



DOI: [10.29298/rmcf.v13i70.830](https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i70.830)

Artículo

Descripción del arbolado de alineación de la ciudad de Puebla por grado de marginación y vialidad

Description of the linear trees of *Puebla* City by degree of marginalization and street

Graciela Martínez Juárez¹

Dante Arturo Rodríguez Trejo*²

Diódoro Granados Sánchez²

Leopoldo Mohedano Caballero²

Antonio Villanueva Morales²

Abstract

Urban trees are a fundamental part of the natural landscape within cities, as they reduce the negative effects caused by economic activities and contribute to improve the quality of life for the inhabitants of all social classes. The aim of this study was to make a diagnosis of the urban trees in streets of *Puebla* City in areas with different degrees of marginalization and type of existing roads. A stratified random sampling was carried out in public roads from May to October 2019. The species, total height, height to the first branch and height to canopy, basal diameter, diameter to the breast height, canopy cover diameter, also health condition, status of development and conflicts with infrastructure were determined. A total of 2 188 trees were recorded, 2 068 of which were found alive, which belong to 31 families, 56 genera and 75 species; 73.33 % are introduced species and only 26.67 % are native. The results from this study highlight the influence that socio-economic aspects have on the composition and structure of urban trees, mainly in street trees, being important to recognize that in the development of management plans and management of public urban trees it is necessary to integrate the different social and urban aspects that each urban center has.

Key words: Alignment trees, trees composition, urban forestry, tree structure, marginalization, *Puebla*.

Resumen

El arbolado urbano forma parte fundamental del paisaje natural dentro de las ciudades, reduce los efectos negativos ocasionados por las actividades económicas y contribuye a mejorar la calidad de vida de los habitantes de todas las clases sociales. El objetivo del presente estudio fue realizar la caracterización de la estructura y la diversidad del arbolado en calles públicas de la ciudad de Puebla por áreas con diferente grado de marginación y orden vial. Se realizó un muestreo aleatorio estratificado en vialidades públicas de mayo a octubre de 2019; se determinó la especie, altura total, altura del fuste limpio, altura de copa viva y altura a copa viva, diámetro basal, diámetro normal,

diámetro de la copa, así como condición y estado de desarrollo. Se registró un total de 2 188 árboles, de los cuales 2 068 estaban vivos; estos se agruparon en 31 familias, 56 géneros y 75 especies; 73.33 % son taxones introducidos y solo 26.67 % son nativos. Los resultados del estudio destacan la influencia de los aspectos socioeconómicos y urbanos en la composición y en la estructura del arbolado vial, por lo que deben de ser contemplados en la gestión y elaboración de planes de manejo.

Palabras clave: Arbolado de alineación, composición arbórea, dasonomía urbana, estructura arbórea, marginación económica, Puebla.

Fecha de recepción/Reception date: 14 de agosto de 2020

Fecha de aceptación/Acceptance date: 21 de enero de 2022

¹Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, México.

²División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, México.

*Autor para correspondencia; correo-e: dantearturo@yahoo.com

Introducción

El crecimiento territorial y poblacional de las ciudades, aunado a un mal diseño urbano hacen a los espacios verdes vulnerables a desaparecer (Szabó, 2010). Las áreas verdes regulan los efectos de la urbanización, como islas de calor, pérdida de biodiversidad y contaminación; estos espacios resguardan la vegetación remanente (Gutiérrez-Pacheco *et al.*, 2015). El arbolado urbano es necesario por los beneficios ambientales que otorga y por su papel en el paisaje urbano y su interacción con todas las clases sociales, al mejorar su vida (Molina y Vargas, 2012).

El arbolado de alineación es un elemento integral en las ciudades, conecta con otras áreas verdes y ayuda a mantener la biodiversidad, lo que favorece su calidad ambiental (León *et al.*, 2017). No obstante, es común la eliminación del arbolado por el crecimiento urbano. En Puebla hay un crecimiento no planificado que ocasiona problemas como pérdida de biodiversidad, contaminación del agua, aire, suelo y consumo de energía (Ramírez *et al.*, 2019). Generar información sobre este

arbolado es útil para contribuir a establecer estrategias que enriquezcan las condiciones ambientales de la ciudad (SDUS, 2015).

Para entender el funcionamiento del ambiente urbano hay que vincular aspectos del medio natural con los sociales, económicos y culturales (Carponi *et al.*, 2016). Estudiar la situación del arbolado lineal, con la influencia de factores socioeconómicos y urbanos, permite comprender los factores que influyen en sus características (Rodríguez *et al.*, 2017).

Ante tal panorama, el objetivo planteado en este estudio fue conocer la composición y algunos aspectos de la estructura del arbolado de alineación público de la ciudad de Puebla, por grado de marginación y tipo de vialidades presentes.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La ciudad de Puebla, capital del estado homónimo, se localiza entre los 19°02'38.363" N y 098°11'18.452" O (INEGI, 2016) y abarca 206.55 km². Su población es de 1 434 062 habitantes (Sedesol, 2010), además es la cuarta ciudad más grande e importante de México (Figura 1).

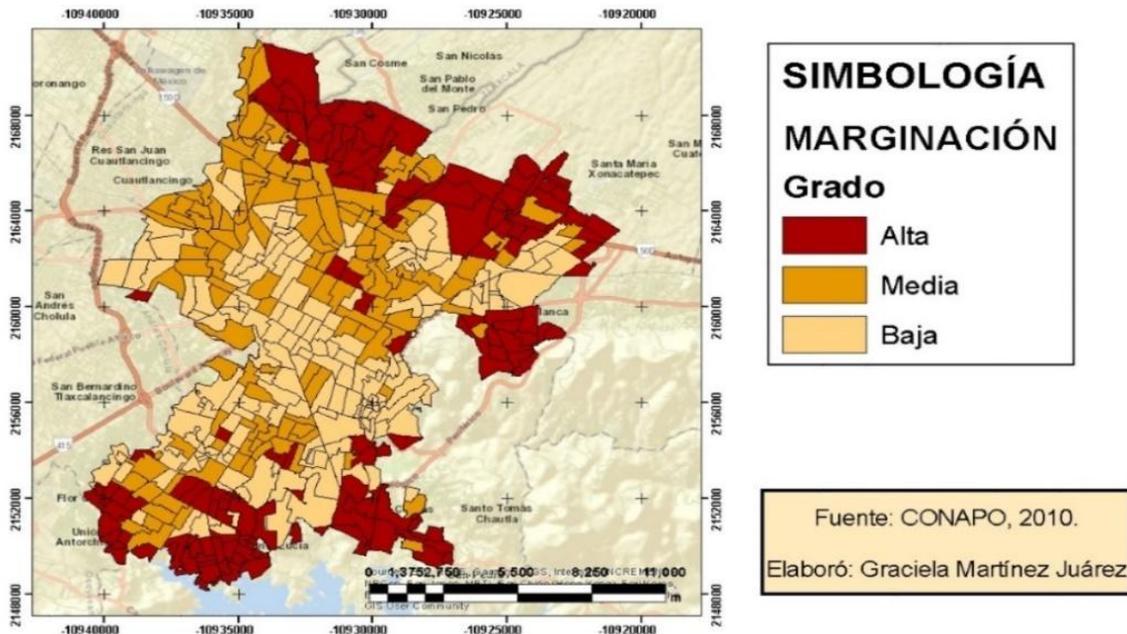


Figura 1. Zonificación de la zona de estudio: Ciudad de Puebla.

Técnica de muestreo

Se realizó un muestreo aleatorio estratificado, con la información generada por la Conapo (2010); se agruparon áreas geostatísticamente urbanas (AGEB) en tres estratos de marginación: alta (AMA), media (AMM) y baja (AMB) que fueron consideradas como unidades de muestro. También, se determinó el orden de vialidades presentes; las de primer orden (VPO) están integradas por avenidas, boulevares, calzadas, circuitos, circunvalaciones, ejes viales, periférico o viaducto; como vialidades de segundo orden (VSO) se consideraron las ampliaciones, continuaciones, corredores, diagonales o prolongaciones; las vialidades de tercer orden (VTO) incluyeron calles, callejones y retornos; y las privadas y cerradas integraron las de cuarto orden (VCO) (INEGI, 2010).

Con la herramienta *Create Random Points* del software *ArcGis* (2012) v. 10.1, a partir de la distribución de las 460 AGEB disponibles, se seleccionaron al azar 33 de ellas, que presentaran al menos tres órdenes de vialidad. De estas, 12 correspondieron a AMB, 11 a AMA y 10 a AMM. La intensidad de muestreo fue igual a 7 %. Sobre cada orden de vialidad se realizaron recorridos de 200 m, en los cuales se registraron árboles y arbustos (Nagendra y Gopal, 2010). Se hicieron 118 transectos: 32 en VPO, 23 en VSO, 33 en VTO y 30 en VCO. El muestreo se llevó a cabo de mayo a octubre del 2019.

Análisis de la vegetación

De cada árbol se registraron las siguientes características: especie (verificada en la base de datos del Herbario Nacional MEXU), diámetro a 1.30 m, (diámetro normal, *DN*), y a 20 cm (diámetro basal, *DB*) a partir de la base del árbol, los cuales se calcularon al tomar las medidas de las circunferencias con cinta métrica JESOCUP B087NTH86P y dividirlos entre el valor de π ; altura, altura del fuste limpio y altura de la copa viva, medidas con pistola *Haga*; diámetro de copa viva, con una cinta métrica marca *Truper*[®] 12639. Asimismo, se puntualizó su condición (vivo, muerto derribado o muerto en pie) y el estado de desarrollo: juvenil para árboles con menos de 20 cm de *DN* o individuos de especies precoces con estructuras reproductivas, maduro para árboles con más de 20 cm de *DN* o individuos que presentaran estructuras reproductivas, y senil para individuos con disminución de vigor ocasionado por factores bióticos o abióticos. Tales signos de reducción de vigor fueron copas con ausencia parcial o casi total de su follaje, ramas muertas en la parte superior o troncos con ausencia de corteza o pudriciones y tocón (Gobierno del Estado de México, 2018; Cervantes *et al.*, 2019).

Análisis de datos

Con los datos de campo se calcularon: cobertura de copa, riqueza de especies (S), Índice de Diversidad de Margalef (D_{Mg}), Índice de Simpson (D) e Índice de Equidad (H') (Moreno, 2001), para obtener parámetros que permitieran determinar la diversidad alfa y dar un panorama de los efectos ocasionados por los disturbios ambientales. Estos índices se obtuvieron por grado de marginación y orden vial.

Resultados

Se registró un total de 2 188 árboles y arbustos; 2 068 estaban vivos. Se hallaron 75 especies de 56 géneros y 31 familias (Cuadro 1). Las especies introducidas representaron 73.33 % (55) y 26.67 % (20) fueron nativas de México; 69.33 % (52) correspondieron a árboles de taxones perennifolios y 30.67% (23) a caducifolios. Del total de especies, 48 estuvieron representadas por menos de 10 individuos. *Ficus benjamina* L. y *Cupressus sempervirens* L. registraron el mayor número de árboles, con 17.26 y 15.96 % del total, respectivamente. De las 75 especies, la familia Rosaceae fue la más representativa (8 especies), seguida de Fabaceae y Myrtaceae (6), y Cupressaceae, Moraceae y Rutaceae (5). Los géneros más comunes fueron *Prunus* (6 especies), *Ficus* (5) y *Citrus* (4).

Cuadro 1. Especies identificadas en el área de estudio en la ciudad de Puebla.

Especies	Especies	Especies
<i>Araucaria heterophylla</i> (Salisb.) Franco	<i>F. elastica</i> Roxb. ex Hornem.	<i>Phoenix canariensis</i> Chabaud
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.*	<i>F. retusa</i> var. <i>nitida</i> (Thunb.) Miq.	<i>Pinus patula</i> ssp. <i>patula</i> *
<i>A. retinodes</i> Schltldl.	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.*	<i>P. teocote</i> Schied. ex Schltldl. & Cham.*
<i>Bauhinia variegata</i> L.*	<i>Grevillea robusta</i> A.Cunn. ex R.Br.	<i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco
<i>Callistemon citrinus</i> (Curtis) Skeels	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> var. <i>rosa-sinensis</i>	<i>Populus alba</i> L.
<i>Carissa macrocarpa</i> (Eckl.) A.DC.	<i>Ipomoea arborescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) G. Don*	<i>P. deltoides</i> ssp. <i>deltoides</i>
<i>Casimiroa edulis</i> Llave*	<i>I. murucoides</i> Roem. & Schult.	<i>P. tremuloides</i> Michx.*
<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D.Don	<i>Prunus armeniaca</i> L.
<i>Citrus aurantiifolia</i> (Christm.) Swingle	<i>Juglans regia</i> L.	<i>P. domestica</i> L.
<i>C. reticulata</i> Blanco	<i>Laurus nobilis</i> L.	<i>P. persica</i> (L.) Batsch
<i>C. sinensis</i> (L.) Osbeck	<i>Leucaena esculenta</i> ssp. <i>esculenta</i> Benth.*	<i>P. salicina</i> Lindl.
<i>Crataegus mexicana</i> Moc. & Sessé ex DC.*	<i>Ligustrum lucidum</i> W.T.Aiton	<i>P. serotina</i> ssp. <i>serotina</i> *
<i>Cupressus lindleyi</i> Klotzsch ex Endl.*	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.*	<i>Punica granatum</i> L.
<i>C. macrocarpa</i> Hartw. ex Gordon	<i>Lycianthes rantonnetii</i> (Carrière ex Lesc.) Bitter	<i>Psidium guajava</i> L.*
<i>C. sempervirens</i> L.	<i>Macadamia integrifolia</i> Maiden & Betche	<i>Roystonea regia</i> (Kunth) O.F.Cook
<i>Delonix regia</i> (Hook.) Raf.	<i>Magnolia grandiflora</i> L.	<i>Salix babylonica</i> L.
<i>Duranta erecta</i> L.*	<i>Malus pumila</i> Mill.	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	<i>Mangifera indica</i> L.	<i>Schefflera actinophylla</i> (Endl.) Harms
<i>Erythrina coralloides</i> DC.*	<i>Melia azedarach</i> L.	<i>Senecio salignus</i> DC.
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	<i>Musa paradisiaca</i> L.	<i>Spathodea campanulata</i> P.Beauv.
<i>E. globulus</i> Labill.	<i>Myrtus communis</i> L.	<i>Syzygium paniculatum</i> Gaertn
<i>Euphorbia cotinifolia</i> L.	<i>Nerium oleander</i> L.	<i>Thuja occidentalis</i> L.
<i>Ficus benjamina</i> L.	<i>Olea europaea</i> L.	<i>Thymophylla tenuifolia</i> (Cass.) Rydb.
<i>F. benjamina</i> L.cv. <i>variegata</i>	<i>Olyra latifolia</i> L.	<i>Washingtonia robusta</i> H.Wendl.*
<i>F. carica</i> L.	<i>Persea americana</i> Mill.*	<i>Yucca elephantipes</i> Regel*

*Especies nativas de México.

Distribución del arbolado lineal por grado de marginación

Tanto el número de especies como de árboles mostraron una tendencia inversa con respecto al nivel de marginación (Figura 2).

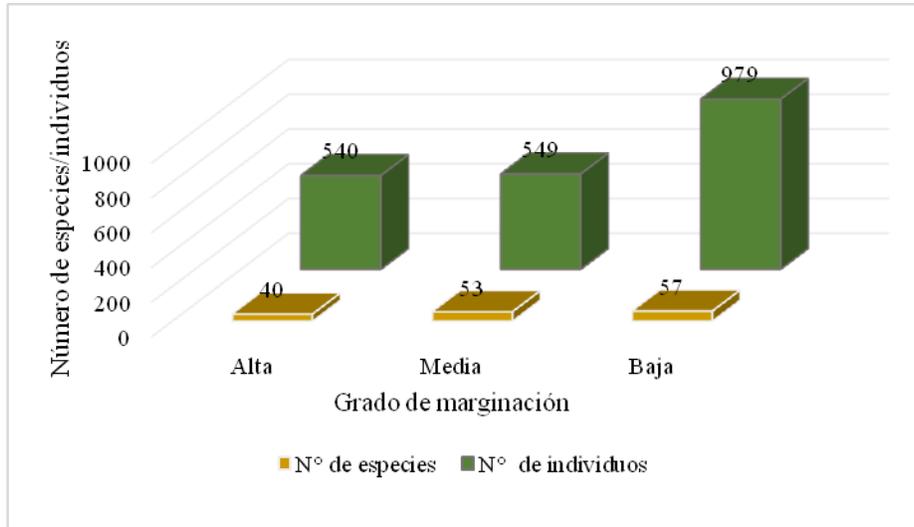


Figura 2. Distribución del número de especies y número de individuos por grado de marginación.

Distribución del arbolado lineal por orden vial

El número de árboles disminuye de VPO, con 671, hasta VCO, con 319. Pese a ello, en VPO solo se identificaron 35 especies, entre las que sobresalieron *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh (107), *Ligustrum lucidum* W.T.Aiton (80), *F. benjamina* (78), *F. retusa* var. *nitida* (Thunb.) Mig. (74) y *Populus tremuloides* Michx. (62). Le siguieron VCO con 38 especies, entre las que destacaron: *C. sempervirens* y *F. benjamina* (89 cada una), *C. lindleyi* Klotzsch ex Endl. (26), *F. retusa* var. *nitida* (21) y *F. uhdei* (12), las más frecuentes. Las VSO tuvieron 47 especies, dominando *C. sempervirens* (106), *F. benjamina* (98), *L. lucidum* (47), *C. lindleyi* (43), *F. retusa* var. *nitida* y *F. uhdei* (30). En VTO se registraron 52 especies, las más abundantes: *F. benjamina* (92), *C. sempervirens* (86), *F. retusa* var. *nitida* (43), *L. lucidum* (37) y *Carissa macrocarpa* (Eckl.) A.DC. (25) (Figura 3).

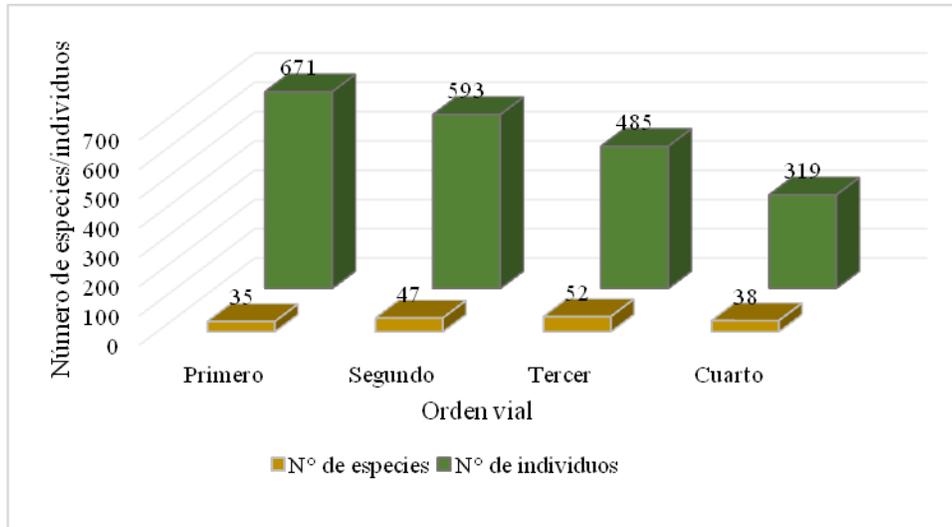


Figura 3. Distribución del número de especies y de individuos, por orden de vialidad.

Marginación Baja

Distribución del arbolado

En las AMB se localizaron un total de 1 034 individuos, 979 vivos. En VPO y VSO se localizaron el mayor número de árboles, con 37.43 y 32.40 %, respectivamente. Las VPO presentaron un porcentaje más alto de individuos muertos respecto a los tres órdenes de vialidades restantes (Cuadro 2).

Cuadro 2. Distribución del arbolado vial en áreas de marginación baja, por orden de vialidad.

Condición del arbolado	Orden vial				Total (%)
	1° (%)	2° (%)	3° (%)	4° (%)	

Vivo	34.82	30.56	17.41	11.90	94.68
Tocón	1.06	1.45	0.39	0.29	3.19
Muerto en pie	1.45	0.39	0.19	0.00	2.03
Muerto derribado	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10
Total	37.43	32.40	17.99	12.19	100.00

Estado de desarrollo

En las AMB se registraron 979 individuos vivos, de los cuales 60.4 % tenían estado de desarrollo maduro, 34.2 % eran juveniles y 5.4 % seniles. En las VPO se hallaron 387 árboles, 360 vivos y 74.44 % maduros, 17.50 % juveniles y 8.06 % seniles. Las VSO tuvieron 335 individuos, 316 vivos; 50.95 % maduros, 44.94 % juveniles y 4.11 % seniles. Las VTO presentaron 186 árboles, 180 vivos y, de estos últimos, 59.44 % maduros, 35 % juveniles y 5.56 % seniles. En VCO hubo 126 individuos, 123 vivos; de estos, 44.72 % estaban maduros, 54.47 % juveniles y 0.811 % seniles.

Estructura

Las dimensiones medias de los árboles vivos en las AMB fueron: altura (5.92 ± 3.59 m), altura del fuste limpio (1.50 ± 1.21 m), altura de copa viva (3.54 ± 2.52 m), altura a copa viva (2.38 ± 1.73 m), diámetro normal (25.50 ± 18.64 cm), diámetro basal (30.26 ± 21.37 cm) y cobertura de copa ($21.67 \pm 29.76\text{m}^2$). La estructura de los individuos en las AMB se muestra por orden vial en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Variables dasométricas del arbolado lineal de la ciudad de Puebla, por orden vial, para áreas de marginación baja.

Variable	Orden vial			
	1°	2°	3°	4°
Altura (m)	6.83±3.20	5.90±3.89	4.67±2.44	5.14±4.47
AltFL (m)	1.87±1.03	1.43±1.40	1.15±0.90	1.11±1.30
AltCopV (m)	4.02±2.54	3.51±2.36	2.76±1.85	3.37±3.30
AltACopV (m)	2.80±1.34	2.40±2.17	1.91±1.24	1.76±1.80
DN (cm)	28.83±18.56	24.89±22.16	22.21±11.49	19.96±13.06
DB (cm)	35.28±21.64	29.54±24.42	26.07±114.42	23.59±17.08
CobC (m ²)	32.66±16.62	19.58±28.38	10.71±14.65	10.87±21.28

AltFL = Altura del fuste limpio; AltCopV = Altura de copa viva; AltACopV = Altura a copa viva; DN = Diámetro normal; DB = Diámetro basal; CobC = Cobertura de copa.

Frecuencia y composición

En las AMB se identificaron 57 especies. *F. benjamina* con 218 individuos, *L. lucidum* (122), *F. retusa* var. *nitida* (119), *C. sempervirens* L. (102) y *F. uhdei* (67) fueron las más representativas. En VPO hubo 24 especies, siendo *L. lucidum* (78 árboles), *F. retusa* (68), *F. uhdei* (44) y *F. benjamina* L. (43) las más frecuentes. Dentro de las VSO, se observó el mayor número de árboles y de especies; 36 de estas, las más abundantes: *F. benjamina* (69 individuos), *C. sempervirens* (33), *C. lindleyi* (28) y *F. retusa* var. *nitida* (22). Los árboles en VTO fueron de 28 especies, con *F. benjamina* (55 ejemplares), *F. retusa* var. *nitida* (22), *L. lucidum* (22) y *C. sempervirens* (17) como las más frecuentes. En las VCO hubo menos individuos, de 19 especies *F. benjamina* (51), *C. sempervirens* (29), *F. uhdei* (10) y *C. lindleyi* (7) resultaron las más frecuentes.

Diversidad

Dentro de las AMB se determinaron un índice de *Shannon-Wiener* de 2.84, un índice de *Simpson* de 0.90 y un índice de *Margalef* de 8.13. Los valores calculados por orden vial para estas áreas se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Índices de diversidad, por orden vial, para áreas de marginación baja.

Orden Vial	Número de individuos	Número de Especies	Índices de diversidad		
			<i>Shannon-Wiener</i>	<i>Simpson</i>	<i>Margalef</i>
Primero	360	24	2.37	0.87	3.91
Segundo	316	36	2.86	0.91	6.08
Tercero	180	28	2.51	0.86	5.20
Cuarto	123	19	1.92	0.75	3.74

Marginación Media

Distribución del arbolado

En las AMM se registraron 593 individuos (27.10 % del total), y 549 vivos. Las VSO de AMM tuvieron el mayor número de árboles (Cuadro 5).

Cuadro 5. Distribución del arbolado vial presente en áreas de marginación media por orden de vialidad.

Condición del arbolado	Orden vial				Total (%)
	1° (%)	2° (%)	3° (%)	4° (%)	
Vivo	19.90	30.35	19.90	22.43	92.58
Tocón	0.34	3.20	0.51	0.34	4.38
Muerto en pie	1.35	1.52	0.17	0.00	3.04
Total	21.59	35.08	20.57	22.77	100.00

Estado de desarrollo

En las AMM hubo 549 individuos vivos; 65.6 % juveniles, 31.9 % maduros y 2.6 % seniles. En VPO se contabilizaron 128 árboles, 118 vivos. 38.98 % eran maduros, 56.78 % juveniles y 4.24 % seniles. Hubo 208 árboles en las VSO, 180 vivos; 37.22 % maduros, 60 % juveniles y 2.78 % seniles. Las VTO tuvieron 122 individuos, 118 vivos. De estos, 30.5 % estaban maduros, 66.95 % con estado de desarrollo juvenil y el resto (2.54 %) fueron seniles. Las VCO incluyeron 135 árboles, de los cuales 133 estaban vivos. A su vez, de los últimos, 19.55 % presentaron un estado de desarrollo maduro, el 79.70 % eran juveniles y 0.75 % correspondieron a seniles.

Estructura

La altura media del total de individuos vivos en las AMM fue de 4.75 ± 3.38 m, la altura del fuste limpio, 0.94 ± 0.90 m, altura de copa viva, 3.47 ± 2.74 m, altura a copa viva, 1.29 ± 1.18 m, la media del diámetro normal fue 18.40 ± 17.01 cm, el diámetro basal alcanzó 19.70 ± 18.60 cm y la cobertura de copas $11.22 \pm 23.52\text{m}^2$. La estructura de los árboles en las áreas de marginación baja, por orden vial, se presenta en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Variables dasométricas del arbolado lineal de la ciudad de Puebla por orden vial para áreas de marginación media.

Variable	Orden vial			
	1°	2°	3°	4°
Altura (m)	5.12±2.82	5.25±3.72	4.67±3.75	3.82±2.77
AltFL (m)	1.20±0.83	0.95±1.08	0.90±0.88	0.75±0.60
AtlCopV (m)	3.53±2.05	4.01±2.97	3.43±3.11	2.73±2.46
AltACopV (m)	1.60±1.09	1.26±1.42	1.24±1.11	1.09±0.89
DN (cm)	118.63±13.49	20.12±19.61	20.02±19.52	13.74±11.35
DB (cm)	19.96±116.38	22.22±21.36	20.99±22.31	14.92±10.26
CobC (m ²)	16.14±24.43	12.23±20.74	13.60±34.63	3.38±5.65

Frecuencia y composición

En las AMM se registraron 53 especies; de ellas, las más comunes fueron: *C. sempervirens* (154), *F. uhdei* (47), *C. lindleyi* (46), *Populus tremuloides* Michx. (34), y *F. benjamina* (36). Entre las 19 especies de árboles de las VPO, las más importantes eran: *F. uhdei* (35), *C. sempervirens* (19), *C. lindleyi* (14) y *P. tremuloides* (13). En VSO se identificaron 20 especies, entre las que destacaban: *C. sempervirens* (67), *P. tremuloides* (21), *Erythrina coralloides* DC. (13) y *C. lindleyi*

(11). En las VTO hubo 31 taxones, de los cuales sobresalían: *C. sempervirens* (28), *F. retusa* var. *nitida* (17), *C. macrocarpa* (7) y *C. lindleyi* (6). Las VCO estuvieron representadas por 26 especies, las más abundantes fueron *C. sempervirens* (40), *F. benjamina* (25), *C. lindleyi* (15) y *F. retusa* var. *nitida* (7).

Diversidad

En estas áreas se calcularon índices de *Shannon-Wiener* (2.90), de *Simpson* (0.89) y de *Margalef* (8.24). Aquí, el índice de riqueza de especies y de equidad fue más alto que en AMB y AMA. Los índices, por orden vial, están en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Índices de diversidad por orden vial, para áreas de marginación media.

Orden Vial	Núm. Individuos	Núm. Especies	Índice de diversidad		
			<i>Shannon-Wiener</i>	<i>Simpson</i>	<i>Margalef</i>
Primero	118	19	2.27	0.85	3.77
Segundo	180	20	2.29	0.83	3.66
Tercero	118	31	2.87	0.9	6.29
Cuarto	133	26	2.43	0.85	5.11

Marginación Alta

Distribución del arbolado

Estas áreas alojaron 561 individuos, 25.63 % con respecto al gran total, con 540 vivos. Aquí, las VPO concentraron el mayor número de árboles; su distribución por orden vial se ordena en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Distribución del arbolado vial en áreas de marginación alta, por orden de vialidad.

Condición del arbolado	Orden vial				Total (%)
	1° (%)	2° (%)	3° (%)	4° (%)	
Vivo	34.40	17.29	33.33	11.23	96.26
Tocón	0.71	0.00	0.18	0.00	0.89
Muerto en pie	1.43	0.36	0.53	0.53	2.85
Total	36.54	17.65	34.05	11.76	100.00

Estado de desarrollo

Las AMM reunieron 540 árboles vivos, 56.3 % juveniles, 38.5 % maduros y 5.4 % seniles. En VPO hubo 205 individuos, 193 vivos. De ellos, 38.86 % maduros, 49.74 % juveniles y 11.40 % seniles. Para VSO hubo 99 individuos, 97 vivos, 54.64 % maduros, 43.30 % juveniles y 2.06 % seniles. En VTO se hallaron 191 árboles, 187 vivos; 66.84 % maduros, 32.62 % juveniles y 0.53 % seniles. En las VCO hubo 66, 63 vivos; 30.16 % maduros, 65.08 % juveniles y 4.76 %, seniles.

Estructura

La altura media de los árboles vivos en AMA fue de 5.67 ± 4.62 m, la altura del fuste alcanzó 1.18 ± 1.02 m, la de copa viva de 3.90 ± 3.77 m, altura a copa viva igual a 1.79 ± 1.45 m; el promedio del diámetro normal fue 19.88 ± 14.1 cm, mientras que del diámetro basal alcanzó 21.4 ± 16.7 cm y la cobertura de copa media, $16.12 \pm 29.17\text{m}^2$. La estructura de los árboles en las AMB, por orden vial se presenta en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Variables dasométricas del arbolado lineal de la ciudad de Puebla, por orden vial, para áreas de marginación alta.

Variable	Orden vial			
	1°	2°	3°	4°
Altura (m)	6.54±5.51	5.22±2.75	5.17±4.32	5.19±4.46
AltFL (m)	1.35±1.17	1.08±0.73	1.14±1.00	0.97±0.89
AtlCopV (m)	4.63±4.58	3.36±2.19	3.51±3.55	3.63±3.33
AltACopV (m)	1.93±1.57	1.88±1.04	1.66±1.34	1.56±1.87
DN (cm)	20.83±13.71	21.26±12.79	18.82±14.83	17.53±15.25
DB (cm)	21.53±15.87	26.33±17.37	19.27±16.33	19.66±17.94
CobC (m2)	21.88±33.40	17.90±21.07	10.82±25.93	11.49±31.99

Frecuencia y composición

Dentro de las AMA se detectaron 40 especies; las más comunes fueron: *F. benjamina* (103 árboles), *C. sempervirens* (74), *F. uhdei* (48), *C. lindleyi* (30) y *P. tremuloides* (32). Las VPO concentraron la mayoría de los árboles (193) de 19 especies, las más abundantes: *P. tremuloides* (32), *Grevillea robusta* A.Cunn. ex R.Br. (31), *F. benjamina* (31) y *F. uhdei* (28). Hubo 97 árboles de 19 especies en

VSO; *F. benjamina* (26), *L. lucidum* (19), *F. uhdei* (9), *F. retusa* var. *nitida* (8) y *Washingtonia robusta* H.Wendl. (8) las más comunes. Para VTO se registraron 187 árboles de 32 especies, de las cuales destacaron *C. sempervirens* (41), *F. benjamina* (33), *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. (14) y *C. macrocarpa* (13). En VCO solo se contabilizaron 63 individuos, de 32 especies: *C. sempervirens* (20), *F. benjamina* (13), *F. retusa* var. *nitida* (7), *C. lindleyi* (4) y *E. camaldulensis* (4) resultaron las más abundantes.

Diversidad

En estas áreas se calcularon los índices de *Shannon-Wiener* (2.85), de *Simpson* igual a 0.91 y de *Margalef* de 6.20. Los valores calculados, por orden vial, para las AMA se muestran en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Índices de diversidad por orden vial para áreas de marginación alta.

Orden Vial	Núm. Individuos	Núm. Especies	Índice de diversidad		
			<i>Shannon-Wiener</i>	<i>Simpson</i>	<i>Margalef</i>
Primero	193	19	2.44	0.89	3.42
Segundo	97	19	2.33	0.86	3.93
Tercero	187	16	2.73	0.9	2.87
Cuarto	63	32	2.17	0.85	7.48

Discusión

Son pocas las caracterizaciones del arbolado de alineación en ciudades mexicanas, en las que se incluyan factores socioeconómicos y urbanos. Estas condiciones influyen en la composición y la diversidad (Nagendra y Gopal, 2010).

Distribución

El grado de marginación y el orden vial tienen efectos en la distribución del arbolado viario de Puebla. Las vialidades más amplias (VPO y VSO) concentraron el mayor número de árboles en AMB y AMM; de forma similar, Nagendra y Gopal (2010) señalaron que existen más árboles en las calles anchas que en las angostas. En AMA se registraron más árboles sobre VPO y VTO.

Estado de desarrollo

En AMB y AMA, casi todos los órdenes de vialidad tuvieron más árboles maduros; pero en vialidades de las AMM dominaron los jóvenes. Conocer estos datos hace factible sustituir a los ejemplares seniles (Saavedra-Romero *et al.*, 2019).

Estructura

Entre las mediciones más usadas para arbolado urbano destacan la altura y el diámetro normal; este estudio mostró que en AMB hubo árboles de mayor talla en todo tipo de vialidades, con una altura media de 5.92 ± 3.59 m, *DN* de 25.50 ± 18.54 cm y *DB* de 30.26 ± 211.37 cm. Román et al. (2019) citaron en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas una altura de 5.75 m, 37.94 cm de *DN* y 29.96 cm de *DB*, los cuales son valores cercanos a los del presente estudio. Saavedra-Romero et al. (2019) acotaron una altura de 8.6 m y *DN* de 17.5 cm, para un bosque urbano en la Ciudad de México. IMPLAN (2018) refiere una altura de 10.3 m y 33.4 cm de *DN*.

Las diferencias de alturas y diámetros se pueden deber a la edad, al porte por especie, a la genética, al ambiente (suelo, agua, espacio de crecimiento), etcétera. En general, en las AMA y las AMB, los valores dasométricos disminuyen de VPO a VCO. Las vialidades en AMB tienen mayores dimensiones, lo que permite establecer más árboles, pero en AMB y en AMM hay más árboles muertos y tocones. Esto se explicaría por el proceso de urbanización, ya que los árboles son afectados o eliminados ante el incremento de construcciones e infraestructura urbana (Ramírez et al., 2019). Es importante considerar el establecimiento de árboles grandes, pues tienen mayor capacidad para disminuir problemas relacionados a la contaminación atmosférica y aquellos ocasionados por islas de calor, en comparación con los árboles pequeños (Nagendra y Gopal, 2010).

Pese a que el diámetro basal (*DB*) ha sido poco considerado, resulta ser una medida más certera en el arbolado urbano, pues debido al manejo que se le da, como podas o mutilaciones el diámetro normal pierde exactitud en sus medidas reales, por lo que es más recomendable medir solo el diámetro basal (Magarik et al., 2020).

Frecuencia y composición

En zonas urbanas, normalmente las especies introducidas son más abundantes que las nativas. Es el caso del área de estudio, con más de 70 % de estas; lo mismo indican Jiménez *et al.* (2015) para calles de La Habana, Cuba; y Leal *et al.* (2018) en un bosque urbano de Linares, Nuevo León. En contraste, Román *et al.* (2019) señalan 70 % de especies nativas en vialidades de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

El presente trabajo incluye 75 especies, cifra mayor a las de Benavides y Fernández (2012), con 38 de ellas en un bosque urbano de la Ciudad de México; Leal *et al.* (2018) acotan 41 para un bosque urbano en Linares; e IMPLAN (2018) documenta 54 sobre 11 vialidades principales del municipio de Puebla; de ellas, las más abundantes fueron *L. lucidum*, *F. uhdei* y *F. benjamina*. Sin embargo, las 75 especies son menos que las registradas por Nagendra y Gopal (2010), 108, en vialidades de Gran Bangalore, India (intensidad de muestreo, 0.9 %) o las 117 que Román *et al.* (2019) anotan para vialidades de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (intensidad de muestreo, 5 %).

En AMB las especies más frecuentes fueron introducidas, a excepción de *F. uhdei* (con una de las mayores frecuencias en VPO y VCO); mientras que, en AMM se hallaron con mayor frecuencia especies nativas, tales como *P. tremuloides*, *F. uhdei* y *E. coralloides*; esta última se registró en VSO.

En AMA, algunas de las especies más comunes fueron *G. robusta* y *E. camaldulensis*, ambas introducidas, y que no se observaron con frecuencia en los otros dos grados de marginación. Cabe mencionar que *E. camaldulensis* tuvo mayor frecuencia en VTO y VCO.

Diversidad

En todas las vialidades y grados de marginación, el índice de Simpson (S) fue ≥ 0.75 . El de Shannon-Wiener (H') varió entre 1.92, en VCO de AMB, y 2.87, para VTO en AMM. Para el índice de Margalef (D_{Mg}), el mayor valor alcanzó 7.48. Este

último resultó superior al 5.24 obtenido en Linares, Nuevo León (Leal et al., 2018). Igualmente, se superó al índice de *Simpson* (0.85) referido por Saavedra et al. (2019) para un bosque en la Ciudad de México. Lo último denota riqueza y diversidad de especies para el arbolado lineal de Puebla.

Las VCO, en AMA, tuvieron mayores distribución de especies y riqueza, pero con equidad moderada, pues dominan pocas especies. Esto también se observa en el resto de las áreas. Se necesita aumentar la diversidad, con especies nativas para dar más resiliencia ante diversas amenazas en los ambientes urbanos, como plagas y enfermedades (Saavedra et al., 2019).

Conclusiones

El presente estudio demuestra que las características del arbolado de alineación de Puebla varían según su localización en áreas con diferente grado de marginación y, dentro de estas, en los distintos tipos de vialidad.

Hay riqueza de especies en el área de estudio, pero la mayoría no son nativas del país y pocas son abundantes. El arbolado evidencia condiciones adecuadas para su supervivencia, pues la mortalidad es mínima.

Los mayores esfuerzos de arborización parecen corresponder a las áreas de marginación baja, con más árboles, en especial en vialidades relevantes. Las áreas de marginación media tienen arbolado joven, sobre todo tipo de vialidades; al igual que las áreas de marginación baja en vialidades de importancia, tal vez por ser menor o más reciente la arborización en todas ellas, o porque podrían tener una tasa de afectación al arbolado maduro más alta, debido al establecimiento de construcciones nuevas.

En la gestión del arbolado lineal, el establecimiento, gestión y manejo se debe realizar considerando las características ambientales, sociales y aspectos urbanos de cada ciudad para su buen desarrollo y función.

Agradecimientos

Al Conacyt por el apoyo financiero mediante beca crédito para la realización de los estudios de Maestría en Ciencias de la primera autora y a la Universidad Autónoma Chapingo, por la formación recibida.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Graciela Martínez Juárez: métodos, trabajo de campo, análisis de datos, elaboración del manuscrito; Dante A. Rodríguez Trejo: métodos, supervisión del estudio y revisión del manuscrito; Diódoro Granados Sánchez, Leopoldo Mohedano Caballero y Antonio Villanueva Morales: identificación de especies, supervisión del estudio y revisión general del manuscrito.

Referencias

Aeronautical Reconnaissance Coverage Geographic Information System (ArcGis). 2012. ArcGis[®] ArcMap[®] version 10.1. ESRI. New York, NY, USA. n/p.

Benavides M., H. M. y D. Y. Fernández G. 2012. Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. *Madera y Bosques* 18(2): 51–71. Doi:10.21829/myb.2012.182352.

Carponi, M. S., M. L. Butus, M. Martínez, G. Carñel, D. Reinoso, M. Prand y G. Strauch. 2016. Diagnóstico de los espacios verdes públicos de la ciudad de Paraná. *Revista Científica Agropecuaria* 20(1-2):31-43. <http://www.fca.uner.edu.ar/rca/RCAdigital.htm> (12 de septiembre de 2020).

Cervantes, M., R. Ortiz y J. F. Reséndiz 2019. Condición fitosanitaria del arbolado de la tercera sección del bosque de Chapultepec. *Revista Mexicana de Agrociencias* 6(1): 122-135. https://rmae.voaxaca.tecnm.mx/wp-content/uploads/2020/11/12-RMAE_2019-10-Arbolado-To-edit.pdf (18 de noviembre de 2019).

Consejo Nacional de Población (Conapo). 2010. Cartografía de marginación por AGEB urbana 2010. Datos abiertos del índice de marginación. Comisión Nacional de Población. Secretaría de Gobernación, México. http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_Indice_de_Marginacion (15 de marzo de 2019).

Gobierno del Estado de México. 2018. Norma Técnica Estatal Ambiental NTE-019-SEMAGEM-DS-2017, que establece las condiciones de protección, conservación, fomento, creación, rehabilitación y mantenimiento de las áreas verdes y macizos arbóreos de las zonas urbanas en el territorio del Estado de México. Periódico Oficial. Gaceta del Gobierno. Toluca, Edo. de Méx., México. pp. 2017-2019.

Gutiérrez-Pacheco, V., S. E. Silva-Gómez, J. S. Toxtle-Tlamani y S. J. Hernández-Zepeda. 2015. El arbolado de los espacios públicos abiertos de la zona de monumentos del centro histórico de la Ciudad de Puebla. *Estudios en Biodiversidad*, Volumen I. Zea Books. University of Nebraska. Lincoln, NE, USA, pp. 160-172.

Instituto Municipal de Planeación Puebla (IMPLAN). 2018. Inventario del arbolado urbano en vialidades principales del Municipio de Puebla. Gobierno Municipal de Puebla. Puebla, Pue., México. 57 p. https://www.itreetools.org/documents/487/190409_Vialidades_Puebla_Rev_4.11_reduced_file_size.pdf (27 de abril de 2020).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2010. Conjunto de datos vectoriales de información topográfica E14B43. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Serie III. Escala 1:50 000. Puebla, Pue., México. <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/> (20 de marzo de 2019).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2016. Catálogo único de claves de áreas geoestadísticas estatales, municipales y localidades. <https://www.inegi.org.mx/app/ageeml/> (4 de abril de 2020).

Jiménez A., M. M., K. Manzanares A. y M. Mesa I. 2015. Diagnóstico del arbolado urbano en la Circunscripción 71, municipio de Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba. *Revista Forestal Baracoa* 34(1):95–101. https://www.ecured.cu/Revista_Forestal_Baracoa (15 de marzo de 2019).

Leal C., C. E., N. Leal E., E. Alanís R., M. A. Pequeño L., A. Mora O. y E. Buendía R. 2018. Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(48). Doi: 10.29298/rmcf.v8i48.129.

León T., S. L., M. A. Rosas L. y M. A. Bartorila. 2017. Forestación de calles, su impacto en el microclima urbano. *Laguna Nuevo Amanecer*, Ciudad Madero, México. *Revista Interdisciplinaria Sobre Estudios Urbanos* 2:21–39. Doi:10.20983/decumanus.2017.1.2.

Magarik Y., A. S., L. Roman A. and J. Henning G. 2020. How should we measure the DBH of multi-stemmed urban trees? *Urban Forestry and Urban Greening* 47:126481. Doi:10.1016/j.ufug.2019.126481.

Molina P., L. F. y O. Vargas G. 2012. Gestión estratégica de la arborización urbana: beneficios ecológicos, ambientales y económicos a nivel local y global. *Revista Soluciones de Posgrado EIA* (9): 39–61. <https://revistapostgrado.eia.edu.co/index.php/SDP/article/view/361/354> (16 de marzo de 2019).

Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. *In: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo; Oficina Regional de*

Ciencia y Tecnología para América Latina y el CARIBE, UNESCO; Sociedad Entomológica Aragonesa (eds.). Zaragoza, España. 86 p.

Nagendra, H. and D. Gopal. 2010. Street trees in Bangalore: Density, diversity, composition and distribution. *Urban Forestry & Urban Greening* 9(2): 129–137. Doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.12.005>.

Ramírez R., N. L., M. L. Guevara R. y A. Hernández S. 2019. Principios territoriales ordenadores y desequilibrio ecológico en la periferia de Puebla: fraccionamiento Lomas de Angelópolis. *Carta Económica Regional* 1(2):109–134. Doi:[10.32870/cer.v0i124.7771](https://doi.org/10.32870/cer.v0i124.7771).

Rodríguez B., N., L. Di Franco, E. Cucciuffo y E. Craog. 2017. Generación de cartografía temática del arbolado urbano mediante el uso del SIG. *Revista Del Departamento de Geografía* 8:117–142. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/cardi/article/view/17499> (20 de junio de 2020).

Román G., L. M., C. Orantes G., C. U. del Carpio P., M. S. Sánchez C., M. L. Ballinas A. y O. Ferrera S. 2019. Diagnóstico del arbolado de alineación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Madera y Bosques* 25(1): 1–13. Doi:[10.21829/myb.2019.2511559](https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511559).

Saavedra-Romero, L. de L., P. Hernández-de la Rosa, D. Alvarado-Rosales, T. Martínez-Trinidad y J. Villa-Castillo. 2019. Diversidad, estructura arbórea e índice de valor de importancia en un bosque urbano de la Ciudad de México. *Polibotánica* 47: 25–37. Doi:[10.18387/polibotanica.47.3](https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.3).

Secretaría de Desarrollo Urbano y Sustentabilidad (SDUS). 2015. Inventario municipal de áreas verdes (IMAV). Puebla, México. http://gobiernoabierto.pueblacapital.gob.mx/transparencia_file/sdus/2016/77.fracc41a/sdus.77.41a.imav.2016.pdf (10 de abril de 2020).

Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol). 2010. Catálogo de localidades. <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=211140001> (8 de mayo de 2020).

Szabó, M. 2010. Árboles de Santo Domingo. *In*: INTEC, JICA, ADN (eds.). Centro de Información Ambiental, Ayuntamiento del Distrito Nacional. Santo Domingo, República Dominicana. 93 p.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.