice de Margalef; Sa = Índice Foráneo. Las barras indican el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Richness and diversity indices found in 21 green areas of Texcoco de Mora, State of Mexico, Mexico. H' = Shannon-Weiner index; $I-D$ = Simpson's index; D_{Mg} = Margalef Index; Sa = Alien Index. The bars indicate the standard error. Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

Cuadro 4. Parámetros ecológicos encontrados de las especies arbóreas más frecuentes ($\geq 3 \text{ N ha}^{-1}$) en las áreas verdes de la ciudad de Texcoco de Mora, Estado de México, México.

Ecological parameters found in the most frequent tree species ($\geq 3 \text{ N ha}^{-1}$) in the green areas of Texcoco de Mora, State of Mexico, Mexico.

Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valor de importancia
	N ha ⁻¹	%	m ² ha ⁻¹	%	N sitio ⁻¹	%	IVI
<i>Schinus molle</i> L.	8,91	6,87	2,07	22,72	8	4,47	11,35
<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	17,32	13,35	1,26	13,88	4	2,23	9,82
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	14,13	10,89	0,79	8,65	12	6,70	8,75
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	10,93	8,43	0,78	8,57	13	7,26	8,09
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	8,16	6,29	0,60	6,55	15	8,38	7,07
<i>Ficus benjamina</i> L.	10,09	7,78	0,49	5,43	8	4,47	5,89
<i>Ficus microcarpa</i> L. f.	9,08	7,00	0,44	4,78	10	5,59	5,79
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	5,05	3,89	0,87	9,52	5	2,79	5,40
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	10,34	7,97	0,16	1,80	9	5,03	4,93
<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw.	9,42	7,26	0,16	1,75	9	5,03	4,68
<i>Ligustrum lucidum</i> W.T. Aiton	7,23	5,57	0,16	1,80	10	5,59	4,32

Cuadro 5. Índices de diversidad y fluorescencia de la clorofila (Fv/Fm) obtenidos por tipo de área verde dentro de la ciudad de Texcoco de Mora, Estado de México, México.

Diversity indices and chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) obtained by type of green area within the city of Texcoco de Mora, State of Mexico, Mexico.

Tipo de área verde	Shannon (H')	Simpson (1-D)	Margalef (D _{Mg})	Foráneo (Sa)	Fv/Fm
Alineación	1,031 ± 0,452 ^b	0,603 ± 0,112 ^b	0,842 ± 0,472 ^b	76,852 ± 22,280 ^a	0,758 ± 0,083 ^a
Deportivos	1,553 ± 0,296 ^b	0,694 ± 0,070 ^b	2,012 ± 0,782 ^b	76,254 ± 12,046 ^{ab}	0,761 ± 0,076 ^a
Parque de contemplación	1,221 ± 0,582 ^b	0,599 ± 0,210 ^b	1,364 ± 1,013 ^b	55,053 ± 19,202 ^c	0,772 ± 0,062 ^a
Parques	1,912 ± 0,276 ^a	0,768 ± 0,083 ^a	2,774 ± 0,392 ^a	65,542 ± 10,121 ^{bc}	0,753 ± 0,081 ^b

Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$), ± = error estándar.

Correlación entre las variables estudiadas. Los resultados de la correlación de Pearson (r) se presentan en el cuadro 6. La correlación entre las variables estudiadas indicó algunas asociaciones, como, por ejemplo, la correlación positiva de la altura con el diámetro, esto a pesar de que se realizan actividades como la poda de la copa, lo que reduce considerablemente la altura total del árbol, por otra parte, se encontró una correlación negativa de la altura con la Fv/Fm, también se relacionó el tipo de área verde con la longitud de su perímetro, así una asociación entre el número de especies arbóreas por tipo de área verde y por superficie. Por otro lado, no se encontró ningún tipo de asociación entre la Fv/Fm, la riqueza o diversidad arbórea en las áreas verdes de la ciudad.

DISCUSIÓN

La composición arbórea encontrada en las AVU de la ciudad de Texcoco resultó superior a la que presenta la ciudad de Montemorelos, Nuevo León, México, con 918 árboles distribuidos en 13 especies y 11 géneros (Canizales *et al.* 2020), e inferior a ciudades como Mérida y Playa del Carmen en el sureste mexicano, donde se han documentado hasta 134 especies por AVU (De la Concha *et al.* 2017). Ciudades fuera de México, como, por ejemplo, Srinagar, India, presentaron 342 especies pertenecientes a 66 familias ubicadas en 18 AVU (Mehraj *et al.* 2021); mientras en el noroeste de Nigeria, África, estudios florísticos urbanos han contabilizado hasta 56 especies en 46 géneros y 22

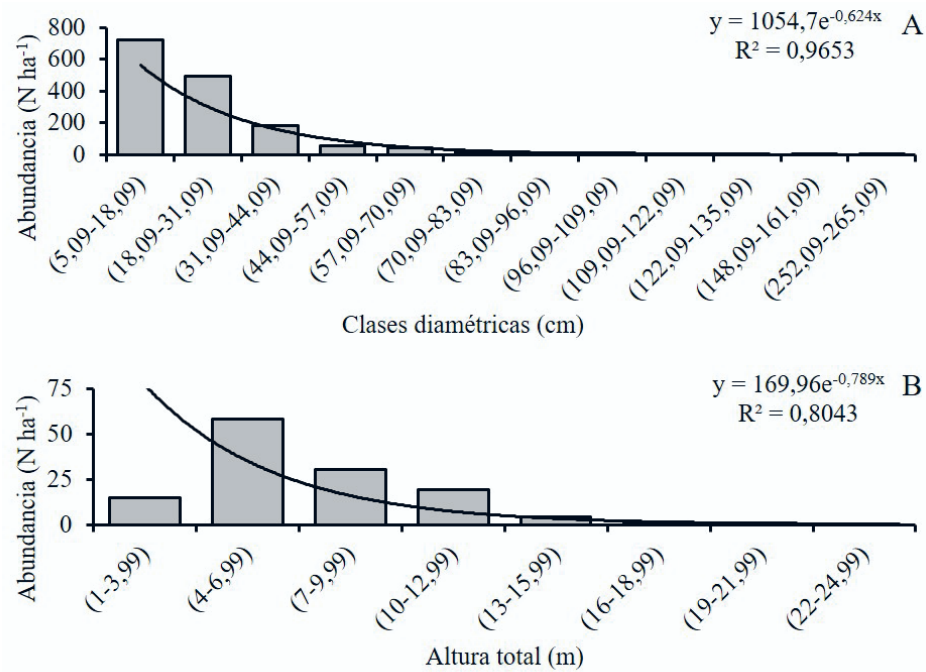


Figura 3. A. Abundancia arbórea encontrada en las diferentes áreas verdes evaluadas dentro de la ciudad de Texcoco de Mora de acuerdo a su diámetro normal (cm). B. Abundancia arbórea encontrada en las diferentes áreas verdes de la ciudad de Texcoco de Mora de acuerdo a su altura total (m).

A Tree abundance found in the different green areas evaluated within the city of Texcoco de Mora according to diameter at breast height (cm). B. Tree abundance found in the different green areas of the city of Texcoco de Mora according to total height (m).

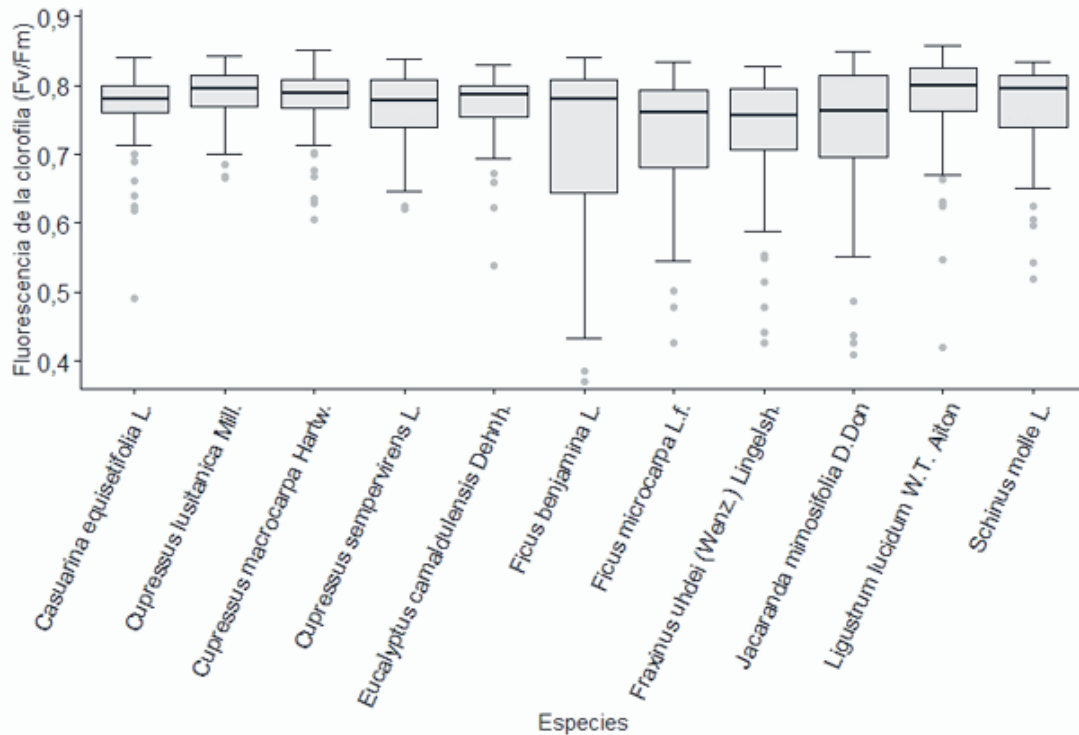


Figura 4. Fluorescencia de la clorofila obtenida de las especies arbóreas más frecuentes ($\geq 3 \text{ N ha}^{-1}$) en las áreas verdes de la ciudad de Texcoco de Mora, Estado de México, México.

Chlorophyll fluorescence obtained from the most frequent tree species ($\geq 3 \text{ N ha}^{-1}$) in the green areas of Texcoco de Mora, State of Mexico, Mexico.

Cuadro 6. Matriz de correlación de Pearson (r) obtenida entre las variables estudiadas, índices de diversidad y fluorescencia de clorofila (Fv/Fm) dentro de la ciudad de Texcoco de Mora, Estado de México, México.

Pearson correlation matrix (r) obtained between the studied variables, diversity indices and chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) within the city of Texcoco de Mora, State of Mexico, Mexico.

Variables	Shannon	Simpson	Margalef	Foráneo	Fv/Fm	Promedio Altura	Promedio Diámetro	Área (ha)	Perímetro (m)	Exóticas	Nativas	Familias	Número de árboles	Alineación	Deportivo	Parques	Contemplación	Especies
Shannon	1	0,959 ****	0,95 ****	-0,243	0,234	-0,207	-0,04	0,403*	-0,139	0,304	0,375*	0,826 ****	0,347	-0,326 **	0,126	0,272*	-0,133	0,877 ****
Simpson		1	0,838 ****	-0,348	0,199	-0,225	0,003	0,339	-0,155*	0,202	0,331*	0,708 ****	0,249	-0,282 **	0,131	0,095	0	0,744 ****
Margalef			1	-0,14	0,28	-0,196*	-0,076	0,332*	-0,196	0,284	0,335*	0,84 ****	0,32	-0,393 **	0,134	0,384 **	-0,198	0,915 ****
Foráneo				1	0,043	-0,216	-0,373*	0,119	0,179	0,057	-0,194	-0,02	0,003	0,181	0,228	0,251	-0,581 ****	-0,078
Fv/Fm					1	-0,521 ****	-0,141*	-0,023	0,141	0,036	-0,302	0,19	-0,04	0,129	0,126	0,264*	-0,462*	0,223
Promedio Altura						1	0,676 ****	0,097	0,278	0,285	0,338	0,007	0,321	0,14	0,052	-0,207*	0,047	-0,075
Promedio Diámetro							1	-0,091	0,015	-0,058	0,077	-0,056	-0,031	-0,023	0,262	-0,274 **	0,042	-0,122
Área (ha)								1	0,394	0,792 ****	0,725 ****	0,7 ****	0,844 ****	0,038	0,265	0,178	-0,438*	0,611 ****
Perímetro (m)									1	0,574*	0,039	0,109	0,498*	0,799 ****	-0,009	-0,115	-0,474*	-0,005
Exóticas										1	0,552 **	0,664 **	0,981 ****	0,293	-0,056	0,348*	-0,5 **	0,617 **
Nativas											1	0,617 ****	0,704 ****	-0,18	0,202	-0,027	-0,023	0,539 **
Familias												1	0,71 ****	-0,215	0,242 **	0,443 **	-0,484	0,958 ****
Número de árboles													1	0,207	-0,001	0,29	-0,432*	0,652 **
Alineación														1	-0,228	-0,258	-0,289	-0,284*
Deportivo															1	-0,354	-0,395	0,099
Parques																1	-0,447*	0,501 **
Contemplación Especies																	1	-0,359

Nivel de significancia alfa = 0,5; **** P < 0,0001; *** P < 0,001; ** P < 0,01; * P < 0,05.

familias (Dangulla *et al.* 2019). La diferencia en composición arbórea en AVU puede atribuirse a diferentes variables como lo son las condiciones climáticas, superficie de AVU y acciones de manejo sobre el arbolado (Canizales *et al.* 2020, Morgenroth *et al.* 2020).

La densidad arbórea fue superior a la encontrada en otras AVU de México, por ejemplo, se han reportado valores de 74,43 N ha⁻¹ (Linares, Nuevo León), 96 N ha⁻¹ (Mérida) y 104 N ha⁻¹ (Playa del Carmen) (De la Concha *et al.* 2017, Leal *et al.* 2018). Sin embargo, es inferior a lo reportado por Canizales *et al.* (2020) para la ciudad de Montemorelos, Nuevo León, México con un valor de 194,6 N ha⁻¹, así como por lo evaluado en cuatro parques de la ciudad de Texcoco con un valor de 167 N ha⁻¹ (Martínez-Trinidad *et al.* 2021). Una alta densidad arbórea en AVU se asocia con problemas de competencia por recursos, reducción de copa, baja densidad de follaje y deformaciones en la forma de copa (Bihunova *et al.* 2021), lo que altera negativamente la condición de salud, por ejemplo, al reducir la actividad fotosintética y consecuentemente la producción de carbohidratos como fuente energética (Morales-Gallegos *et al.* 2019). La variabilidad en la densidad puede explicarse debido a la forma y superficie de las AVU, así como a la función y tipos de áreas verdes dentro de la red urbana. También existen factores climáticos, selección de especies, adaptabilidad o manejo, que influyen en la densidad del arbolado urbano (Dangulla *et al.* 2019, Bingqian *et al.* 2020, Canizales *et al.* 2020).

Las clases diamétricas mostraron una asimetría positiva (figura 3A), esto indica que la proporción de la población disminuye exponencialmente con cada aumento de clase (Morgenroth *et al.* 2020). Lo anterior indica que la población arbórea está compuesta por arbolado con pocos ejemplares maduros y longevos, existiendo mayormente arbolado joven el cual tiene el potencial de seguir aumentando su biomasa (Alanís *et al.* 2014, Alanís *et al.* 2020, Canizales *et al.* 2020); sin embargo, el propio entorno urbano limita el crecimiento y desarrollo del arbolado, debido a diversos factores de estrés como el tipo de suelo, sequías, espacio de crecimiento de las raíces, entre otros (Bihunova *et al.* 2021), por lo que se vuelve impreciso por este medio determinar el estado de madurez de la vegetación y su composición (Dangulla *et al.* 2019). La estimación de la composición arbórea permite integrar adecuadamente las actividades de manejo necesarias para mantener en óptimo estado el arbolado urbano, como el riego a corto plazo y la poda a largo plazo, remoción y sustitución de especies, entre otras (Morgenroth *et al.* 2020).

Las clases de altura encontradas en las AVU de la ciudad de Texcoco (árboles jóvenes de 4 a 7 m de altura) (figura 3B) son similares a las encontradas por Canizales *et al.* (2020) en áreas verdes de la ciudad de Montemorelos, Nuevo León, México, esto posiblemente por acciones similares en el manejo de los espacios verdes. En este sentido, la altura de los árboles en AVU (generalmente de porte bajo), al menos en Latinoamérica, está condicionada por

labores de mantenimiento, programas de reposición de arbolado, así como por las especies utilizadas e infraestructura presente, siendo un reflejo de las actividades que se llevan a cabo (Saavedra-Romero *et al.* 2019). Algunas de las relaciones alométricas en arbolado utilizan la altura como una variable para el estudio de biomasa y captura de carbono, sin embargo, en áreas urbanas puede no ser preciso debido a la pobre correlación que existe derivado de las acciones antropogénicas llevadas a cabo sobre las especies arbóreas (Scholz *et al.* 2018).

Riqueza y Diversidad. La diversidad fue diferente para las áreas verdes evaluadas ($P < 0,05$) (figura 2); el índice de Shannon-Weiner (H') se ubicó dentro del rango de 0,53 a 1,73, cuyos valores corresponden a “Parque Arteaga” y “Parque del Ahuehuete” respectivamente, lo cual indica por tanto que Parque Ahuehuete es el área verde que presenta la mayor riqueza de especies. El índice de Simpson ($1-D$), obtuvo valores de 0,35 (Parque Arteaga) y 0,80 (Parque Heriberto Castillo y Parque del Ahuehuete); dado que este índice es más intuitivo que el de Shannon-Weiner para estimar diversidad con base en la dominancia de las especies, se corrobora el parámetro de diversidad en algunas áreas verdes (valor cercano a 1); mientras que el índice de Margalef (D_{Mg}) presentó valores de 0,46 a 2,42, valores de riqueza que son congruentes con los índices anteriores. La diversidad en la vegetación urbana está relacionada con su condición de salud, ya que una mayor diversidad de especies, es indicativo de una mejor condición de salud de los individuos, esto debido a que la homogeneidad de géneros y especies es poco recomendable pues incrementa la vulnerabilidad ante plagas y enfermedades (Saavedra-Romero *et al.* 2019). Sin embargo, se encontró que a nivel de tipos de AVU, un valor alto de diversidad ($H' = 1,912$), no indica que se encuentren en una mejor condición de salud, esto al evaluar el estrés ($Fv/Fm = 0,753$), por lo que pueden existir factores no estudiados en este trabajo como la cantidad de usuarios que visitan un espacio verde y que inducen estrés al arbolado, lo que puede demeritar su condición de salud a largo plazo.

La diferencia en los valores de riqueza y diversidad encontrados se pueden explicar a través de la tipología de AVU (cuadro 5), por ejemplo, en áreas verdes de *alineación* (*i.e.* vías transitadas, bulevares, camellones, entre otras) es común utilizar pocas especies predominando el monocultivo, debido principalmente a preferencias estéticas o por la generación de barreras vivas con características uniformes (Cowett y Bassuk 2020) y que se corrobora en este trabajo con una $H' = 1,031$. Un estudio realizado por Bingqian *et al.* (2020) a lo largo de varias ciudades de los Estados Unidos, encontró que el arbolado ubicado en calles presentaba mayor diversidad a una escala global y cuando se reducía la escala (*i.e.* local) la diversidad también disminuía, algo similar sucedió en el área de estudio, donde la diversidad se determinó como la más baja en arbolado ubicado cerca de calles. También se observó que, de los cuatro tipos de áreas verdes estudiados, los *parques de contemplación*

presentaron valores de diversidad bajos ($H' = 1,221$, $I-D = 0,599$ y $D_{Mg} = 1,364$), esto posiblemente a que son menores en tamaño por lo que tienden a albergar menor cantidad de especies. El tamaño del área verde es un factor importante que define la biodiversidad no solo de plantas, sino también de insectos y fauna (Bingqian *et al.* 2020, Canizales *et al.* 2020). Esta relación especies-área también puede explicar porque el tipo de área categorizado como *parque*, presentó valores altos de diversidad vegetal, dado que estos espacios son los de mayor superficie en el área de estudio.

Por otro lado, el índice foráneo mostró que la mayor parte de las AVU estudiadas presentaron un alto porcentaje de especies no nativas (> 50 %) (cuadro 5), siendo “Boulevard Jiménez Cantú” (tipo *Alineación*) y “Parque Arteaga” (tipo *Parque de contemplación*) quienes cuentan exclusivamente con especies de origen exótico; por el contrario, el área “Las vegas 2” (tipo *Parque de contemplación*) presentó el valor más bajo de especies exóticas (40 %). Las AVU cuentan con especies arbóreas tanto nativas como no nativas, las cuales proveen de diversidad vegetal (Velasco *et al.* 2013), la cual puede ser inclusive mayor al de entornos naturales aledaños, situación común en diversas ciudades dentro y fuera de México (Dangulla *et al.* 2019, Saavedra-Romero *et al.* 2019, Martínez-Trinidad *et al.* 2021), sin embargo, la implementación de especies exóticas puede afectar los mecanismos de dispersión y reproducción de las especies nativas, alterando negativamente la diversidad. El valor más alto de IVI fue para *Schinus molle* L. con 11,35 %, seguido de *Casuarina equisetifolia* L. con 9,82 % y *Jacaranda mimosifolia* D. Don con 8,75 %, siendo todas especies no nativas para México (cuadro 4).

El uso de especies no nativas responde a varios factores, entre los que se encuentran el que sean de fácil adaptación al sitio de plantación, de fácil cultivo y propagación, gustos y preferencias por vegetación ornamental exótica, una mayor resistencia a factores de estrés urbano o poca disponibilidad de planta nativa, entre otros (Velasco *et al.* 2013, Dangulla *et al.* 2019, Cowett y Bassuk 2020, Martínez-Trinidad *et al.* 2021). Este uso puede afectar la condición de salud del arbolado nativo y llevar a un manejo intensivo del no nativo, incrementando los costos del mantenimiento (Velasco *et al.* 2013), así como también, existe el riesgo de naturalización de las especies exóticas, el cual puede tener impactos adversos en la biodiversidad nativa y los servicios ecosistémicos que proveen (Mehraj *et al.* 2021), lo que implica un mayor estudio de los efectos adversos sobre la vegetación nativa y el ambiente (Sjöman *et al.* 2018, Mehraj *et al.* 2021).

Salud. La evaluación de la fluorescencia de la clorofila (Fv/Fm), siendo un método de diagnóstico rápido, no destructivo que detecta el daño en el aparato fotosintético de la hoja de los árboles en respuesta al estrés ambiental (Percival 2005), fue utilizado como una medida indirecta de la condición de salud del arbolado; el cual indicó que el área tipo *parque de contemplación* obtuvo un valor de Fv/Fm

por arriba de los demás tipos de áreas (0,772) ($P < 0,05$), mientras que el área tipo *parque* presentó el valor más bajo siendo este significativo ($P < 0,05$); a pesar de esto, los tipos de AVU en este estudio se encuentran por debajo del valor de 0,780 lo que indica que el arbolado se encuentran en situación de estrés, condición que reduce la vitalidad y consecuentemente demerita la salud del arbolado (Callow *et al.* 2018, Morales-Gallegos *et al.* 2019). Un estudio con *Acer pseudoplatanus* L. compara la Fv/Fm en condiciones rurales y de ciudad reportando valores de 0,829 y 0,814, respectivamente, concluyendo que los árboles se encontraban libres de estrés (Uhrin y Supuka 2016), y a pesar de que se obtuvo un valor significativamente menor en el área urbana, los autores lo atribuyeron al ambiente urbano adverso, sin embargo, aún el valor de 0,814 es mayor al promedio obtenido en el presente estudio (cuadro 5).

Existen factores no estudiados en el presente trabajo que pudieran alterar e influir en la vitalidad de las especies arbóreas como los visitantes a las áreas verdes de la ciudad, malas prácticas en manejo, mantenimiento, conservación y vandalismo, lo que demerita de forma general su condición de salud. Una condición libre de estrés repercute en una mayor vitalidad y por tanto en una mejor condición de salud (Morales-Gallegos *et al.* 2019).

Por otra parte, las correlaciones de Pearson (r) (cuadro 6) señalan la relación positiva entre el diámetro (variable independiente) y la altura de los árboles (variable dependiente) ($r = 0,676$; $P < 0,001$), siendo una relación comúnmente encontrada en la evaluación de árboles (Scholz *et al.* 2018); cabe mencionar que dadas algunas de las prácticas comunes en arbolado urbano en Latinoamérica como lo es la poda excesiva de la copa de los árboles (desmoche), esta relación puede verse afectada (Scholz *et al.* 2018), sin embargo, no es el caso del arbolado de las AVU en Texcoco, lo que puede indicar que existen las condiciones que permiten que los árboles mantengan una altura de acuerdo a su diámetro, lo cual puede conducir a estudios en el futuro sobre biomasa y captura de carbono con mayor precisión.

Se encontró una relación negativa de la altura con la Fv/Fm de los árboles ($r = -0,521$; $P < 0,001$), lo que puede estar relacionado con la edad, debido a que los árboles más altos generalmente tienen una edad mayor, es decir, a mayor edad menor condición de vitalidad y por tanto de salud; sin embargo, pocos estudios han evaluado la vitalidad en arbolado urbano en México (Morales-Gallegos *et al.* 2019). Existen estudios en otros países (*i.e.* Eslovaquia), donde se evalúa la vitalidad del arbolado con base en la condición de la copa y la altura, entre otras variables, encontrado una correlación significativa entre la métrica de la copa y la vitalidad, no así con la altura (Bihunova *et al.* 2021), aspecto encontrado en el presente trabajo.

Referente a los tipos de AVU, existe una relación positiva entre el tipo de área verde de *alineación* con el perímetro ($r = 0,799$; $P < 0,0001$), dado que las áreas de *alineación* son vías a lo largo de caminos transitados, es de esperar una relación de este tipo, situación que tiene implicaciones

en el mantenimiento debido a la dificultad de acceso; cabe mencionar que dadas estas limitaciones, estos espacios son poco frecuentados por los usuarios de áreas verdes en la ciudad, sin embargo, este diseño tiene implicaciones en la forma en la que se canaliza el crecimiento urbano. Para el tipo de área verde de *parque de contemplación* se observó que posee menos especies no nativas, en otras palabras, el incrementar estos espacios en la ciudad bajo el actual esquema en el que se establecen o diseñan en la ciudad de Texcoco pueden reducir la presencia de especies exóticas ($r = -0,581$; $P < 0,001$); bajo un enfoque de sostenibilidad, la presencia de un mayor número de *parques de contemplación*, puede limitar los beneficios de la diversidad vegetal, al no contemplar el uso de especies exóticas (Velasco *et al.* 2013, Bihunova *et al.* 2021). Sin embargo, es posible, que la presencia únicamente de especies nativas pueda alterar la condición de salud del arbolado de forma positiva, ya que estos espacios presentaron una diferencia significativa en el valor de Fv/Fm entre los tipos de AVU y el cual fue inversamente proporcional a la presencia de un mayor número de especies exóticas (cuadro 5).

Finalmente, las áreas de tipo *parque* se correlacionaron con un mayor número de especies ($r = 0,501$; $P < 0,01$), es de mencionar que algunos de estos espacios verdes son los que tienen la mayor superficie, encontrando una relación especies-área como en otros trabajos, sin embargo, presentan los valores más bajos de Fv/Fm ($0,753 \pm 0,081$); por tanto, en una AVU de mayor superficie es posible encontrar un mayor número de especies (diversidad), y al menos en las AVU de Texcoco no existe evidencia estadística de que esto sea un factor positivo para la condición de la salud del arbolado (Sjöman *et al.* 2018, Bingqian *et al.* 2020, Cowett y Bassuk 2020, Bihunova *et al.* 2021). Por lo anterior, no se encontró relación entre la condición de la salud del arbolado evaluado de manera indirecta (Fv/Fm), con la riqueza y diversidad de las AVU.

CONCLUSIONES

El estudio reveló que la densidad arbórea de las AVU en Texcoco fue superior a otros espacios verdes urbanos reportados en México, mientras que la composición y estructura muestran un arbolado conformado mayormente por especies jóvenes, lo que indica que existe un alto número de individuos con el potencial de convertirse en un posible reservorio de biomasa para el futuro. El uso de índices de riqueza y diversidad en el arbolado urbano de la ciudad de Texcoco, permitió evaluar la presencia de un mayor número de especies no nativas, así como también, encontrar diferencias en la diversidad arbórea entre tipos de áreas verdes en la ciudad. Por su parte, los valores de Fv/Fm utilizados como un indicador indirecto de la salud del arbolado, muestran que la mayor parte de la vegetación se encuentra en estrés posiblemente debido a los diversos factores ambientales que prevalecen en el área urbana; sin embargo, no se encontró relación entre los valores de Fv/Fm, riqueza y diversidad

alcanzada a nivel de especies, no así por tipo de AVU. La tipología de áreas verdes estudiada presentó diversas formas y superficies, se encontró que se relacionan positivamente con la riqueza y diversidad, así como con la salud a pesar de obtener valores por debajo del rango libre de estrés ($Fv/Fm < 0,780$). A pesar de lo anterior, los resultados contribuyen en el diseño de áreas verdes con base en las tipologías estudiadas a fin de modificar, por ejemplo, la diversidad en las AVU, origen de la vegetación y consecuentemente el manejo de las AVU. En estudio futuros, se recomienda incorporar variables como: la afluencia de usuarios a las AVU, prácticas de mantenimiento, nivel de contaminación, entre otras; que permitan dar una visión integradora de los factores que alteran la condición de salud del arbolado en las AVU.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Luis Manuel Morales-Gallegos: trabajo de campo, elaboración e integración del manuscrito y aplicación de correcciones; Tomás Martínez-Trinidad: supervisión del trabajo, revisión del manuscrito y aplicación de correcciones; Patricia Hernández-De la Rosa: revisión del manuscrito en lo relativo a materiales y métodos, resultados y conclusiones; Armando Gómez-Guerrero: Revisión general del manuscrito y aplicación de correcciones; Dionicio Alvarado Rosales: Revisión general del manuscrito y aporte de ideas; Luz de Lourdes Saavedra-Romero: revisión general del manuscrito y aporte de ideas.

FINANCIAMIENTO

El trabajo contó con apoyo parcial de la LGAC Mejoramiento estructural y funcional de los ecosistemas forestales del Colegio de Postgraduados, así como del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para estudios de posgrado del primer autor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las autoridades municipales de Texcoco, México por otorgar los permisos necesarios para realizar este trabajo en sus áreas verdes urbanas.

REFERENCIAS

- Alanís E, J Jiménez, A Mora-Olivo, P Canizales, L Rocha. 2014. Estructura y composición del arbolado urbano de un campus universitario del noreste de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 1(7): 93-101.
- Alanís RE, A Mora, JS Marroquín. 2020. Muestreo ecológico de la vegetación. Monterrey, Nuevo León, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. 204 p.
- Bihunova M, J Supuka, A Toth, K Sinka, G Kuczman. 2021. Urban Green areas and woody plant composition: Dwelling space quality factor in the Klokocina housing estate. *Ekológia (Bratislava)* 40(1): 80-90. DOI: <https://doi.org/10.2478/eko-2021-0010>

- Bingqian M, RJ Hauer, H Wei, AK Koeser, W Peterson, K Simons, N Timilsina, LP Werner. 2020. An assessment of street tree diversity: Findings and implications in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening* 56: 126826. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126826>
- Callow D, P May, DM Johnstone. 2018. Tree vitality assessment in urban landscapes. *Forests* 9(5):279. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9050279>
- Canizales PA, E Alanís, VA Holguín, S García, AC Chávez. 2020. Caracterización del arbolado urbano de la ciudad de Montemorelos, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11(62): 111-135. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.768>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, MX). 2011. Manual y procedimientos para el muestreo de campo. Remuestreo 2011. 140 p.
- Cowett FD, NL Bassuk. 2020. Street tree diversity in Massachusetts, U.S.A. *Arboriculture & Urban Forestry* 46(1): 27-43. DOI: <https://doi.org/10.48044/jauf.2020.003>
- Dangulla M, LA Manaf, M Firuz, M Rusli. 2019. Urban tree composition, diversity and structural characteristics in North-western Nigeria. *Urban Forestry & Urban Greening* 48: 126512. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126512>
- De la Concha H, L Roche, A García. 2017. Inventario del arbolado urbano de la ciudad de Mérida. Mérida, Yucatán, México. Ayuntamiento de Mérida 2018-2021. 58 p. Consultado 6 nov. 2021. Disponible en: http://www.merida.gob.mx/sustainable/contenidos/doc/inventario_arbolado_merida.pdf.
- Gutiérrez CM, CA Ortiz. 1999. Origen y evolución de los suelos en el ex lago de Texcoco, México. *Agrociencia* 33(2): 200-208.
- Johnstone D, G Moore, M Tausz, M Nicolas. 2013. The measurement of plant vitality in landscapes trees. *Arboricultural Journal: The International Journal of Urban Forestry* 35(1): 18-27. <http://dx.doi.org/10.1080/03071375.2013.783746>
- Krajter OS, CC Konijnendijk, D Vuletic, M Stevanov, I Zivojinovic, S Mutabdzija-Becirovic, J Lazarevic, B Stojanova, D Biljana, M Stojanovska, N Makedonka, M Radovan, SP Malovrh. 2017. Citizens' perception of and satisfaction with urban forests and green spaces: Results from selected Southeast European Cities. *Urban Forestry and Urban Greening* 23: 93-103. <http://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.02.005>
- Leal CE, N Leal, E Alanís, MA Pequeño, A Mora-Olivo, E Buendía. 2018. Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(48): 252-270. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.129>
- Martínez-Trinidad T, P Hernández-López, SF López-López, L Mohedano-Caballero. 2021. Diversidad, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado en cuatro parques de Texcoco mediante *i-Tree Eco*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(67): 202-223. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.880>
- Mehraj G, AA Khuroo, M Hamid, I Muzafar, I Rashid, AH Malik. 2021. Floristic diversity and correlates of naturalization of alien flora in urban green spaces of Srinagar city. *Urban Ecosystems* 24: 1231-1244. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11252-021-01105-7>
- Morales-Gallegos LM, T Martínez-Trinidad, A Gómez-Guerrero, R Razo-Zarate, J Suárez-Espinoza. 2019. Inyecciones de Glucosa en Jacaranda mimosifolia D. Don en áreas urbanas de Texcoco de Mora. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(52): 79-98. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i52.414>
- Morales-Gallegos LM, T Martínez-Trinidad, L Mohedano-Caballero. 2021. The urban wasteland as an alternative to create green areas in Texcoco, Mexico. *Cuban Journal of Agricultural Science* 9(3): 423-439.
- Morgenroth J, DJ Nowak, AK Koeser. 2020. DBH Distributions in America's Urban Forest-An Overview of Structural Diversity. *Forests* 11(2): 135. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11020135>
- Percival GC. 2005. The use of chlorophyll fluorescence to identify chemical and environmental stress in leaf tissue of three Oak (*Quercus*) species. *Journal of Arboriculture* 31(5): 215-227. DOI: <https://doi.org/10.48044/jauf.2005.028>
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <https://www.R-project.org/>
- Saavedra-Romero L, P Hernández-de la Rosa, D Alvarado-Rosales, T Martínez-Trinidad, J Villa-Castillo. 2019. Diversidad, estructura arbórea e índice de valor de importancia en un bosque urbano de la Ciudad de México. *Polibotánica* 47(24): 25-37. DOI: <http://doi.org/10.18387/polibotanica.47.3>
- Scholz T, A Hof, T Schmitt. 2018. Cooling effects and regulating ecosystem services provided by urban trees-Novels analysis approaches using tree cadastre data. *Sustainability* 10(3): 712. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10030712>
- Sikuzani YU, F Malaisse, SC Kaleba, AK Mwanke, AM Yamba, CN Khonde, J Bogaert, FM Kankumbi. 2019. Tree diversity and structure on green space of urban and peri-urban zones: The case of Lubumbashi City in the Democratic Republic of Congo. *Urban Forestry & Urban Greening* 41: 67-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.008>
- Sjöman H, AD Hirons, NL Bassuk. 2018. Improving confidence in tree species selection for challenging urban sites: a role for leaf turgor loss. *Urban Ecosystems* 21(6): 1171-1188. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0791-5>
- Sosa-Martínez A, NE Narchi, RM Leal-Bautista, O Frausto-Martínez, DA Casas-Beltrán. 2020. Percepción y uso del agua de lluvia por usuarios en una comunidad del Caribe mexicano. *Sociedad y Ambiente* (23): 1-27. DOI: <https://doi.org/10.31840/sya.vi23.2166>
- Tropicos. 2021. Missouri Botanical Garden. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en: <https://www.tropicos.org>
- Uhrin P, J Supuka. 2016. Quality assessment of urban trees using growth visual and chlorophyll fluorescence indicators. *Ekológia (Bratislava)* 35(2): 160-172. DOI: <https://doi.org/10.1515/eko-2016-0013>
- Velasco E, EN Cortés, A González, F Moreno, HM Benavidez. 2013. Diagnóstico y caracterización del arbolado del bosque de San Juan de Aragón. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(19): 102-112. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i19.382>

Recibido: 22.10.22

Aceptado: 23.05.23