



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

**CONDICIÓN DEL ARBOLADO DE ALINEACIÓN
DE LA CIUDAD DE PUEBLA**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta:

GRACIELA MARTÍNEZ JUÁREZ



APROBADA

Bajo la supervisión de: **DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO, DR.**



Chapingo, Estado de México, a 08 de Septiembre de 2020.

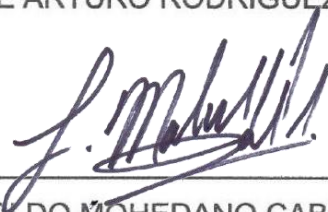
HOJA DE APROBACIÓN POR EL COMITÉ ASESOR

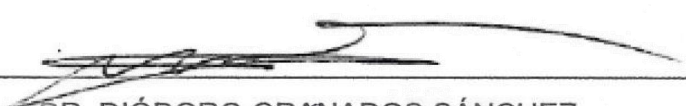
CONDICIÓN DEL ARBOLADO DE ALINEACIÓN DE LA CIUDAD DE PUEBLA

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

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: 
DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

ASESOR: 
DR. LEOPOLDO MOHEDANO CABALLERO

ASESOR: 
DR. DIÓDORO GRANADOS SÁNCHEZ

ASESOR: 
DR. ANTONIO VILLANUEVA MORALES

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
DEDICATORIA.....	IX
AGRADECIMIENTOS	X
DATOS BIOGRÁFICOS	XI
RESUMEN GENERAL	XII
ABSTRACT.....	XIII
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	14
1.1 Introducción	14
1.2 Antecedentes	16
1.3 Planteamiento del problema	18
1.4 Justificación	19
1.5 Objetivos.....	20
1.6 Hipótesis.....	21
1.7 Literatura citada.....	21
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	24
2.1 Sustentabilidad ambiental en las ciudades	24
2.2 Espacios verdes públicos.....	26
2.3 Arbolado urbano	27
2.4 Beneficios del arbolado urbano	28
2.4.1 Beneficios ambientales	29
2.4.2 Beneficios sociales y psicológicos.....	30
2.4.3 Beneficios económicos	31
2.5 Problemáticas del arbolado urbano.....	32
2.6 Heroica Puebla de Zaragoza	33
2.6.1 Situación de los espacios verdes en Puebla.....	34
2.7 Literatura citada	35

CAPÍTULO 3. MARCO DE REFERENCIA: ARBOLADO DE ALINEACIÓN	40
3.1 Arbolado de alineación	40
3.2 Investigaciones sobre arbolado de alineación	41
3.2.1 Estudios en México	41
3.2.2 Estudios sobre beneficios ambientales, sociales y económicos	42
3.2.3 Estudios sobre estructura, composición y diversidad	46
3.2.4 Estudios sobre condición	48
3.2.5 Tendencia de estudios sobre arbolado de alineación	49
3.3. Literatura citada	52
CAPÍTULO 4. EFECTO DEL GRADO DE MARGINACIÓN Y TIPO DE VIALIDAD EN LA CONDICIÓN DEL ARBOLADO DE ALINEACIÓN, CIUDAD DE PUEBLA	57
4.1 Resumen	57
4.2 Introducción	57
4.3 Materiales y métodos	60
4.4 Resultados	63
4.4.1 Distribución del arbolado vial	63
4.4.2 Problemas con infraestructura urbana	64
4.4.3 Grado de marginación	65
4.4.4 Orden de Vialidad	68
4.4.5 Interacción entre el grado de marginación y orden de vialidad	70
4.5 Discusión	78
4.6 Conclusiones	82
4.7 Literatura citada	82
CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN DEL ARBOLADO LINEAL POR GRADO DE MARGINACIÓN Y ORDEN VIAL, CIUDAD DE PUEBLA	88
5.1 Resumen	88
5.2 Introducción	89
5.3 Materiales y métodos	90
5.4 Resultados	92
5.4.1 Distribución del arbolado vial	92

5.4.2 Frecuencia y composición	95
5.4.3 Estado de desarrollo	96
5.4.4 Diversidad	97
5.4.5 Estructura.....	98
5.5 Discusión.....	98
5.6 Conclusiones	101
5.7 Literatura citada	101
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES GENERALES.....	104

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Efectos fijos-Tipo III para cada indicador evaluado con respecto al grado de marginación.	67
Cuadro 2. Probabilidades de encontrar individuos con diferentes tipos de condición por grado de marginación.	67
.Cuadro 3. Efectos fijos-Tipo III para cada indicador evaluado con respecto al orden vial.	69
Cuadro 4. Probabilidades de encontrar individuos arbóreos con diferente condición por el tipo de orden vial donde se encuentran establecidos.	70
Cuadro 5. Distribución porcentual del arbolado vial por grado de marginación y orden vial.	93
Cuadro 6. Listado de especies encontradas en vialidades públicas de la ciudad de Puebla.....	93
Cuadro 7. Valores calculados de los índices de diversidad.	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Número de estudios sobre arbolado de alineación por año.....	50
Figura 2. Número de publicaciones realizadas sobre arbolado de alineación por país (2010-2019).....	51
Figura 3. Localización de la ciudad de Puebla, Puebla, México.	60
Figura 4. Porcentaje de individuos que presentan conflictos con infraestructura urbana por grado de marginación.	64
Figura 5. Porcentaje de individuos que presentan problemas con infraestructura por orden vial.	65
Figura 6. Efecto de la interacción entre el orden vial y el grado de marginación en la estructura del tronco. a) Vialidades de primer orden; b) vialidades de segundo orden; c) vialidades de tercer orden y d) vialidades de cuarto orden.....	72
Figura 7. Efecto de la interacción entre el orden vial y el grado de marginación en el estado fitosanitario del tronco. a) Vialidades de primer orden; b) vialidades de segundo orden; c) vialidades de tercer orden y d) vialidades de cuarto orden.	73
Figura 8. Efecto de la interacción entre el orden vial y el grado de marginación en la condición de la copa. a) Vialidades de primer orden; b) vialidades de segundo orden; c) vialidades de tercer orden y d) vialidades de cuarto orden.....	74
Figura 9. Efecto de la interacción entre el orden vial y el grado de marginación en el estado fitosanitario de la copa. a) Vialidades de primer orden; b) vialidades de segundo orden; c) vialidades de tercer orden y d) vialidades de cuarto orden.	75
Figura 10. Efecto de la interacción entre el orden vial y el grado de marginación en la condición de raíz. a) Vialidades de primer orden; b) vialidades de segundo orden; c) vialidades de tercer orden y d) vialidades de cuarto orden.....	77
Figura 11. Efecto de la interacción entre el orden vial y el grado de marginación en la condición general. a) Vialidades de primer orden; b) vialidades de segundo orden; c) vialidades de tercer orden y d) vialidades de cuarto orden.....	78
Figura 12. Ubicación de la Ciudad de Puebla y unidades de muestreo.....	90

Figura 13. a) Distribución del número de especies y número de individuos por grado de marginación. b) Distribución del número de especies y número de individuos por orden de vialidad..... 96

Figura 14.- a) Porcentaje de individuos por estado de desarrollo de acuerdo al grado de marginación; b) Porcentaje de individuos por estado de desarrollo de acuerdo al orden vial..... 97

DEDICATORIA

*“No hay ninguna lógica que
pueda ser impuesta a la
ciudad; la gente la hace,
y es a ella, no a los edificios, a
la que hay que adaptar nuestros
planes.” -Jane Jacobs.*

Plantar un árbol, siempre es un buen plan.

Con mucho afecto:

A mi familia por el apoyo que me han brindado durante todos los años vividos.

A mi papa Liborio y a mi mamá Matilde, por cada paso que han dado en el campo y en demás trabajos para ayudarnos a crecer; por los incalculables esfuerzos que han realizado.

A mis hermanos Carolina, Daniel y Cecilia por ser un ejemplo para mí.

Con mucho cariño a mis sobrinos Karla, Elyan, Sofía y Daniela por recordarme que más allá de ser un profesionista, es importante lograr ser un gran ser humano.

A los amigos que siempre me han motivado, y a los que más que palabras me han brindado su comprensión y cariño.

A la vida misma y a Dios.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por permitirme una vez más alcanzar otra mete profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por hacer posible los estudios de maestría.

A cada una de las personas que ayudaron a realizar los trabajos de campo e hicieron más liviana la carga.

Agradezco también a los miembros del comité asesor Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, Dr. Leopoldo Mohedano Caballero, Dr. Antonio Villanueva Morales y al Dr. Diódoro Granados Sánchez por su tiempo, ideas y conocimientos compartidos.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre:	Graciela Martínez Juárez
Fecha de nacimiento:	12 de octubre de 1993
Lugar de nacimiento:	Acatzingo, Puebla, México
CURP:	MAJG931012MPLRRR05
Profesión	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
Cédula profesional	10879986



Desarrollo académico

Bachillerato	Colegio de Bachilleres del Estado de Puebla- Plantel 19
Licenciatura:	Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN GENERAL

Evaluación del arbolado de alineación de la Ciudad de Puebla¹

Los estudios sobre árboles urbanos en México se han centrado en conocer la composición, estructura y diversidad, la mayoría de ellos enfocándose en árboles que crecen en masas, siendo el arbolado vial poco considerado. El objetivo de este estudio fue examinar la situación del arbolado de alineación de la ciudad de Puebla mediante la integración de características socioeconómicas y urbanas, como lo son el grado de marginación y el orden de vialidad. Se analizaron dos aspectos fundamentales: la condición física y sanitaria de árboles y arbustos, y su composición. Se registraron un total de 2,188 individuos, de los cuales 2068 se encontraron vivos. La mayoría de los árboles presentan condiciones físicas desfavorables tanto en copa, tronco y raíz; mientras que las condiciones fitosanitarias son buenas. En áreas de marginación alta y media, principalmente en vialidades de segundo orden, se encuentran árboles con mejores condiciones. La composición del arbolado cambia con respecto al grado de marginación y orden vial. En general, más del 70% de especies son introducidas, las especies *Ficus benjamina*, *Cupressus sempervirens* y *Ficus retusa* ssp. *nitida* fueron las más frecuentes. Son pocos los estudios que han indagado sobre los factores que influyen en las características y estado de salud que presenta el arbolado vial; este estudio reconoce la necesidad de integrar elementos sociales para mejorar su gestión y planeación y aumentar la sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: arbolado urbano, árboles en calle, diversidad, aspectos socioeconómicos, calidad ambiental.

Tesis de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: Graciela Martínez Juárez
Director: Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo

ABSTRACT

The studies about urban trees in Mexico have focused in knowing the composition, structure and diversity, most of them relating to research on trees growing in stands, while alignment trees have been scarcely considered. The objective of this study was to analyze the condition of alignment trees in Puebla City through the integration of socioeconomic and urban factors, i.e. the socio-economic margination degree and the urban roadway category. Two aspects were analyzed: the physical and the health conditions of trees and shrubs. A total of 2188 individuals were sampled, 2,068 of them alive. Most of these trees showed non favorable crown, trunk and root conditions; while the health condition was good. In areas with high and medium socio-economic margination, mostly on second-order urban roads, the trees with better conditions were found. The tree composition changes in relation of the degree of socio-economic margination and the urban road category. In general, over 70% of the tree-species were introduced, *Ficus benjamina*, *Cupressus sempervirens* and *Ficus retusa* ssp. *nitida*, were the most frequent ones. There are only few studies on research about the factors that influence the tree characteristics and health conditions along streets. This study recognizes the necessity of integrating social elements to improve the management and planning, as well as to increase the environmental sustainability.

Keywords: urban tree, trees on streets, diversity, socioeconomic factors, environmental quality.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Introducción

La urbanización, como actividad antrópica ha conllevado a la degradación, pérdida e incluso agotamiento de los recursos naturales y calidad del ambiente (Ehrlich & Ehrlich, 1975). Lo que genera varios problemas ambientales, entre ellos, el decremento de áreas verdes, debido al crecimiento poblacional y actividades económicas, principalmente (INECC, 2013). Esta situación afecta la capacidad de resiliencia de las ciudades (FAO, 2018).

Toda la vegetación y aún más los árboles proporcionan diferentes beneficios económicos, ambientales, sociales y culturales (Vélez, 2009), así como a la salud física y mental de las personas. Sin embargo, dentro de las ciudades los árboles son maltratados por los mismos residentes a consecuencia de una mala planeación y manejo, lo que repercute en su deterioro. Este fenómeno se hace más presente en espacios públicos y semipúblicos donde árboles de todas las etapas de desarrollo mueren debido a podas excesivas o no realizadas de forma adecuada o simplemente por falta de mantenimiento (Jiménez, Manzanares, & Mesa, 2015). En México, el arbolado lineal (Duval & Benedetti, 2017; Castela & Fritschy, 2019), de alineación (Campari, 2006; Román et al., 2019), viario (Castillo & Ferro, 2015; Castillo & Pastrana, 2015) o vial como comúnmente se reconoce a los árboles establecidos en calles o vialidades, es el que presenta mayores riesgos sociales y económicos, lo que hace que sea uno de los más afectados e incluso con mayor peligro de ser desplazado por el incremento de infraestructura urbana (Nagendra & Gopal, 2010). Si bien este hecho no se puede generalizar para todas las ciudades de México, en la mayoría de las áreas verdes públicas la mala condición física del arbolado se hace presente.

Ledesma (2008) señala al arbolado público como uno de los mejores indicadores de la calidad de vida y del ambiente, así como de la funcionalidad urbana, además conforma parte del patrimonio biológico, histórico, social y cultural de una ciudad; por ello es indispensable conocer sus características y la condición

que presentan (Benavides & Fernández, 2012). Contar con una buena calidad de arbolado urbano es importante para mantener los servicios ambientales que éstos pueden proporcionar. Sin embargo, en los centros urbanos, los árboles son afectados tanto en el decremento de su población como en la condición y salud de los mismos.

En muchas ocasiones, la situación del arbolado urbano depende de las condiciones en las que queda establecido. Las características socioeconómicas dentro de una ciudad generan impactos relevantes en el manejo y degradación del ambiente natural (SEMARNAT, 2016). Conocer la relación entre los aspectos sociales y la condición de los espacios verdes en las ciudades es importante para promover nuevas mediadas en la gestión y planificación urbana (Canosa, Sáez, Sanabria, & Zavala, 2003).

La ciudad de Puebla presenta problemas relacionados a la superficie reducida de espacios verdes, que se ve afectada cada vez más por el aumento de infraestructura urbana, sobre todo por construcciones (Morales, 2009). Casolco & Ramírez (2013) reportan que Puebla presenta un déficit de aproximadamente 80% de superficie verde; según el parámetro establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que determina que se debería de contar con 9 m² por habitante; mientras que la ciudad de Puebla presenta un déficit de 1.8 m² por persona.

Dado que el arbolado urbano en las ciudades desempeña un papel extremadamente importante, y en especial el arbolado lineal se ve más afectado por el un desarrollo urbano poco o no planificado, resulta relevante realizar estudios que ayuden a entender y mejorar su situación actual. En el presente trabajo genera información sobre la condición física y sanitaria, así como la diversidad encontrada en el arbolado vial de la ciudad de Puebla en áreas con diferente grado de marginación y orden vial, datos que sirven para establecer estrategias de manejo y permiten reconocer la importancia de contar con áreas verdes saludables dentro de las ciudades.

1.2 Antecedentes

El incremento de las zonas urbanas y la expansión de las mismas con respecto al aumento de áreas edificadas ha sido desequilibrada, lo que afecta la presencia de áreas verdes; siendo éstas una necesidad para mejorar la calidad de vida de los habitantes (Gómez, 2005).

La disminución e incluso ausencia de áreas verdes en ciudades de México es un problema con implicaciones sociales, económicas y desde luego ambientales en el presente y futuro de los ecosistemas urbanos (Meza, Velázquez, & Larrucea, 2017).

En década de 1980, los ecólogos mexicanos comenzaron a interesarse por las dinámicas ecológicas que se desarrollaban en las ciudades; a partir de esa fecha los estudios sobre ecología urbana aumentaron (Ortega et al., 2013). Se consideró que los árboles dentro de las zonas urbanas son elementos necesarios para lograr la sostenibilidad ambiental por los múltiples servicios ambientales que proporcionan, su función fue reconocida a nivel mundial en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro, celebrada en 1992.

Posteriormente, hacia 1996 se celebró el Congreso Mundial, “HÁBITAT II”, en Estambul, donde se estableció la importancia de mantener la calidad de vida en las ciudades. Una vez más la existencia de espacio verdes resulta indispensable para lograr este objetivo (Gómez, 2005). Sin embargo, a pesar de que las áreas verdes han estado presente desde el inicio del desarrollo de las ciudades, actualmente los árboles se encuentran condicionados por reducidos espacios y la poca importancia que los mismos habitantes e incluso algunos gobernantes les reconocen, reduciendo su superficie cada vez más (Gómez, 2005; Duval & Benedetti, 2017).

Analizar el estado que presentan las áreas verdes no se debe realizar de forma aislada, se tiene que considerar los procesos pasados y presentes de las zonas

urbanas, así como las funciones y sistemas entrelazados (Gómez, 2005). En la mayoría de las ciudades de países en desarrollo, la salud de los árboles urbanos difícilmente es monitoreada, las medidas de corrección son básicamente la poda o derribo de los árboles en declive (Boa, 2008). Por ello, el manejo, cuidado y conservación del arbolado urbano se hace importante para evitar la continua reducción de espacios verdes por la urbanización no planificada (Granados & Mendoza, 1992).

Entre los primeros estudios sobre el arbolado de alineación se encuentra el realizado por Wray & Mize (1985) en Iowa, Estados Unidos, quienes evaluaron el potencial de las especies para sobrevivir en las condiciones estresantes de los espacios en donde se establecen. Determinaron que la presencia de árboles en calles es un verdadero reto por las diversas situaciones que se presentan, desde espacios reducidos hasta conflictos con los transeúntes; sin embargo, son importantes para mantener la diversidad ambiental.

Realizar estudios que permitan integrar al medio social con el manejo y cuidado de la naturaleza, actualmente es de importancia para mejorar la situación de las ciudades (Ortega et al., 2013). En México, uno de los primeros estudios sobre el arbolado urbano, fue realizado por Benavides & Villalón (1992), quienes analizaron la condición del arbolado de alineación de la delegación Venustiano Carranza, Ciudad de México, determinaron que las características económicas y urbanas influyen en la calidad de los árboles.

Por su parte, Aldama, Vázquez, Grabinsky, & Chacalo (2003) estudiaron la diversidad de especies arbóreas en calles de 16 delegaciones de la ciudad de México. La mayoría de los árboles eran juveniles y mostraron mala salud, lo cual disminuye su capacidad de proveer servicios ambientales. Los autores destacaron que a mayor diversidad de especies y edades, mayor es la probabilidad de supervivencia.

Román et al. (2019), realizaron un diagnóstico sobre el arbolado de alineación en la ciudad de Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas. Determinaron que la salud de la mayoría

de los árboles era de regular a buena. También encontraron que tal situación está relacionada con la perspectiva que los habitantes tienen sobre los árboles, pues los primeros son los principales actores que influyen en la condición física y sanitaria de los segundos.

A nivel mundial, uno estudio que ha sido de gran realce en esta temática fue desarrollado por Nagendra & Gopal (2010) en Bangalore, India. Estos autores señalaron, entre otras cosas, que los árboles en calles son los más afectados por el proceso de urbanización y que su estructura y diversidad se ven afectadas por las condiciones socioeconómicas y características urbanas de los lugares donde se encuentran establecidos.

Hoy en día, existen varios estudios sobre el arbolado de alineación y arbolado urbano en general. No obstante, aún son escasas las investigaciones que integran aspectos sociales en estos temas. Sobre todo si analizamos la situación de México, es necesario realizar más investigaciones que permitan contribuir a generar información que mejore las condiciones actuales que presenta el arbolado urbano en calles de las diferentes ciudades.

1.3 Planteamiento del problema

Las ciudades son los ambientes más modificados por el hombre, presentan problemas de índole ambiental asociados al mal manejo y reducción de superficies verdes. Específicamente, la ciudad de Puebla ha presentado un crecimiento urbano no planificado afectando al arbolado urbano presente, principalmente el arbolado de alineación. La condición de tal arbolado depende de diversos factores antropogénicos, como el reducido espacio existente, poco interés, desconocimiento sobre los servicios ambientales que otorgan y las prácticas sobre su manejo, que muchas veces está relacionado al nivel socioeconómico donde están establecidos. Tales situaciones afectan la estructura de copa, tronco y raíz; por ello el problema de investigación fue conocer si los factores socioeconómicos y urbanos intervienen en la condición del arbolado de alineación.

1.4 Justificación

Martínez & Chacalo (1994) señalan que una de las causas por las que el arbolado urbano no ha sido valorado es por la distancia que se ha generado entre el ambiente natural y el hombre dentro de las ciudades. De ahí que sea necesario generar conciencia ambiental para enfrentar los problemas que atañen hoy a las áreas verdes urbanas, además de realizar una adecuada planeación y mantenimiento correcto a los árboles.

Sorensen, Barzetti, Keipi, & Williams (1998) señalan que en la planificación de los espacios verdes no sólo el gobierno o las ONG son los únicos que se deben de involucrar. El público también debe de participar desde sus posibilidades, ya sea en la selección de sitios, diseño o bien, establecer estrategias para su correcto funcionamiento y que, de esta manera, se cuente con ciudades habitables y sostenibles.

En países sub desarrollados la condición y salud del arbolado urbano no se monitorea, lo que resulta que en muchos casos las medidas de corrección consisten en podar o simplemente tumbiar árboles dañados (Boa, 2008). Además de ser los primeros en sacrificarse con el “desarrollo” urbano. Esta clase de acciones se hacen más repetitivas en árboles de calles, que aunque representan apenas una pequeña proporción de la cubierta verde, ocupan los espacios más accesibles para la mayoría de los residentes de bajo a mediano ingreso y el papel que desempeñan es extremadamente significativo e insustituible en el medio urbano (Nagendra & Gopal, 2010).

Carranza & Martínez (2017) mencionan que en la ciudad de Puebla, debido a un crecimiento poblacional acelerado, la poca planeación sobre el uso del suelo y a la importancia que se le da a la construcción de grandes obras por encima de la permanencia de zonas verdes, éstas tienden a disminuir o simplemente no se les da un adecuado manejo. Sumado a ello, Puebla es una de las seis ciudades más contaminadas de México, por lo que presenta problemas de carácter social y ambiental relacionados con el decremento de superficie verde.

Por lo anterior, es indispensable generar información sobre la condición del arbolado vial, para protegerlo y mejorarlo, implementar su manejo adecuado, y que los árboles y áreas verdes en general puedan proporcionar servicios ambientales de mejor calidad y contribuir al desarrollo sostenible (De la Concha, 2018).

El estudio generado da una panorámica general de la condición y diversidad que se presenta en el arbolado de alineación de la ciudad de Puebla, a fin de establecer recomendaciones y estrategias de manejo, así como reconocer su importancia en la resiliencia urbana.

1.5 Objetivos

Objetivo General

Evaluar la diversidad y condición física del arbolado de alineación de la ciudad de Puebla, considerando un muestreo estratificado por zona socioeconómica para generar información que permita recomendar estrategias que sirvan a los tomadores de decisiones en el manejo del arbolado urbano.

Objetivos Particulares

Describir el origen, riqueza y diversidad del arbolado urbano vial considerando el tipo de vialidad, recolectando información a través de un muestreo aleatorio para conocer la composición arbórea presente de la ciudad de Puebla.

Identificar las problemáticas del arbolado de la ciudad de Puebla, por zona socioeconómica y orden vial, contemplando características cuantitativas y cualitativas de los árboles de alineación para determinar su condición física.

Analizar las condiciones del arbolado lineal precisando información para establecer recomendaciones de manejo considerando aspectos socioeconómicos y urbanos para mejorar la situación actual del arbolado vial.

1.6 Hipótesis

Actualmente el arbolado de alineación de la ciudad de Puebla no cuenta con una planificación ni manejo adecuado. El manejo que se le ha dado se reduce de zonas de baja marginación a zonas de alta marginación, con lo que la condición física y sanitaria empeora sobre este factor.

1.7 Literatura citada

- Aldama, A., Vázquez, H., Grabinsky, J., & Chacalo, A. (2003). Metodología estadística: bases para el establecimiento de políticas adecuadas para el manejo del arbolado urbano en la Ciudad de México. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 10(1–2), 23–36. <https://doi.org/10.15517/rmta.v10i1-2.222>
- Benavides, H., & Fernández, D. Y. (2012). Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. *Madera & Bosques*, 18(2), 51–71. <https://doi.org/10.21829/myb.2012.182352>
- Benavides, H., & Villalón, R. (1992). Algunos aspectos del arbolado de alineación de la delegación Venustiano Carranza, D.F. *Memoria de Reunión Científica Forestal & Agropecuaria*. (p. 21).
- Boa, E. (2008). Guía ilustrada sobre el estado de salud de los árboles Reconocimiento e interpretación de síntomas y daños.
- Campari, G. E. (2006). Propuesta de ordenamiento del arbolado de alineación mediante la intervención vecinal en el partido de Quilmes – Provincia de Buenos Aires - Argentina. *Revista de Departamento de Geografía*, 16, 20–34. <https://doi.org/10.7154/rdg.2006.0019.0002>
- Canosa, E., Sáez, E., Sanabria, C., & Zavala, I. (2003). Metodología para el estudio de los parques urbanos: la Comunidad de Madrid. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (3), 160–185.
- Carranza, J. E., & Martínez, V. M. (2017). Transformaciones ambientales en la zona de desarrollo Angelópolis, Puebla. *Asuntos Económicos & Administrativos*, (32), 119–134.
- Casolco, R. S., & Ramírez, M. (2013). Oportunidades de agroparedes en Puebla Capital. *Vislumbra*, 2, 11–16.
- Castelao, G. F., & Fritschy, B. A. (2019). Diagnóstico del arbolado urbano de alineación en vecinales La Esmeralda y Guadalupe Este. Ciudad de Santa Fe, República Argentina. *Contribuciones Científicas*, 31, 99–118.

- Castillo, L., & Ferro, A. (2015). La problemática del diseño con árboles en vías urbanas: "verde con respaldos negros." *Arquitectura & Urbanismo*, 36(1), 5–24.
- Castillo, L., & Pastrana, J. C. (2015). Diagnóstico del arbolado viario de El Vedado: composición, distribución y conflictos con el espacio construido. *Arquitectura y Urbanismo*, 36(2), 93–118.
- De la Concha, H. (2018). ¡-Tree ECO. Sistema de información para mejorar el arbolado público. *PARQUES*, (3), 28–32.
- Duval, V. S., & Benedetti, G. (2017). Diagnóstico del arbolado público lineal del entorno de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. *Junta de Geografía de La Provincia de Corrientes*, 5–17. Consultada en <https://www.researchgate.net/publication/324223505>
- Ehrlich, P. R., & Ehrlich, A. H. (1975). *Población, Recursos, Medio Ambiente: Aspectos de Ecología Humana*. Barcelona: OMEGA.
- FAO. (2018). Bosques y ciudades sostenibles. *Unasylva* (Vol. 69). Consultada en www.fao.org/forestry/unasylva.
- Gómez, F. (2005). Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades. *Ciudad y Territorio: Estudios Territoriales*, 37(144), 417–436.
- Granados, D., & Mendoza, O. (1992). *Los árboles y el ecosistema urbano (Primera)*. México: Universidad Autónoma Chapingo. Dirección de Difusión Cultural.
- INECC. (2013). *Evaluación del desempeño y sustentabilidad ambiental en ciudades intermedias de México* (L. Rojas, N. Bensusan, & A. Mendoza, eds.). México.
- Jiménez, M., Manzanares, K., & Mesa, M. (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.
- Ledesma, M. (2008). *Arbolado público. Conceptos. Manejo* (INTA-EEA Manfredi, ed.). Córdoba.
- Martínez, L., & Chacalo, A. (1994). *Los árboles de la Ciudad de México (Primera)*. México: Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco.
- Meza, M. del C., Velázquez, L., & Larrucea, A. (2017). Recuperación De Áreas Verdes Urbanas. La Importancia Del Diagnóstico Fitosanitario Para La Intervención. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 1(22). Consultada en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477951390005>
- Morales, E. (2009). Planeación urbana municipal, áreas verdes y propiedad privada en Puebla, México. Caso Exrancho Rementería. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 2(4), 252–276.
- Nagendra, H., & Gopal, D. (2010). Street trees in Bangalore: Density, diversity, composition and distribution. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9(2), 129–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.12.005>

- Ortega, R., MacGrefor, I., Pineda, R., Pineda, R., Ramírez, P., & Zuria, I. (2013). México. In I. MacGrefor-Fors & R. Ortega-Álvarez (Eds.), *Ecología Urbana. Experiencias en América Latina* (Primera, Vol. 3, pp. 82–99). Consultado en <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- Román, L. M., Orantes, C., Uriel, D. C. C., Sánchez, M. S., Ballinas, M. L., & Ferrera, Ó. (2019). Diagnóstico del arbolado de alineación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Madera Bosques*, 25(1), 1–13. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511559>
- SEMARNAT (2016). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde (Edición 20, Vol. 3). Retrieved from <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K., & Williams, J. (1998). Manejo de las áreas verdes urbanas. Washington, D C (Banco Interamericano de Desarrollo, ed.). Consultada en <http://services.iadb.org/wmsfiles/products/Publications/1441394.pdf>
- Vélez, L. A. (2009). Del parque urbano al parque sostenible. Bases conceptuales y analíticas para la evaluación de la sustentabilidad de parques urbanos. *Revista de Geografía Norte Grande*, (43), 31–49. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022009000200002>
- Wray, P. H., & Mize, C. W. (1985). Species Adapted for Street-Tree Environments in Iowa. *Jornual of Arboriculture*, 11(8), 249–252.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta información relevante sobre los árboles dentro de la ciudad, así como su importancia dentro del contexto de sustentabilidad ambiental urbana, parte de la historia como tema de investigación y algunas de sus problemáticas actuales.

2.1 Sustentabilidad ambiental en las ciudades

El desarrollo urbano sustentable considera la importancia de aprovechar adecuadamente los recursos naturales, suelo, agua, energía y vegetación (Martínez, Roig, & Cantón, 2010). Este término es un modelo importante en la planeación urbana desde hace muchos años, que ha permitido reconocer la importancia de los espacios verdes públicos para la sociedad (Carponi et al., 2016). La sostenibilidad en los centros urbanos se ha convertido en un compromiso de los gobiernos en todo el mundo, por tanto es imprescindible realizar un aprovechamiento razonable de los recursos económicos y sobre todo naturales (Alva & Martínez, 2018).

En México, la década de 1970 es considerada como el periodo donde los problemas ambientales que se desarrollaban en las ciudades comenzaron a ser considerados. Vizcaíno Murray fue uno de los pioneros en el país en abordar un panorama de legislación para la preservación del medio ambiente en los centros urbanos; no obstante fue hasta los años 1980 que los estudios sobre medio ambiente y urbanismo cobraron mayor importancia (Garza & Damián, 1996).

Si bien en todo el mundo se presentan problemas relacionados al deterioro de recursos naturales, en las zonas urbanas es más severo. (Ehrlich & Ehrlich, 1975). En México, estos problemas, generalmente, son consecuencia de un proceso de urbanización poco planificado o dirigido por beneficios económicos que ponen en riesgo la sustentabilidad ambiental (SEMARNAT, 2018). Es necesario mejorar la gestión ambiental para evitar actividades que degraden los ambientes naturales, recuperar los ya afectados y así poder contar con ciudades sostenibles (Contreras, 2014; Giraud & Morantes, 2017).

Las ciudades sostenibles son consideradas como lugares que permiten ofrecer calidad de vida a sus habitantes, reducen los impactos al ambiente natural, y mantienen los activos físicos y ambientales para las generaciones futuras, y a su vez favorecen el desarrollo económico (BID, 2004). Es claro que para lograr ciudades más sostenibles se debe comenzar a entrelazar los factores políticos, sociales, económicos, culturales y del medio ambiente, de esta manera se puede comprender y atender los problemas de manera más asertiva (Ehrlich & Ehrlich, 1975).

La sostenibilidad ambiental en ciudades también está relacionada con la sostenibilidad económica y social, por lo que en todo momento se debe de buscar la equidad. Las actividades económicas no deben de sobrepasar el umbral de las limitaciones ambientales, puesto que se pasaría a una ciudad insostenible (Mori & Yamashita, 2015). Las ciudades sostenibles tienen como uno de sus objetivos mejorar la habitabilidad y calidad de vida, por lo que mantener y, en lo posible, aumentar la superficie verde es de gran interés (Gómez & Mesa, 2015).

Los espacios verdes, y aún más los árboles en las ciudades, integran un pilar fundamental para contribuir a la sostenibilidad urbana, generan beneficios ambientales, sociales, económicos y culturales (Duinker et al., 2015; Domínguez et al., 2016). Una distribución equitativa dentro de la ciudad es necesaria para beneficiar a todos los sectores de la población (de Gante & Rodríguez, 2009).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que para mejorar la calidad de vida se debe de contar con 9 m² de áreas verdes por habitante; mientras que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) indica una superficie de 12 m² por habitante (Rendón, 2010). Sin embargo, el PNUMA (2010) considera que definir un promedio real de áreas verdes por habitante es complejo, pues las ciudades presentan un crecimiento desordenado y los criterios sobre la necesidad de contar con espacios verdes aún son deficientes.

Independientemente de lo anterior, se debe de reconocer que cada uno de los árboles localizados en una ciudad, ya sea que se encuentren en grupos o de

manera individual, representan un potencial para contribuir significativamente en la sostenibilidad ambiental urbana (Duinker et al., 2015).

2.2 Espacios verdes públicos

En centros urbanos, las áreas verdes urbanas forman parte esencial en las relaciones sociales, su existencia y superficie son fundamentales para proveer igualdad social y calidad de vida (Gómez & Mesa, 2015). Los espacios verdes urbanos surgen ante la necesidad del crecimiento poblacional para contrarrestar los efectos de vulnerabilidad ocasionados por la contaminación en ciudades (Díaz & Curiel, 2012); por lo que son una parte importante en cualquier tipo de estrategia ambiental encaminada a lograr ciudades sostenibles.

Galeana & Hernández (2010), reconocen como un espacio verde público aquel que está disponible para los habitantes, encontrándose en pequeñas y grandes áreas. Mientras que para Rendón (2010) es la integración de parques, jardines y corredores viales que proporciona bienestar ambiental y áreas de recreación para residentes de un centro urbano.

El PNUMA (2010) define las áreas verdes urbanas como zonas recreativas o extensiones no urbanizadas con vegetación, que mantienen distintos grados de conservación, proporcionan diferentes servicios ecosistémicos y contribuyen a la biodiversidad urbana. Por su parte, la SEDESOL (2011) las puntualiza como superficies cuyo objetivo es mantener zonas públicas o semipúblicas con vegetación, acceso libre a todas las personas y que pueden permanecer por periodos de tiempo mediano a largo.

Las áreas verdes constituyen un elemento fundamental dentro de las ciudades, por lo que conocer sus características y condiciones es de interés para todos los sectores de la población (Canosa et al., 2003).

Mantener, mejorar y aumentar la calidad de las áreas verdes urbanas es necesario para mejorar la salud pública y la imagen de las ciudades; así como

incorporarlas como elemento en la educación ambiental urbana (Báez, Islas, Trejo, Contreras, & Saavedra, 2011).

2.3 Arbolado urbano

Los bosques urbanos, y demás vegetación que se encuentra dentro de las ciudades, son considerados como un elemento de suma importancia por los beneficios ecosistémicos que generan (Hernández, Gutiérrez, Juan, Franco, & Czerny, 2018), forman parte importante dentro del paisaje urbano y de la sostenibilidad de ciudades (Domínguez et al., 2016).

Los arbolados urbanos, llamados también bosques urbanos, son considerados sistemas que comprenden todos los árboles, arbustos e incluso vegetación herbácea; generalmente se pueden encontrar árboles en masas (parques, jardines) o árboles individuales (árboles en vialidades) que mejoran el ambiente de las ciudades, y su manejo está a cargo del municipio o delegaciones (Benavides & Fernández, 2012; FAO, 2016). Duinker et al. (2015) señalan que el bosque urbano se compone de todos los árboles que se encuentran dentro de las ciudades, estén establecidos dentro de la propiedad privada o pública, y además son predominantes dentro de la infraestructura verde.

Márquez (2016) señala al arbolado público como la acumulación de individuos arbóreos que se distribuyen en centros urbanos, que se establecen según lo construyan y preferirán los habitantes. Dentro de los centros urbanos los árboles brindan una imagen visual positiva, si cuentan con buenas características, sin ellos los espacios en las ciudades serían paisajes estériles o grises (Martínez & Chacalo, 1994).

La presencia de los árboles dentro de las ciudades modifica el ambiente natural, creando microclimas, compensando valores de temperatura y humedad; los árboles que tienen una mejor condición funcionan como mejores reguladores del clima (Rendón, 2010). En las zonas urbanas, los árboles crecen bajo diversas y muchas situaciones adversas, lo que limita su crecimiento, deterioran su vigor y salud debido al estrés crónico (Yunuen et al., 2014).

La elección de especies para establecer arboledas, además de considerar las preferencias de los residentes, debe realizarse bajo las características de cada ciudad, infraestructura presente, así como de los espacios disponibles para su desarrollo. Realizar estudios sobre la salud del arbolado urbano, en donde se integren características socioeconómicas, es indispensable para mejorar la planeación y gestión de árboles en ciudades y prolongar su vida útil (Chacalo & Corona y Nava, 2009).

2.4 Beneficios del arbolado urbano

Las áreas verdes urbanas son elemento importante para lograr la sostenibilidad de ciudades, mediante la integración del paisaje citadino (Szabo, 2010). Son muchos los beneficios que se tienen al contar con árboles de buenas condiciones, las cuales dependen de una apropiada planeación, diseño y manejo. Los árboles urbanos ayudan a la sanidad básica, reducen de contaminación atmosférica y acústica, regulan la temperatura, almacenan dióxido de carbono y agua, mantienen la biodiversidad y fungen como hábitat para la fauna silvestre (Krishnamurthy & Nascimento, 1997; Sorensen, Barzetti, Keipi, & Williams, 1998).

De tal manera el arbolado urbano influye directamente en la calidad de vida de las personas y, desde luego, mejora las condiciones ambientales (Escobedo & Chacalo, 2018); además de mejorar la estética de las ciudades a través de la diferencia de formas y colores de sus hojas, de su tamaño y textura (Duinker et al., 2015).

La vegetación urbana favorece la reducción de los efectos del cambio climático; mejoran la calidad del aire, suelo y agua; la existencia de árboles en ciudades significan una estrategia de inversión y ahorro económico por los beneficios que generan, los cuales tienen importancia local y mundial (FAO, 2018; Hernández et al., 2018). Sin embargo, los beneficios que aportan en zonas urbanas se ven modificados por la cantidad y calidad de los árboles, así como por el tipo de relación entre los habitantes y este recurso natural, lo que puede o no mejorar la calidad del hábitat (Márquez, 2016).

2.4.1 Beneficios ambientales

Los centros urbanos modifican drásticamente el clima tanto por la irradiación de la energía calórica como por la superficie gris (Tovar, 2007). A través de la evapotranspiración la cubierta arbórea permite reducir la temperatura del aire, así la sombra también ayuda a enfriar el ambiente local, lo que evita el calentamiento de superficies artificiales, como el concreto (Krishnamurthy & Nascimento, 1997).

Una buena ubicación de los árboles puede ayudar a reducir los gastos de energía, sobre todo en días calurosos; sin embargo, una mala ubicación puede incrementar la necesidad de energía (Krishnamurthy & Nascimento, 1997). Al disminuir la cantidad de energía consumida también se reducen las emisiones contaminantes del aire, tanto de las centrales eléctricas como de aparatos de calefacción (Soares et al., 2019).

La sombra de los árboles reduce la demanda de aire acondicionado y consumo de energía, muchas veces utilizado en edificios, este beneficio permite el ahorro económico para propietarios individuales y consumidores comerciales, además contribuye a la reducción del smog (Akbari, 2002).

El potencial que tienen los árboles para moderar la temperatura y reducir la energía dependen de las características de la especie, forma de la hoja, el tipo de ramificación y densidad del follaje (Tovar, 2007); elegir el árbol adecuado, que permita aumentar este beneficio depende tanto las características físicas como ambientales de cada ciudad.

Las áreas verdes ayudan a reducir todo tipo de contaminación que se origina en las ciudades (Tovar, 2007). Los árboles, retienen micro-partículas, como el polvo, polen, hollín, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno y de azufre del aire que se respiramos; mediante la reducción de temperatura y consumo de energía se disminuye la concentración del ozono a nivel del suelo y emisiones de dióxido de carbono (Szabo, 2010; Soares et al., 2019).

Otro beneficio que otorga el arbolado urbano es la reducción de los niveles de ruido. Contar con árboles dentro de la zona urbana permite desviar y atenuar los ruidos desagradables mediante barreras físicas que se forman por sus copas, beneficio que aumenta si los árboles se establecen cerca de la fuente que origina el ruido, la capacidad de brindar este servicio también depende de la densidad y estructura de los árboles; la reducción del ruido en las ciudades, originado principalmente por el tráfico y actividades industriales ayuda a disminuir el estrés de los habitantes (de Gante & Rodríguez, 2009; Szabo, 2010; Del Caz, 2017). También “mimetizan” ruidos de la ciudad, como el de los automóviles, por sonidos como el viento pasando por ramas y follaje, o por el del canto de las aves que viven o que usan como percha los árboles.

La calidad del ambiente urbano en gran parte depende la biodiversidad existente. La variedad y abundancia de la vegetación, especialmente los árboles, incrementan la biodiversidad, ya que fungen como hábitat y alimento de diferentes especies de insectos y aves (Del Caz, 2017), lo que mejora la conectividad entre diferentes escalas biológicas en el ambiente urbano (Montoya, 2016). Así pues, los bosques urbanos conservan la biodiversidad tanto de la propia flora como de la fauna, lo que favorece la resiliencia de las ciudades y aumentar la resistencia de la vegetación ante plagas y enfermedades, además de asegurar el resto de los beneficios ecosistémicos (FAO, 2018).

2.4.2 Beneficios sociales y psicológicos

En cuanto a los beneficios en la salud urbana, se ha demostrado que las personas que tienen mayor contacto con espacios verdes, principalmente aquellos donde existen árboles, desarrollan mejor sus procesos fisiológicos (Hernández et al., 2018) Las áreas verdes permiten que se desenvuelvan interacciones sociales más favorables, además de fomentar la identidad social y comunitaria de sus residentes (Szabo, 2010).

El arbolado urbano ayuda a disminuir el control de estrés y el cansancio de los habitantes que viven en los centros urbanos. También facilita o motiva la realización de actividades físicas que favorecen la salud humana. (Szabo, 2010).

Los árboles localizados estratégicamente en parques o avenidas disminuyen el riesgo de cáncer en la piel (por exposición excesiva al sol) gracias a su sombra, beneficio más importante para los niños, ya que son más susceptibles a este tipo de enfermedades (Duinker et al., 2015).

2.4.3 Beneficios económicos

Las zonas con mayor vegetación y en buen estado que se encuentran en ciudades, son más estéticas para las personas. Por ello que su valor es mayor en el mercado; contar con árboles en centros comerciales los hace más atractivos para realizar compras, lo cual, desde luego, representa beneficios tangibles para la actividad empresarial (Szabo, 2010; Duinker et al., 2015). Otro beneficio económico indirecto es que la sombra de los árboles conserva el combustible de los autos que muchas veces se evapora por la luz solar; también aumenta la vida útil de la infraestructura urbana. Por ejemplo, el cemento asfáltico, producto del petróleo, se descompone y evapora con la luz solar, y provoca grietas. Asimismo, la sombra de los árboles reduce la cantidad de mantenimiento y reparación de vialidades, por lo que se reducen los gastos para su manutención, reparación o sustitución (Duinker et al., 2015).

El manejo del arbolado urbano también genera empleos, lo que aumenta la actividad económica; desde contratar a personal especializado para la gestión, así como trabajadores municipales que realicen las actividades de manejo y mantenimiento (Duinker et al., 2015).

Se ha demostrado que árboles de mayor talla, y en mejores condiciones, representan mayores beneficios ambientales, sociales y económicos que los árboles pequeños o arbustos (Szabo, 2010). No obstante, el establecimiento de vegetación debe basarse en las condiciones de cada ciudad y espacios disponibles, a fin de lograr que sean más los beneficios que las problemáticas que los árboles puedan generar debido a malas elecciones y establecimiento del arbolado urbano.

2.5 Problemáticas del arbolado urbano

En las ciudades, los árboles se ven afectados por todo tipo de infraestructura que facilita la comodidad de sus habitantes; lo que provoca estrés de los árboles, disminuye su vigor e incluso puede provocar su muerte (Tovar, 2007); sumado a ello, la superficie verde en países en desarrollo es reducida y la disponibilidad de nuevos espacios es limitante, principalmente por el crecimiento de la población que demanda mayor superficie de suelo (Meza et al., 2017).

Dentro de las ciudades, generalmente los árboles representan una serie de problemas, ocasionados por la falta de integración entre los componentes de la estructura urbana y las características y requerimientos de las especies que se establecen (Reyes & Gutiérrez, 2010), no obstante el costo de resolver estos problemas es insignificante si se compara con los beneficios que otorgan.

Actualmente, cerca del 80% de los problemas que enfrentan los árboles en las ciudades son atribuidos a suelos pobres, que sumado a factores asociados a los procesos de urbanización contribuyen a incrementar el estrés de los árboles (Benito, Palermo, & Bertucelli, 2018). La mala ubicación de un árbol, puede incluso causar daños en su estructura, por ejemplo, la inclinación del tronco por búsqueda de luz solar o evitar competencia con infraestructura urbana que permita su crecimiento, pueden romper o agrietar las aceras por el crecimiento de raíces, tales situaciones pueden evitarse si la elección de especies es acorde a los espacios disponibles para el establecimiento de los árboles y se lleva a cabo un manejo adecuado (Castillo & Pastrana, 2015; Duinker et al., 2015).

Un manejo inadecuado, como las podas sin planeación o excesivas, realizadas con material incorrecto, provoca un debilitamiento en los árboles, haciéndolos más propensos a plagas y enfermedades, disminuyendo también la calidad visual que otorga a los residentes (Castillo & Pastrana, 2015). Otro desafío que pone en riesgo el desarrollo adecuado de los árboles es la compactación del suelo, ya que impide el acceso de agua y nutrientes; además de ello, los árboles también se ven afectados por el vandalismo (Krishnamurthy & Nascimento, 1997).

Entre las áreas verdes, el arbolado vial entra en mayor contacto con las personas y presentan mayor riesgo de ser desplazados por el desarrollo urbano, razón que incrementa los desafíos de supervivencia, entre ellos, la incidencia de insectos y enfermedades, daños por eventos naturales, como fuertes vientos que pueden romper árboles e incluso árboles, fragmentación de los remantes naturales y es en este sentido el arbolado de alineación cobra mayor importancia por ser redes de conexión entre el resto de áreas verdes (Nowak et al., 2010).

Es por ello que en los programas de plantación se deben seleccionar árboles sanos y que puedan desarrollarse adecuadamente bajo las condiciones urbanas y ambientales del sitio, así como realizar un manejo adecuado (Krishnamurthy & Nascimento, 1997). La gestión del arbolado urbano debe de considerar tener árboles de calidad, desde su plantación y todo su desarrollo, pues más allá de una continua repoblación o mayor número de árboles se debe asegurar su supervivencia; para ello se hace necesario capacitar a personal encargado del manejo, contar con árboles sanos deben de considerarse como uno de los principales indicadores en los planes de manejo (Escobedo & Chacalo, 2018).

Por tanto, la planeación y gestión de las áreas verdes públicas resulta un reto importante para las administraciones locales, es importante fomentar actividades que ayuden a mantener la cantidad y mejorar la calidad de la vegetación urbana, mediante una distribución equitativa entre todos los sectores de la población (Carponi et al., 2016).

2.6 Heroica Puebla de Zaragoza

La ciudad de Puebla se encuentra en un valle, en la zona centro-sur del estado que lleva el mismo nombre, localizada dentro de la sub provincia de lagos y volcanes de Anáhuac. La zona urbana presenta una topografía plana con una ligera depresión en dirección noreste-sur (Gutiérrez, Silva, Toxtle, & Hernández-Zepeda, 2015).

La Heroica Puebla de Zaragoza es reconocida por la UNESCO como patrimonio Cultural de la Humanidad (Cruz, Pérez, Torralba, & Bonilla, 2017), fue fundada en el año 1531 y desde sus inicios se consideró un espacio polinuclear y heterogéneo; hoy en día la ciudad de Puebla es un espacio de gran dinamismo (Rivas, 2008). Recientemente la zona metropolitana ha presentado un acelerado crecimiento poblacional, el aumento de la superficie urbana y el descontrol en la expansión urbana, ocasiona problemas ambientales (Ramírez, Guevara, & Hernández, 2019).

Hoy en día la ciudad de Puebla es una de las zonas metropolitanas más grandes de México, la zona metropolitana Puebla-Tlaxcala (ZMPT); en cuanto a la población, ocupa el cuarto lugar a nivel nacional, con una población de 1, 539, 819 habitantes en el 2010, lo que representa un 26.64% de la población estatal, la densidad poblacional es de 2, 743 hab/km². La ciudad de Puebla conforma parte de donde el proceso de urbanización y su impacto territorial representan un desafío en la disminución de la creciente desigualdad social y pobreza; en especial, en la ciudad se presenta una baja calidad de vida; como resultado de incremento de infraestructura urbana, lo que afecta la sostenibilidad ambiental, principalmente por la reducción de espacios naturales (Gobierno Municipal de Puebla, 2010; Gutiérrez et al., 2015).

2.6.1 Situación de los espacios verdes en Puebla

El estado de Puebla presenta un déficit de aproximadamente 80% de áreas verdes, lo que representa una falta de 1.8 m² por habitante según el parámetro establecido por la Organización Mundial de la Salud de 9 metros cuadrados por habitante, siendo los espacios ocupados por infraestructura gris mayor que los espacios destinados a áreas verdes (Casolco & Ramírez, 2013).

Pese a ello, el municipio de Puebla de Zaragoza comienza a reconocer la importancia del arbolado urbano, en 2016 se realizó el primer inventario municipal de áreas verdes (Secretaría de Desarrollo Urbano y Sustentabilidad, 2012) con la finalidad de contar con información de estas áreas para orientar las acciones

de conservación e incremento de áreas verdes. Posterior, en 2018, se realizó el “Inventario del Arbolado Urbano en Vialidades Principales del Municipio de Puebla” por el Instituto Municipal de Planeación Puebla (IMPLAN, 2018) con el fin de establecer una adecuada planeación de mantenimiento de 11 vialidades, se reconoció la necesidad de mantener los espacios verdes y aumentar la biodiversidad.

El deterioro de los espacios verdes en la Ciudad de Puebla ha sido ocasionado por la fuerte presión que ejercen ciertos grupos sociales, que ocasiona el aumento de superficie de infraestructura urbana y espacios grises por encima del mantenimiento del arbolado urbano. Este efecto se puede comprobar, incluso en áreas verdes sujetas a protección como es el caso de la Reserva Ecológica del Cerro de Amalucan, misma que presenta un fuerte deterioro por la presión de uso urbano y habitacional (Domínguez et al., 2016).

Es claro que la cantidad de áreas verdes en la ciudad de Puebla se ve afectada por la mala planeación urbana, el crecimiento de la ciudad ha puesto en riesgos la desaparición de áreas verdes, principalmente de los camellones y parques públicos (Morales, 2009), por lo cual es imponte aumentar los conocimientos sobre la importancia de contar con espacios destinados al arbolado urbano que favorezcan su conservación.

2.7 Literatura citada

- Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants. *Environmental Pollution*, 116(1), 119–126. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00264-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00264-0)
- Alva, B., & Martínez, Y. (2018). Crecimiento urbano y su impacto en el paisaje natural. El caso del Área Metropolitana de San Luis Potosí, México. *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 9(2), 66–77. Consultada en https://www.inegi.org.mx/rde/rde_26/RDE25_art06.pdf
- Báez, A., Islas, B., Trejo, A., Contreras, R., & Saavedra, Z. (2011). Diagnóstico fitosanitario del arbolado del parque Alameda Oriente. México.
- Benavides, H. M., & Fernández, D. Y. (2012). Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de

- Chapultepec. Madera Bosques, 18(2), 51–71.
<https://doi.org/10.21829/myb.2012.182352>
- Benito, G., Palermo, M., & Bertucelli, C. (2018). Experiencia Educativa De Formación Técnica En Fauba. *Agronomía & Ambiente. Revista de La Facultad de Agronomía UBA*, 38(1), 59–70.
- BID. (2004). Guía metodológica. Iniciativa ciudades emergentes y sostenibles (Tercera; Banco Interamericano de Desarrollo, División de Vivienda y Desarrollo Urbano, & Sector de Cambio Climático y Desarrollo Sostenible, eds.).
- Canosa, E., Sáez, E., Sanabria, C., & Zavala, I. (2003). Metodología para el estudio de los parques urbanos: la Comunidad de Madrid. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, (3), 160–185.
- Carponi, M. S., Butus, M. L., Martínez, M., Carñel, G., Reinoso, D., & Prand, M. (2016). Diagnóstico de los espacios verdes públicos de la ciudad de Paraná. *Revista Científica Agropecuaria*, 20(1–2), 31–43.
- Casolco, R. S., & Ramírez, M. (2013). Oportunidades de agroparedes en Puebla Capital. *Vislumbra*, 2, 11–16.
- Castillo, L., & Pastrana, J. C. (2015). Diagnóstico del arbolado viario de El Vedado: composición, distribución y conflictos con el espacio construido. *Arquitectura y Urbanismo*, 36(2), 93–118.
- Chacalo, A., & Corona y Nava, V. (2009). Árboles y arbustos para ciudades. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco.
- Contreras, J. L. (2014). Del desarrollo sostenible a la sustentabilidad ambiental. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 22(1), 115–136.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-012740-5.50009-8>
- Cruz, J. A., Pérez, A., Torralba, A., & Bonilla, B. (2017). Puebla, México" Ciudad Patrimonio De La Humanidad" Percepción Ciudadana. *International Journal of Scientific Management and Tourism* (Vol. 3).
- De Gante, V. H., & Rodríguez, M. (2009). Parques y jardines del municipio de Puebla. *Elementos*, 76, 51–55.
- Del Caz, R. (2017). El papel de la vegetación en la mejora del entorno de los edificios en los procesos de regeneración urbana: Estudio de caso. *Revista Urbano*, (35), 102–113.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22320/07183607.2017.20.35.08>
- Díaz, J., & Curiel, A. (2012). Bosques urbanos para enfriar las ciudades. *Ciencia* (pp. 36–41).
- Domínguez, F., Acocal, J. A., Medina, J., Mao, J., Aguilar, E., & Torres, V. (2016). Diagnóstico del arbolado de la reserva ecológica «Cerro de Amalucan», ciudad de Puebla, México. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 4(2), 141–148.

- Duinker, P. N., Ordóñez, C., Steenberg, J. W. N., Miller, K. H., Toni, S. A., & Nitoslawski, S. A. (2015). Trees in Canadian cities: Indispensable life form for urban sustainability. *Sustainability*, 7(6), 7379–7396. <https://doi.org/10.3390/su7067379>
- Ehrlich, P. R., & Ehrlich, A. H. (1975). *Población, Recursos, Medio Ambiente: Aspectos de Ecología Humana*. Barcelona: OMEGA.
- Escobedo, F., & Chacalo, A. (2018). Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la ciudad de México. *Interciencia*, 33(1), 1–8.
- FAO. (2016). *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana* (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ed.). Roma, FAO: Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M., Chen, Y.
- FAO. (2018). *Bosques y ciudades sostenibles*. Unasylva (Vol. 69). Retrieved from www.fao.org/forestry/unasylva.
- Galeana, S., & Hernández, C. A. (2010). Reflexión introductoria sobre la problemática de los Espacios Verdes Urbanos en relación con los Conjuntos Habitacionales de Vivienda Interés Social. México.
- Garza, G., & Damián, A. (1996). Cincuenta años de investigación urbana y regional en México 1940-1991 (Primera). <https://doi.org/10.2307/j.ctv3dnpt>
- Giraud, L. M., & Morantes, G. (2017). Aplicación del análisis multivariante para la sostenibilidad ambiental urbana. *Bitácora Urbano-Territorial*, 1(27), 89–100.
- Gobierno Municipal de Puebla. (2010). *Plan De Gestión Ambiental Para El Municipio De Puebla*. In IMPLAN. Puebla, México.
- Gómez, J., & Mesa, A. (2015). Análisis de los modos de acceso y los patrones de uso de la población respecto a los espacios verdes urbanos, como base para su planificación. *Revista Urbano*, 32, 28–49.
- Gutiérrez, V., Silva, S. E., Toxtle, J. S., & Hernández, J. S. (2015). El arbolado de los espacios públicos abiertos de la zona de monumentos del centro histórico de la Ciudad de Puebla. *Estudios En Biodiversidad*, 160–172.
- Hernández, J. C., Gutiérrez, J. J., Juan, J. I., Franco, R., & Czerny, M. (2018). Distribución de áreas verdes y bienestar socio ambiental. Un estudio de la Ciudad de Toluca, México. In *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias* (Vol. 9, pp. 919–942). Memoria en extenso. XVII Congreso Internacional XXIII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales.
- IMPLAN. (2018). *Inventario del Arbolado Urbano en Vialidades Principales del Municipio de Puebla*. Gobierno Municipal de Puebla. Puebla, México.
- Krishnamurthy, L., & Nascimento, J. R. (1997). Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. 397.

- Márquez, F. (2016). Bosque urbano. Otro modo de entender el arbolado de la ciudad y su paisaje. *CONCEPTOS*, 496, 121–137. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Martínez, C., Roig, F., & Cantón, M. (2010). Bosque urbano: Aplicación de una metodología de diagnóstico del estrés hídrico. El caso de ciudades oasis del centro-oeste argentino. *Avances En Energía Renovables y Medio Ambiente*, 14, 73–79.
- Martínez, L., & Chacalo, A. (1994). *Los árboles de la Ciudad de México (Primera)*. México: Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco.
- Meza, M. del C., Velázquez, L., & Larrucea, A. (2017). Recuperación De Áreas Verdes Urbanas. La Importancia Del Diagnóstico Fitosanitario Para La Intervención. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 1(22). Consultada en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477951390005>
- Montoya, J. (2016). Reconocimiento da biodiversidad urbana para la planeación en contextos de crecimiento informal. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 9(18), 232–275. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu9-18.rbup>
- Morales, E. (2009). Planeación urbana municipal, áreas verdes y propiedad privada en Puebla, México. Caso Exrancho Rementería. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 2(4), 252–276.
- Mori, K., & Yamashita, T. (2015). Methodological framework of sustainability assessment in City Sustainability Index (CSI): A concept of constraint and maximisation indicators. *Habitat International*, 45, 10–14. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.06.013>
- Nowak, D. J., Stein, S. M., Randler, P. B., Greenfield, E. J., Comas, S. J., Carr, M. A., & Alig, R. J. (2010). *Sustaining America's urban trees and forests*. USDA. Retrieved from <http://www.fs.fed.us/openspace/fote/>
- PNUMA. (2010). *Perspectivas del Medio Ambiente: América Latina y el Caribe (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, ed.)*. Panamá City, Panamá: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Ramírez, N., Guevara, M. L., & Hernández, A. (2019). Principios territoriales ordenadores y desequilibrio ecológico en la periferia de Puebla: fraccionamiento Lomas de Angelópolis. *Carta Económica Regional*, 109–134.
- Rendón, R. E. (2010). Espacios verdes públicos y calidad de vida. *MEXICALI 2010*, 1–14.
- Reyes, I., & Gutiérrez, J. J. (2010). Los Servicios Ambientales De La Arborización Urbana: Retos Y Aportes Para La Sustentabilidad De La Ciudad De Toluca. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 12(1), 96–102.
- Rivas, J. L. (2008). "Aprendiendo de Puebla : conservación del Patrimonio urbano para una ciudad habitable." Puebla, México.

- Secretaría de Desarrollo Urbano y Sustentabilidad. (2015). INVENTARIO MUNICIPAL DE ÁREAS VERDES (IMAV). Puebla, México.
- SEDESOL (2011). Guía Metodológica de Diagnóstico, Evaluación y Menú de Intervenciones posibles para la Sustentabilidad de los Polígonos HÁBITAT. México.
- SEMARNAT (2018). Lineamientos para la Sostenibilidad Urbana (p. 56). p. 56. Retrieved from <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/difunde-semarnat-lineamientos-para-ciudades-mas-verdes-y-saludables>
- Soares, A. L., Rego, F. C., Mcpherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., & Xiao, Q. (2019). Benefits and costs of street trees in Lisbon, Portugal. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10(2), 69–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.12.001>
- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K., & Williams, J. (1998). Manejo de las áreas verdes urbanas. Washington, D C (Banco Interamericano de Desarrollo, Ed.). Consultada en <http://services.iadb.org/wmsfiles/products/Publications/1441394.pdf>
- Szabo, M. (2010). Árboles de Santo Domingo (INTEC, JICA, & ADN, Eds.). República Dominicana.
- Tovar, G. (2007). Manejo del arbolado urbano en Bogotá. *Territorios*, 149–173.
- Yunuen, A., Cetina, V. M., López, M. Á., Chacalo, A., de la Isla, M. L., & González, H. (2014). Indicador condición de copa y su aplicación en tres parques del Distrito Federal. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(25), 34–51.

CAPÍTULO 3. MARCO DE REFERENCIA: ARBOLADO DE ALINEACIÓN

3.1 Arbolado de alineación

En el desarrollo urbano, las vialidades fungen como correctores de desigualdades, además conectan los servicios necesarios para el funcionamiento de las ciudades y en ellas confluye la mayor parte de la infraestructura urbana. Integrar elementos naturales en estos espacios urbanos, como árboles y arbustos, resulta trascendente para lograr la sostenibilidad ambiental (Castillo & Ferro, 2015). Los árboles, arbustos y palmeras que se encuentran a lo largo de avenidas y cuya gestión y manejo está a cargo del municipio, forman parte del arbolado vial público o arbolado de alineación (Lu et al., 2010).

El arbolado vial sirve como conector entre las demás áreas verdes de una ciudad (León, Rosas & Bartorila, 2017), es un elemento integrador en las zonas privadas y públicas por los beneficios ambientales y sociales que genera (Mullaney, Lucke, & Trueman, 2015; von Döhren & Haase, 2019). Castillo & Ferro (2015) reconocen que el arbolado vial constituye el elemento más significativo en el espacio verde de las ciudades, ya que se mantiene en contacto directo con las personas.

Nagendra & Gopal (2010), señalan que el arbolado lineal ha sido subestimado por los planificadores y administradores urbanos a pesar del papel crítico que desempeñan en las zonas urbanas, por lo que son los primeros en sacrificarse para la creación de infraestructura, como construcción o ampliación de carreteras. Así pues, los árboles en calles son los más propensos a ser desplazados por el crecimiento urbano, contaminación o modernización y desarrollo de infraestructura; situación que también se ve influenciada por la percepción de los habitantes sobre la importancia de su mantenimiento (Giergiczny & Kronenberg, 2014).

Comúnmente, los estudios sobre arbolado en calles y su gestión han estado a cargo de los gobiernos locales y municipales. Sin embargo, se debe de reconocer que las organizaciones no gubernamentales han generado información valiosa

que realza la importancia de los árboles en ciudades, y que permite establecer recomendaciones para la gestión y manejo, a través de la integración de factores económicos, políticos, sociales y, desde luego, ambientales (Seamans, 2013; Säumel, Weber, & Kowarik, 2016).

3.2 Investigaciones sobre arbolado de alineación

Con el propósito de conocer las temáticas abordadas sobre el arbolado de alineación, se realizó una búsqueda de los artículos científicos publicados en los últimos 10 años (2010-2020) y aquellas de años anteriores que se consideran pioneras en este tipo de estudios. Se utilizó acceso público en la base de datos Google Scholar. Se emplearon palabras como “árboles en calles”, “arbolado vial”, “arbolado viario”, “arbolado de alineación” y “tree in streets”. Se identificaron y analizaron 49 investigaciones principales.

3.2.1 Estudios en México

Uno de los principales estudios realizados en México sobre el arbolado de alineación, fue realizado por Benavides & Villalón (1992) quienes evaluaron las condiciones que presentaba la delegación Venustiano Carranza, ciudad de México. Se encontró un total de 68 especies, de las cuales 67.6% correspondían a árboles y el resto a arbustos, se indicó cualitativamente que las condiciones del arbolado vial dependen de las características económicas en donde se establece, viéndose afectados por los espacios disponibles, la infraestructura aérea y aspectos culturales.

Por su parte, León et al. (2017) señalan que los árboles en vialidades son los espacios verdes públicos con acceso a todos los sectores de la población humana; por lo que aumentar la densidad de árboles en calles incrementa los niveles de confort en las ciudades, lo que ayuda a disminuir el consumo de energía y mejorar la calidad de vida de los residentes.

Actualmente, además de evaluar características sobre la estructura, composición y diversidad de los árboles de alineación en zonas urbanas, conocer la condición

en la que se encuentran resulta importante para mejorar su gestión y establecer medidas que ayuden a mantener o lograr la sostenibilidad ambiental. Así pues, Román et al. (2019) realizaron un diagnóstico dasométrico y de las condiciones físicas y sanitarias del arbolado de alineación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Se reportó que la mayoría de los árboles presentaron un estado físico y sanitario de regular a bueno y destacaron la importancia que tienen los habitantes en la condición que presentan. Por tanto, es preciso considerar aspectos sociales en los programas de gestión del arbolado vial a fin de mejorar la situación de los árboles en avenidas y aumentar su capacidad de brindar servicios ambientales.

3.2.2 Estudios sobre beneficios ambientales, sociales y económicos

En los centros urbanos, donde los espacios para el establecimiento de árboles son limitados, la plantación de árboles en vialidades resulta ser importante para mantener la calidad ambiental; las especies, su ubicación y densidad son tres indicadores que ayudan a los planificadores a desarrollar estrategias que permitan mantener la sostenibilidad ambiental de las ciudades y realizar una evaluación de los servicios ecosistémicos a nivel local, más allá de contemplarlos a nivel regional. La interacción de conocimientos culturales y científicos, es imprescindible para realizar intervenciones adecuadas (Salmond et al., 2016).

El ancho de las carreteras y las características de los árboles como la altura, tamaño y forma de copa, tasa de crecimiento, periodo de foliación y su densidad, influyen directamente en la capacidad que tiene el arbolado de alineación para proveer servicios ambientales (Shashua, Oded, Bitan, Boltansky, & Yaakov, 2010; Rantzoudi & Georgi, 2017). Rantzoudi & Georgi (2017) encontraron que existe correlación entre el ancho de las calles y la altura óptima de los árboles. Por ejemplo, en calles con ancho de 15 m es recomendable establecer especies de hasta de 16 m de altura. La orientación de los árboles también resulta importante en el diseño de plantación para aumentar los beneficios ambientales, como mejorar el microclima, evitar los efectos de “islas de calor” y proporcionar identidad a las calles.

Por su parte, Park et al. (2019) estudiaron el efecto del tamaño y densidad de los árboles en la reducción de la radiación urbana. Encontraron que para potenciar la reducción de radiación solar se pueden establecer árboles grandes en espacios amplios o bien establecer árboles pequeños en espacios más estrechos. Un buen planificador debe de considerar los espacios disponibles y seleccionar las especies adecuadas que mejoren la calidad de vida de los habitantes.

El tipo de infraestructura urbana, de construcciones, la carga de tráfico y las características de los árboles, principalmente su cobertura, influyen en la capacidad que tiene el arbolado para mitigar efectos contaminantes y una regulación del microclima; contar con un buen diseño de establecimiento de árboles en carreteras permite la reducción de emisiones contaminantes y de altas temperaturas originados por el tráfico vehicular en las ciudades, lo que mejora el confort de las personas (Roca, Kurbán, Papparelli, Cúnsulo, & Ripoll, 2010; Shashua, Tsiros, & Hoffman, 2010; Salim, Cheah, & Chan, 2011; Shashua, Tsiros, & Hoffman, 2012; Jeanjean, Hinchliffe, McMullan, Monks, & Leigh, 2015; Vranckc, Vos, Maiheu, & Janssen, 2015; Moradpour, Afshin, & Farhanieh, 2017).

Por tanto, desarrollar un manejo adecuado del arbolado urbano permite contar con árboles en buen estado lo que mejora las condiciones ambientales. Jin, Guo, Wheeler, Kan, & Che (2014) indican que con un 50 a 60% de densidad de dosel y entre 1.5 y 2.0 de índice de área foliar, permiten una marcada disminución de las tasas de PM_{2.5}. La intensidad de poda y las especies establecidas, son los principales factores que influyen en la atenuación de estas partículas. Tong, Baldauf, Isakov, Deshmukh, & Max Zhang (2016) indican que, en el caso de árboles perennes como lo son las coníferas, contar con barreras de vegetación anchas y densas, así como árboles plantados cerca de una barrera sólida, incrementan la capacidad de reducción de contaminantes. Yang et al. (2020) indicaron que la reducción de las concentraciones de dióxido de carbono se ve influenciada por la altura, densidad de árboles, masa foliar y dirección del viento, pero su capacidad de absorción también depende del diseño urbano. Por lo

anterior resulta importante contar con una buena elección de especies y diseño de plantación de árboles dentro de la infraestructura urbana; se debe reconocer que la evaluación de los árboles en calles son significativos para determinar la capacidad de dispersión de contaminantes (Gromke & Blocken, 2015).

La densidad de árboles, la sombra de sus copas y su orientación, son importantes en la regulación de temperatura, mejorando la sensación térmica. Tal beneficio es mejor percibido en ciudades o lugares que cuentan con construcciones de alturas medias que en lugares con edificios de gran altura, por lo que es preciso tener un buen diseño en el establecimiento de árboles (Klemm, Heusinkveld, Lenzholzer, & van Hove, 2015; Sanusi, Johnstone, May, & Livesley, 2016; Li, Ratti, & Seiferling, 2018; Langenheim, White, Tapper, Livesley, & Ramirez-Lovering, 2020).

Además de los beneficios ambientales, los árboles en calles también generan beneficios económicos y sociales. Pandit, Polyakov, Tapsuwan, & Moran (2013) encontraron que el tipo de especies establecidas puede aumentar el valor de una propiedad. Los árboles de hoja ancha que se encuentran a lo largo de la carretera aumentan significativamente el valor de los espacios públicos. Son preferidos por los residentes gracias al tipo de beneficios ecosistémicos que proveen, principalmente la disminución de temperatura.

Mientras que Nawrath, Kowarik, & Fischer (2019) analizaron la preferencia de los residentes que practican ciclismo en una ciudad de Alemania, por calles con alta, media y baja densidad de árboles. Las calles con más árboles fueron las preferidas por los ciclistas, lo cual incrementó la actividad física y, por ende, la salud de las personas.

La valoración económica y social del arbolado de alineación resulta ser una estrategia de planeación que permite reconocer la importancia que tienen los árboles para la población y, desde luego, gobernantes. Existen grupos sociales que están dispuestos a pagar por mejorar las condiciones ambientales de su ciudad a través del establecimiento de árboles en calles, situación que puede

estar condicionada a las características económicas y culturales de cada núcleo urbano (Giergiczny & Kronenberg, 2014).

Desde luego, en el manejo del arbolado urbano una buena planeación es indispensable, de lo contrario los árboles pueden significar un problema más a atender en las ciudades. Los inventarios, clasificación y mapeo de los árboles en vialidades permiten contar con información básica para una correcta planeación y gestión; árboles plantados en lugares incorrectos pueden causar incluso problemas en la salud urbana. Por ejemplo, alergias generadas por el polen de ciertas especies, de allí la importancia de seleccionar especies adecuadas (Benedetti, Duval, Campo, & Barrionuevo, 2013).

Benson, Koeser, & Morgenroth (2019) analizaron el comportamiento de poda de raíz de árboles en calles de la especie *Q. virginiana* Mill, recomendaron que el corte lineal de raíces no se debe realizar a menos de 12 veces el diámetro normal y acentuaron que la presencia de infraestructura urbana afecta negativamente el desarrollo de los árboles a través del tiempo. Resolver los conflictos entre el crecimiento de la raíz y daños ocasionados a la infraestructura, es un tema de gran interés en el diseño de plantación de árboles en calles urbanas. Es necesario crear nuevas cubiertas y espacios que contemplen capas de suelo y material que además de permitir un crecimiento adecuado y dirigido de las raíces, controlen su profundidad para evitar, en lo posible, el agrietamiento de las aceras (Grabosky & Gucunski, 2019).

Janke & Finlay (2019) señalan que un mal diseño urbano puede ocasionar que los árboles en calles ocasionen problemas como la contaminación de aguas pluviales por exceso de nutrientes, debido a la hojarasca que producen. Situación que se agrava si no existen espacios necesarios para la infiltración de escorrentía. Caplan, Galanti, Olshevski, & Eisenman (2019) reconocen la importancia de contar con espacios y superficies de crecimiento adecuados que permitan a las raíces absorber la cantidad de agua de lluvia necesaria para evitar problemas en el crecimiento fisiológico de los árboles, que comúnmente, afecta más a especies de crecimiento lento.

No obstante, a pesar de las problemáticas que se puedan generar por una mala planeación y manejo del arbolado de alineación, un buen porcentaje de los habitantes y gobernantes de las ciudades, reconocen la importancia de los árboles y de los beneficios que proveen en las calles, los costos de mantenimiento y corrección no resultan mayores al costo de no contar con árboles (Mullaney, Lucke, & Trueman, 2015).

3.2.3 Estudios sobre estructura, composición y diversidad

Uno de los principales problemas derivados del proceso de urbanización es la pérdida y degradación de las áreas verdes, que disminuyen la calidad de la vegetación (Useni et al., 2019). Tanto diversidad, densidad como estructura de los árboles en calles, puede variar respecto al tipo de vialidad donde se encuentran establecidos. Representan factores que influyen en la capacidad de los árboles para reducir la carga de contaminantes y demás problemas ambientales, un buen manejo favorece la existencia de árboles sanos y reduce los costos adicionales de mantenimiento (McPherson, van Doorn, & de Goede, 2016).

Varios estudios se han realizado a fin de determinar la diversidad de árboles en calles; entre los principales se encuentra el estudio realizado por Nagendra & Gopal (2010) quienes evaluaron la densidad, diversidad y composición del arbolado en carreteras de diferente anchura. Se determinó que las calles más anchas contaban con un mayor número de individuos arbóreos, de tallas más grandes, así como una mayor diversidad que las calles angostas. Sin embargo, debido al crecimiento urbano poco planificado, se presentan problemas como la tala de árboles en calles anchas con el fin de ampliar vialidades, así como el aumento de árboles de tallas más pequeñas que cuentan con una menor capacidad de absorber contaminantes y mitigar efectos propios de la urbanización.

Posteriormente, Sreetheran et al. (2011) evaluaron la diversidad en cinco carreteras principales en una ciudad de Malasia. Reportaron un valor de índice

de Simpson inverso de 5, se encontraron tres especies con mayor dominancia; no obstante, el mayor porcentaje de especies encontradas, más del 65%, fueron nativas, atributo importante para mantener la salud de árboles de calles. Mientras que Useni et al. (2019), estudiaron la diversidad en la República Democrática del Congo, reportando un total de sesenta especies entre árboles y arbustos. También encontraron que el diámetro normal y el área basal eran mayores en árboles que se encontraban dentro de zonas urbanas que en las zonas periurbanas. Lo que indica que en las áreas urbanas existían árboles más viejos, mientras que los espacios periurbanos mostraron una disposición a la regeneración.

Por su parte, Castillo & Pastrana (2015) realizaron un diagnóstico del arbolado vial en una ciudad de Cuba. Entre otras cosas, destacaron una baja diversidad, densidad y calidad de los árboles, por lo que indicaron que una de las principales estrategias para contrarrestar este escenario es realizar una producción de especies nativas, con características adecuadas para aumentar la calidad ambiental. De Castro, Martello, Ribeiro, Armitage, Young, & Rodrigues (2017) determinaron que la diversidad y origen de árboles, así como la altura, son elementos importantes para aumentar la riqueza de aves en las ciudades, lo que mejora la funcionalidad de los ambientes urbanos.

Comúnmente, la evaluación de distintos atributos del arbolado urbano resulta ser costosa y requiere de mucho tiempo. Una alternativa resulta ser la aplicación de técnicas de sistemas de información geográfica. Seiferling, Naik, & Ratti (2017) utilizaron el software Google Street View para determinar la cobertura de árboles, evaluaron su aplicación y resultó ser un método apropiado para determinar la presencia y distribución de los árboles en calles. Fang, McNeil, Warner, Dahle, & Eutsler (2020) determinaron que una técnica eficiente para determinar el estado de salud de los árboles a nivel de copa es a través de imágenes del satélite WorldView-3 (WV-3) midiendo los índices de vegetación y proponen su utilización en la gestión del arbolado urbano.

Independientemente del método de evaluación, la elección de especies dentro de centros urbanos se debe realizar de forma cuidadosa. Se deben seleccionar las especies que puedan desarrollarse sin problemas antes las características de cada sitio. Por ejemplo, un estudio realizado en Grzybowska, Polonia, evaluó la resistencia del *Ginkgo biloba* L., establecido en calles bajo condiciones desfavorables. Se determinó que es una especie que puede resistir condiciones desfavorables (altas concentraciones de cloro y sodio, estrés salino), caso contrario a especies de los géneros *Tilia*, *Acer*, *Fraxinus*, *Sorbus* y *Platanus* (Dmuchowski et al., 2019).

Entre las investigaciones más recientes, algunos estudios han dirigido sus objetivos a determinar características del arbolado lineal en relación con algunos aspectos sociales. Por ejemplo, von Döhren & Haase (2019) estudió el peligro, vulnerabilidad y riesgos de los árboles en calles de Berlín. Halló que la composición y edad de los árboles influyen en la determinación del riesgo; efecto que se muestra desigual dentro de la misma ciudad por las características sociales y valores culturales diversos que se presenta. Así mismo, Castelao & Fritschy (2019) analizaron la composición de especies en dos centros urbanos con diferente proceso de urbanización. En zonas de reciente fundación, las especies establecidas corresponden a las condiciones climáticas; mientras que en un centro urbano con residentes de clase media a alta la mayoría de las especies encontradas son ornamentales. Sin embargo, en áreas con mayor nivel económico existen mejores espacios para el desarrollo de la vegetación y menos problemas asociados con la infraestructura que en las otras áreas.

3.2.4 Estudios sobre condición

La condición del arbolado de alineación se ve afectado por el aumento de infraestructura urbana dada por el crecimiento poblacional y flujo vial lo que influye en su deterioro; es necesario que los actores e intereses sociales tanto públicos como privados se integren en la intervención y manejo del arbolado vial que coadyuve a mejorar la calidad de los árboles (Campari, 2006).

El inventario o censo del arbolado en calles, permite generar información para determinar el peligro que éstos pueden ocasionar a la sociedad, así como establecer medidas de planeación y manejo necesarias para mantener la salud de los árboles (Sreetheran et al., 2011). Dos Santos et al. (2015) evaluaron el estado general del arbolado lineal de 25 avenidas principales de la ciudad de Aracaju, Brasil. El mayor porcentaje de los árboles contaron con una condición regular, por lo que resulta necesario incorporar planes de manejo que mejoren su estado y no provoquen el declive de la población. El estado fitosanitario en la mayoría de los árboles fue bueno, los mayores daños fueron provocados por insectos; destacaron que el grado y tipo de intervenciones influyen en la estabilidad de los árboles.

Por su parte, Dong, Zhang, & Zhao (2018) analizaron el valor horizontal de los árboles en calles, mediante la incorporación del índice de vista verde (GVI), utilizaron imágenes de *Tencent street view*. Se reportó que la longitud de las vialidades tiene influencia positiva en los valores de GVI, mientras que el ancho puede tener efectos tanto positivos como negativos, según el tipo de vialidad. Estudiar la cantidad de vegetación visual en diferentes categorías de calles resulta una técnica visual óptima para conocer el estado general de la vegetación y mejorar su manejo.

Castillo & Ferro (2015) reconocen que una de las principales problemáticas relacionadas al inadecuado desarrollo de la vegetación es que en el establecimiento no se seleccionan las especies adecuadas al sitio y los individuos que se establecen no cuentan con buenas características que permitan sobrevivir en estos ambientes. Es importante realizar estudios que ayuden a mejorar la calidad de estos espacios, integrando características medioambientales y socioculturales, para establecer mejores planes de manejo.

3.2.5 Tendencia de estudios sobre arbolado de alineación

De manera general, los estudios sobre arbolado de alineación en ciudades de todo el mundo han ido en incremento. Los años 2015 y 2019 muestran un mayor

número de investigaciones realizadas acerca de tal tema. Varios de los autores señalan la importancia de aumentar este tipo de estudios en diferentes centros urbanos, pues reconocen que los árboles en calles son indicadores de la calidad ambiental y social (Figura 1).

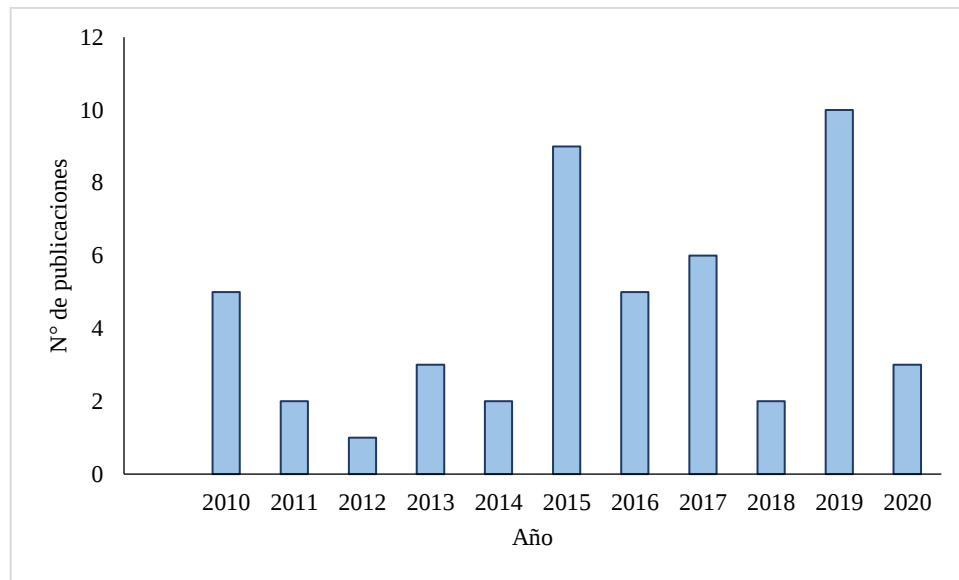


Figura 1. Número de estudios sobre arbolado de alineación en el mundo, por año.

De los artículos revisados, la mayoría, el 26. 5% fueron realizados en Estados Unidos, seguido de Australia y Argentina, ambos con un 8.2% (Figura 2). Resulta necesario aumentar el número de investigaciones sobre el arbolado lineal en México, ya que las condiciones que éste presenta en la mayoría de las ciudades son desfavorables y es establecido en lugares donde las condiciones para su desarrollo son limitadas.

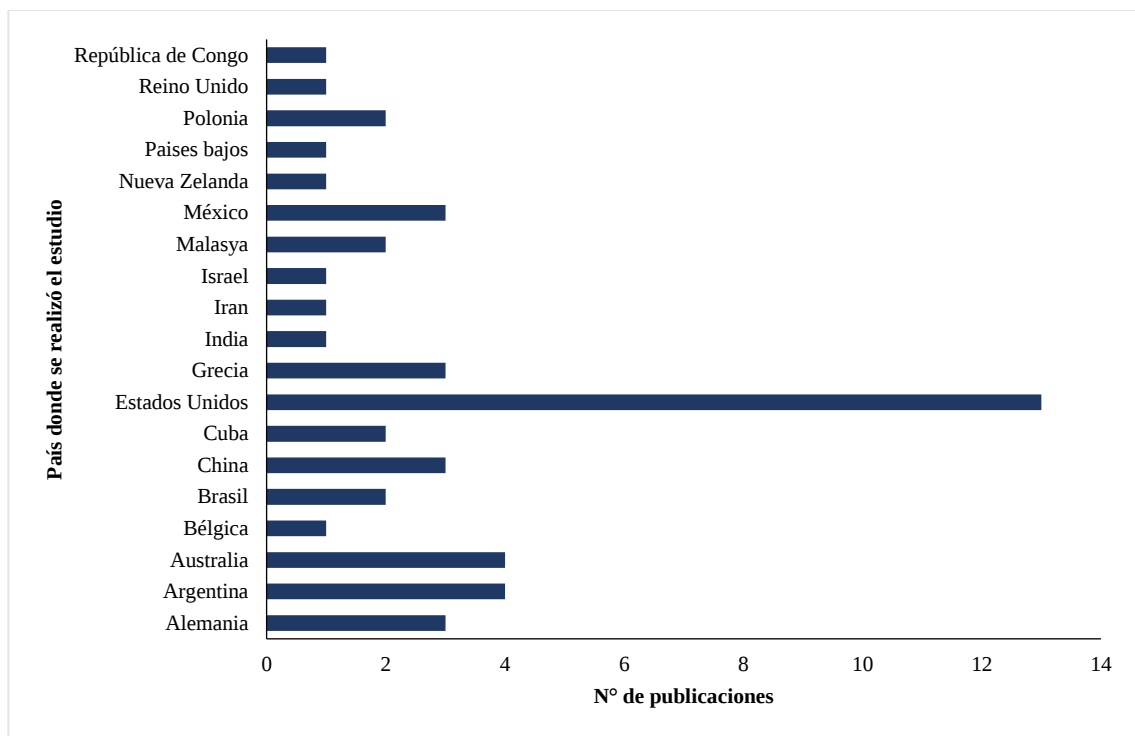


Figura 2. Número de publicaciones realizadas sobre arbolado de alineación por país (2010-2019).

De manera general, la mayoría de los estudios sobre arbolado de alineación se han enfocado a determinar los diferentes beneficios ambientales, sociales y económicos que aportan, la evaluación del efecto de sombra es el factor que más ha resaltado. Es de notar que gran número de investigaciones se han realizado en Estados Unidos; en México son escasos los estudios enfocados a estudiar la importancia, características y condición del arbolado de alineación, entre los que destacan el realizado por Benavides & Villalón (1992), León et al. (2017) y Román et al. (2019). Por ello resulta de gran interés fomentar este tipo de investigaciones, ya que como se ha mencionado el arbolado de alineación tiende a verse afectado en mayor medida por el crecimiento de la ciudad y ocupa espacios que están condicionados a las características ambientales y urbanas de cada metrópoli.

3.3. Literatura citada

- Benavides, H., & Villalón, R. (1992). Algunos aspectos del arbolado de alineación de la delegación Venustiano Carranza, D.F. In Memoria de Reunión Científica Forestal y Agropecuaria. (p. 21).
- Benedetti, G. M., Duval, V. S., Campo, A. M., & Barrionuevo, L. (2013). El aeropolen en la ciudad de Bahía Blanca (Argentina): Aportes para la gestión del arbolado público desde la selección de especies. *Revista de La Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*, 4(2), 199–210. Consultada en <http://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/12452>
- Benson, A. R., Koeser, A. K., & Morgenroth, J. (2019). Responses of mature roadside trees to root severance treatments. *Urban Forestry & Urban Greening*, 46(September), 126448. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126448>
- Campari, G. E. (2006). Propuesta de ordenamiento del arbolado de alineación mediante la intervención vecinal en el partido de Quilmes – provincia de Buenos Aires - Argentina. *Revista de Departamento de Geografía*, 16, 20–34. <https://doi.org/10.7154/rdg.2006.0019.0002>
- Caplan, J. S., Galanti, R. C., Olshevski, S., & Eisenman, S. W. (2019). Urban Forestry & Urban Greening Water relations of street trees in green infrastructure tree trench systems. *Urban Forestry & Urban Greening*, 41(February), 170–178. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.016>
- Castelao, G. F., & Fritschy, B. A. (2019). Diagnóstico del arbolado urbano de alineación en vecinales La Esmeralda y Guadalupe Este. Ciudad de Santa Fe, República Argentina. *Contribuciones Científicas*, 31, 99–118.
- Castillo, L., & Ferro, A. (2015). La problemática del diseño con árboles en vías urbanas: “verde con respuntes negros.” *Arquitectura & Urbanismo*, 36(1), 5–24.
- Castillo, L., & Pastrana, J. C. (2015). Diagnóstico del arbolado viario de El Vedado: composición, distribución y conflictos con el espacio construido. *Arquitectura y Urbanismo*, 36(2), 93–118.
- De Castro, J. C., Martello, F., Ribeiro, M. C., Armitage, R., Young, R. J., & Rodrigues, M. (2017). Street trees reduce the negative effects of urbanization on birds. *PLoS ONE*, 12(3), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174484>
- Dmuchowski, W., Brągoszewska, P., Gozdowski, D., Baczewska-Dabrowska, A. B., Chojnacki, T., Jozwiak, A.,... Suwara, I. (2019). Strategy of Ginkgo biloba L. in the mitigation of salt stress in the urban environment. *Urban Forestry & Urban Greening*, 38(January), 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.01.003>
- Dong, R., Zhang, Y., & Zhao, J. (2018). How green are the streets within the sixth ring road of Beijing? An analysis based on ten cent street view pictures and

- the green view index. *International Journal of Environmental Research & Public Health*, 15(7), 1–22. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071367>
- Dos Santos, C. Z. A., Ferreira, R. A., Santos, L. R., Santos, L. I., Gomes, S. H., & da Graça, D. A. S. (2015). Análise qualitativa da arborização urbana de 25 vias públicas da cidade de Aracaju-SE. *Ciência Florestal*, 25(3), 751–763. <https://doi.org/10.5902/1980509819678>
- Fang, F., McNeil, B., Warner, T., Dahle, G., & Eutsler, E. (2020). Street tree health from space? An evaluation using WorldView-3 data and the Washington D.C. Street Tree Spatial Database. *Urban Forestry & Urban Greening*, 49(December 2019), 126634. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126634>
- Giergiczny, M., & Kronenberg, J. (2014). From valuation to governance: Using choice experiment to value street trees. *A Journal of the Human Environment (Ambio)*, 43(4), 492–501. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0516-9>
- Grabosky, J., & Gucunski, N. (2019). Modelling the influence of root position and growth on pavement tensile crack failure when occurring under three thicknesses of asphaltic concrete. *Urban Forestry & Urban Greening*, 41(November 2018), 238–247. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.04.006>
- Gromke, C., & Blocken, B. (2015). Influence of avenue-trees on air quality at the urban neighborhood scale. Part I: Quality assurance studies and turbulent Schmidt number analysis for RANS CFD simulations. *Environmental Pollution*, 196, 214–223. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.10.016>
- Janke, B. D., Finlay, J. C., & Hobbie, S. E. (2019). Trees and Streets as Drivers of Urban Stormwater Nutrient Pollution. *Environmental Science & Technology*, 51(17), 9569–9579. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02225>
- Jeanjean, A. P. R., Hinchliffe, G., McMullan, W. A., Monks, P. S., & Leigh, R. J. (2015). A CFD study on the effectiveness of trees to disperse road traffic emissions at a city scale. *Atmospheric Environment*, 120, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.003>
- Jin, S., Guo, J., Wheeler, S., Kan, L., & Che, S. (2014). Evaluation of impacts of trees on PM_{2.5} dispersion in urban streets. *Atmospheric Environment*, 99, 277–287. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.10.002>
- Klemm, W., Heusinkveld, B. G., Lenzholzer, S., & van Hove, B. (2015). Street greenery and its physical and psychological impact on thermal comfort. *Landscape & Urban Planning*, 138, 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.009>
- Langenheim, N., White, M., Tapper, N., Livesley, S. J., & Ramirez, D. (2020). Right tree, right place, right time: A visual-functional design approach to select and place trees for optimal shade benefit to commuting pedestrians. *Sustainable Cities & Society*, 52, 101816. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101816>

- León, S. L., Rosas, M. A., & Bartorila, M. Á. (2017). Forestación de calles, su impacto en el microclima urbano. *Laguna Nuevo Amanecer*, Ciudad Madero, México. *Revista Interdisciplinaria Sobre Estudios Urbanos*, 2, 21–39.
- Li, X., Ratti, C., & Seiferling, I. (2018). Quantifying the shade provision of street trees in urban landscape: A case study in Boston, USA, using Google Street View. *Landscape & Urban Planning*, 169, 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.08.011>
- Lu, J. W. T., Svenden, E. S., Campbell, L. K., Greenfeld, J., Braden, J., King, K. L., & Flaxa, N. (2010). Biological, Social, and Urban Design Factors Affecting Young Street Tree Mortality in New York City. *Cities & the Environment*, 3(1), 1–16. <https://doi.org/10.15365/cate.3152010>
- McPherson, E. G., van Doorn, N., & de Goede, J. (2016). Structure, function and value of street trees in California, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 17, 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.03.013>
- Moradpour, M., Afshin, H., & Farhanieh, B. (2017). A numerical investigation of reactive air pollutant dispersion in urban street canyons with tree planting. *Atmospheric Pollution Research*, 8(2), 253–266. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2016.09.002>
- Mullaney, J., Lucke, T., & Trueman, S. J. (2015). A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landscape and Urban Planning*, 134, 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.013>
- Nagendra, H., & Gopal, D. (2010). Street trees in Bangalore: Density, diversity, composition and distribution. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9(2), 129–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.12.005>
- Nawrath, M., Kowarik, I., & Fischer, L. K. (2019). The influence of green streets on cycling behavior in European cities. *Landscape & Urban Planning*, 190, 103598. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103598>
- Pandit, R., Polyakov, M., Tapsuwan, S., & Moran, T. (2013). The effect of street trees on property value in Perth, Western Australia. *Landscape & Urban Planning*, 110(1), 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.11.001>
- Park, C. Y., Lee, D. K., Krayenhoff, E. S., Heo, H. K., Hyun, J. H., Oh, K., & Park, T. Y. (2019). Variations in pedestrian mean radiant temperature based on the spacing and size of street trees. *Sustainable Cities & Society*, 48, 1–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101521>
- Rantzoudi, E. C., & Georgi, J. N. (2017). Correlation between the geometrical characteristics of streets and morphological features of trees for the formation of tree lines in the urban design of the city of Orestiada, Greece. *Urban Ecosystems*, 20(5), 1081–1093. <https://doi.org/10.1007/s11252-017-0655-4>

- Roca, G. S., Kurbán, A. S., Papparelli, A. H., Cúnsulo, M. E., & Ripoll, M. V. (2010). Influencia térmica de la forestación pública de alineación en ciudad de zona árida. *Avances En Energía Renovables y Medio Ambiente*, 14, 41–47.
- Román, L. M., Orantes, C., Del Carpio, C. U., Sánchez, M. S., Ballinas, M. L., & Ferrera, Ó. (2019). Tree alignment diagnosis of the city of Tuxtla Gutierrez, Chiapas. *Madera Bosques*, 25(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511559>
- Salim, S. M., Cheah, S. C., & Chan, A. (2011). Numerical simulation of dispersion in urban street canyons with avenue-like tree plantings: Comparison between RANS and LES. *Building & Environment*, 46(9), 1735–1746. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.01.032>
- Salmond, J. A., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M.,... Wheeler, B. W. (2016). Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 15(1), 96–171. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0103-6>
- Sanusi, R., Johnstone, D., May, P., & Livesley, S. J. (2016). Street Orientation and Side of the Street Greatly Influence the Microclimatic Benefits Street Trees Can Provide in Summer. *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 167–174. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.01.0039>
- Säumel, I., Weber, F., & Kowarik, I. (2016). Toward livable and healthy urban streets: Roadside vegetation provides ecosystem services where people live and move. *Environmental Science & Policy*, 62, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.11.012>
- Seamans, G. S. (2013). Mainstreaming the environmental benefits of street trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(1), 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.08.004>
- Seiferling, I., Naik, N., & Ratti, C. (2017). Green streets – Quantifying and mapping urban trees with street-level imagery and computer vision. *Landscape & Urban Planning*, 165, 93–101. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.05.010>
- Shashua, L., Oded, P., Bitan, A., Boltansky, D., & Yaakov, Y. (2010). The impact of the positive Indian Ocean dipole on Zimbabwe droughts Tropical climate is understood to be dominated by. *International Journal of Climatology*, 30, 44–57. <https://doi.org/10.1002/joc.1869>
- Shashua, L., Tsiros, I. X., & Hoffman, M. E. (2010). A modeling study for evaluating passive cooling scenarios in urban streets with trees. Case study: Athens, Greece. *Building & Environment*, 45(12), 2798–2807.
- Shashua, L., Tsiros, I. X., & Hoffman, M. (2012). Passive cooling design options to ameliorate thermal comfort in urban streets of a Mediterranean climate

- (Athens) under hot summer conditions. *Building & Environment*, 57, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.04.019>
- Sreetheran, M., Adnan, M., & Azuar, A. K. K. (2011). Street tree inventory and tree risk assessment of selected major roads in Kuala Lumpur, Malaysia. *Arboriculture & Urban Forestry*, 37(5), 226–235.
- Tong, Z., Baldauf, R. W., Isakov, V., Deshmukh, P., & Max Zhang, K. (2016). Roadside vegetation barrier designs to mitigate near-road air pollution impacts. *Science of the Total Environment*, 541, 920–927. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.067>
- Useni, Y., Malaisse, F., Cabala, S., Kalumba, A., Mwana, A., Nkuku, C., ... Munyemba, F. (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. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.008>
- Von Döhren, P., & Haase, D. (2019). Risk assessment concerning urban ecosystem disservices: The example of street trees in Berlin, Germany. *Ecosystem Services*, 40, 101031. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101031>
- Vranckc, S., Vos, P., Maiheu, B., & Janssen, S. (2015). Impact of trees on pollutant dispersion in street canyons: A numerical study of the annual average effects in Antwerp, Belgium. *Science of the Total Environment*, 532, 474–483. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.032>
- Yang, H., Chen, T., Lin, Y., Buccolieri, R., Mattsson, M., Zhang, M., ... Wang, Q. (2020). Integrated impacts of tree planting and street aspect ratios on CO dispersion and personal exposure in full-scale street canyons. *Building & Environment*, 169, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106529>

CAPÍTULO 4. EFECTO DEL GRADO DE MARGINACIÓN Y TIPO DE VIALIDAD EN LA CONDICIÓN DEL ARBOLADO DE ALINEACIÓN, CIUDAD DE PUEBLA

Effect of marginalization and type of street on condition of street trees, city of Puebla

4.1 Resumen

El arbolado lineal conforma parte importante de los espacios verdes dentro de las ciudades, incrementando la superficie verde por habitante necesaria para lograr una sustentabilidad ambiental. El objetivo de este trabajo fue determinar si el grado de marginación social de la población y el orden de vialidad influyen en la condición física y sanitaria del arbolado de alineación público de la ciudad de Puebla. Considerando Áreas Geo Estadísticamente Básicas (AGEB's), se realizó un muestreo aleatorio estratificado, el cual se llevó a cabo de mayo a octubre del 2019. Se registraron un total de 2,188 individuos, se evaluaron variables cuantitativas y cualitativas para determinar la salud del arbolado lineal. Con la aplicación de modelos multinomiales de momios proporcionales se encontró que, en promedio, en las áreas con marginación alta los individuos contaban con mejores condiciones, mientras que en el caso de las vialidades, las de segundo orden mantienen en promedio árboles más sanos y vigorosos. No obstante, la interacción entre marginación y orden vial mostró efectos significativos ($p < 0.0001$). Se concluye que tanto el grado de marginación como el orden vial y la interacción entre éstos afectan significativamente la condición del arbolado vial de la ciudad de Puebla.

Palabras clave: arbolado viario, evaluación física y fitosanitaria, grado de marginación, tipo de vialidad, urbanización.

4.2 Introducción

En México, como en otros países en desarrollo, la planificación irregular de los centros urbanos origina que se desencadenen diversos problemas ambientales (PNUMA, 2010) haciendo de los recursos naturales los más frágiles (Sorensen et al., 1998).

Uno de los principales desafíos, a fin de lograr ciudades más sostenibles, es el mantenimiento de los espacios verdes, el cual se ve afectado por el aumento de infraestructura urbana (FAO, 2016). La degradación y pérdida de la masa forestal en los centros urbanos y periurbanos obedece tanto a condiciones naturales

como a efectos causados por el proceso de urbanización, “su supervivencia depende de factores como la compactación del suelo, la falta o exceso de agua, la contaminación y el estrés climático” (Chacalo et al., 2018; Useni et al., 2019). Las funciones ambientales que proporcionan en zonas urbanas obedecen a su manejo y lugar de establecimiento (Pretzsch et al., 2015), así como del estado físico y sanitario que presenten.

El arbolado vial o de alineación otorga varios servicios ambientales (Pham et al., 2017) que contribuyen a mejorar las condiciones de vida en la ciudad; sin embargo, son los más expuestos y sometidos a estrés constante y permanente, así como a factores físicos y biológicos limitantes (Fang et al., 2020).

La mala distribución de los espacios verdes (PNUMA, 2010) y la fragmentación de la vegetación ocasionados por el proceso de urbanización ha reducido la conectividad de los remanentes arbóreos (Ramalho et al., 2018), por tanto la vegetación en vialidades es fundamental para conservar una conectividad ambiental entre las dispersas áreas verdes, además de ser estos espacios los que mantienen una mayor conexión con los diferentes sectores de la población (Benavides & Fernández, 2012).

La nula o inadecuada planeación y el poco conocimiento técnico de los involucrados en la planeación y gestión, hacen que los árboles resulten inadecuados dentro de las ciudades, siendo el arbolado vial el más afectado (Chacalo et al., 2018). Estudiar la condición en que se encuentra el arbolado vial resulta importante para identificar las problemáticas que enfrenta y establecer medidas correctoras (Jiménez et al., 2015; IMPLAN, 2018), considerando las características culturales y socioeconómicas en las que el elemento natural se desarrolla y haciendo hincapié en promover nuevas medidas de ordenamiento territorial (von Döhren & Dagmar, 2019).

Sudha & Ravindranath (2019) señalan que factores políticos, económicos y socioculturales influyen en la estructura y composición del arbolado urbano, las autoridades generalmente establecen árboles con fines decorativos, mientras

que los residentes prefieren el establecimiento de árboles de uso múltiple. Así mismo, el nivel económico y tamaño de las vialidades son factores que repercuten en las características del arbolado urbano; calles con un ancho grande y medio cuentan con más árboles, de mayores altura, diámetro normal (Nagendra & Gopal, 2010) y mayor cobertura de copa (Pham et al., 2017) que calles angostas. Shams et al. (2020) encontraron, en Karachi, Pakistán, que en áreas con un nivel socioeconómico más alto la densidad de árboles es mayor pero cuentan con menor riqueza, y en calles más amplias la mayoría de las especies son exóticas.

En México, Benavides & Villalón (1992) realizaron un estudio en una colonia de la ciudad de México, señalan que las características socioeconómicas influyen directamente en la condición de árboles en calle, encontrando que la calidad de los árboles se ve afectada por los reducidos espacios de crecimiento.

En Puebla, se realizó un inventario del arbolado en 11 vialidades principales, se reconoció la importancia de restablecer nuevos individuos con buenas características, y de aumentar la diversidad de especies y tallas (IMPLAN, 2018). Actualmente, la ciudad de Puebla presenta problemas de carácter ambiental asociados a la reducción y mala calidad de superficie verde.

A pesar de la importancia que se reconoce de los árboles en calles urbanas, y de las investigaciones que se han realizado sobre la diversidad, composición y estructura, aún son escasos los estudios sobre la condición en la que se encuentra el arbolado vial y los factores que la determinan. Ante el panorama anterior, el objetivo de este estudio fue analizar la relación entre la condición del arbolado vial con el grado de marginación social y orden de vialidades dentro de la ciudad de Puebla.

4.3 Materiales y métodos

Sitio de Estudio

La Heroica Puebla de Zaragoza está ubicada en la zona centro-oeste del estado de Puebla, sobre un valle; cuenta con una superficie de 206.55 km², se encuentra dentro de las coordenadas geográficas 19°02'38.363" N y 098°11'18.452" O, a una altitud de 2,137 m (INEGI, 2016). El clima que predomina es el templado-frío (Figura 3).

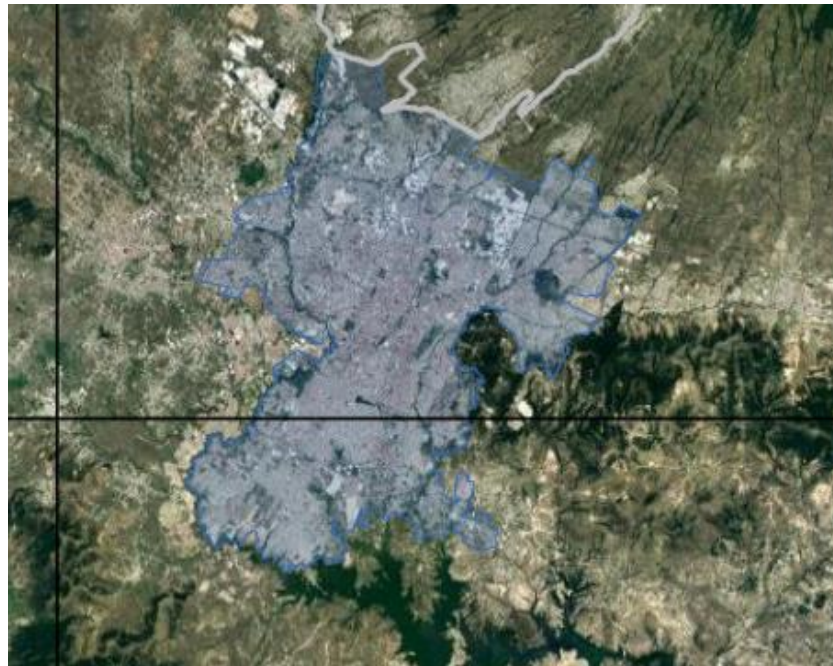


Figura 3. Localización de la ciudad de Puebla, Puebla, México.

El crecimiento demográfico de la ciudad de Puebla está marcado por una curva exponencial (Almazán & Hinterholzer, 2010), cuenta con una población de 1, 434, 062 habitantes (Sedesol, 2010). El crecimiento físico de la ciudad es resultado principalmente del crecimiento poblacional, a través de asentamientos irregulares en todas direcciones, creando una zona conurbada entre la propia ciudad y las ciudades adyacentes (Carranza & Martínez, 2017).

Puebla de Zaragoza forma parte de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala “ZMPT” (PMD, 2018), es reconocida como patrimonio Cultural de la Humanidad

por la Unesco, desde 1987 (Cruz et al., 2017). Es la cuarta ciudad más grande de México, después de la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey. El crecimiento urbano, en parte resultado del establecimiento de asentamientos habitacionales irregulares ha ocasionado una exclusión social y territorial de la población más pobre, dando lugar a una fragmentación de la ciudad que influye en la desigualdad y pobreza; la distribución social se da de manera heterogénea dentro de la ciudad y en los límites periurbanos se encuentra la mayor pobreza (PMD, 2018).

En cuanto a la movilidad, actualmente la ciudad de Puebla tiene como prioridad la creación de vialidades para el peatón y los ciclistas, seguido del transporte público, transporte de carga y finalmente, el automovilista particular (UNESCO, 2017). En vialidades existentes, hay un número considerable de calles sin pavimentar, principalmente en la periferia de la ciudad.

En el aspecto ambiental, la ciudad es una de las más contaminadas de México, ocupa el cuarto lugar. Además presenta un decremento de espacios verdes provocado por el crecimiento urbano (Carranza & Martínez, 2017). Como una acción para revertir estos fenómenos, en 2015 se realizó el primer inventario de las áreas verdes urbanas, en el cual se registraron 374 sitios, “parques, jardines, áreas recreativas, plazuelas y camellones”, sobre 306.92 ha (Secretaría de Desarrollo Urbano y Sustentabilidad, 2015). También se realizó un inventario del arbolado en las principales vialidades del municipio de Puebla con el fin de establecer medidas de manejo adecuadas (IMPLAN, 2018).

Sitios de muestreo

Se realizó una estratificación de la ciudad, considerando la información oficial de la CONAPO (2010), donde se establecen Áreas Geo estadísticamente Básicas (AGEB's) de marginación muy alta, alta, media, baja y muy baja. Con ayuda del software ArcGis 10.1 se reagruparon en tres categorías: alta, media y baja. A la par, se utilizó la información generada por el INEGI (2010), para definir el orden de vialidades presentes en la ciudad de Puebla, que se agruparon en cuatro

órdenes. Las de primer orden se conforman por avenidas, boulevard, calzada, circuito, circunvalación, eje vial, periférico o viaducto. Las de segundo orden corresponden a ampliación, continuación, corredor, diagonal o prolongación. Las de tercer orden incluyen calle, callejón y retorno y finalmente son consideradas de cuarto orden las privadas o cerradas.

Con la información anterior, se descartaron aquellas AGEB's que contaran con menos de tres órdenes de vialidades, y mediante un muestreo aleatorio se obtuvieron al azar 33 sitios, de los cuales 12 corresponden a áreas de marginación baja, 11 a marginación media y 10 a marginación alta; lo que representa una intensidad de muestreo de 7%.

Muestreo

Los datos se recabaron en vialidades públicas. En cada área de muestreo se realizaron recorridos lineales de 200 m (Nagendra & Gopal, 2010) para cada tipo de vialidad presente (primero, segundo, tercer y cuarto orden) y se registraron los árboles y arbustos con más de 1 m de altura. Los recorridos abarcaron 32 tramos de vialidades de primer orden, 23 de segundo orden, 33 de tercer orden y 30 de cuarto orden, con un total de 118 tramos recorridos.

Se realizó una evaluación visual sobre la condición física de la raíz visible, tronco y copa, así como el estado fitosanitario de copa y tronco, integrando indicadores cualitativos considerados para este tipo de evaluaciones por el Gobierno del Estado de Oaxaca (2014) y del Estado de México (2018) y la metodología utilizada por Cervantes, Ortiz, & Reséndiz (2019); los datos se obtuvieron de mayo a octubre del 2019.

En la evaluación de los indicadores se establecieron cuatro categorías ordinales: buena (4), regular (3), mala (2) y pésima (1). Para determinar la condición general se realizó la suma de los cinco indicadores evaluados y de igual manera se establecieron cuatro categorías, buena (16-20), regular (11-15), mala (6-10), y pésima (1-5).

Análisis de datos

Para cada uno de los indicadores de comparación considerados en el estudio, a las frecuencias de las categorías ordenadas de la respuesta multicategórica ordinal condición (1=pésima, 2=mala, 3=regular, 4=buena) se les ajustó un modelo lineal generalizado multinomial (MLGM), de momios proporcionales, el cual hace uso de logits acumulativas para modelar el efecto de los factores y sus interacciones sobre las probabilidades acumuladas de las diferentes categorías ordinales de la respuesta (ver, por ejemplo, Gbur et al., 2012, págs. 184-194); con esta información se obtuvieron las probabilidades individuales de las categorías. Cada uno de los tres predictores lineales del MLGM ajustado constó de un intercepto específico para cada predictor, un término para el efecto principal del nivel del factor marginación, un término para el efecto principal del factor orden vial y un término de interacción para el efecto de la combinación específica entre los factores marginación y orden vial. El ajuste del MLGM a los datos se realizó a través del procedimiento GLIMMIX de SAS (versión 9.4; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

4.4 Resultados

4.4.1 Distribución del arbolado vial

Se registraron un total de 2,188 árboles y arbustos, de los cuales 64 fueron registrados como tocones, 55 muertos en pie y uno muerto derribado. Los restantes, 2,068 árboles, se encontraron vivos. De estos últimos, 2,024 contaban con una altura mayor de 1 m y fueron los considerados para realizar los análisis estadísticos.

De los 2,024 individuos considerados, 47.9% del total se localizaban dentro de las áreas con marginación baja, 26.1% en las de marginación alta y el resto, 25.9%, en las de marginación media. Considerando su localización, con respecto al orden de vialidad, el porcentaje disminuye de vialidades de primer orden (32.6%) a las vialidades de cuarto orden (15.6%).

4.4.2 Problemas con infraestructura urbana

Las problemáticas con la infraestructura se dan por la mala planeación en el establecimiento y manejo inadecuado del arbolado vial. La interferencia con el cableado y los conflictos con casa u otro tipo de construcciones son los más representativos.

El 58.3% de individuos localizados en sitios de marginación alta presentaron problemas con cableado, 26.2% con casa o construcción, en menor porcentaje existieron problemas con postes (11.1%) y objetos incrustados (10.9%). Para el caso de los árboles localizados en áreas con marginación media existe un mayor porcentaje de conflictos con cableado (68.5%) y con casas o construcciones (24.3%), cerca del 8% de los individuos establecidos en este grado de marginación presentan problemas con postes y objetos incrustados. Mientras que en áreas con grado de marginación baja menos del 50% de individuos muestran conflictos por cableado, el 21.2% tiene conflictos con construcciones, seguido de un 14.6% con postes y 10.5% con objetos incrustados. Otros conflictos con infraestructura que se encontraron con menor frecuencia en los tres grados de marginación fueron levantamiento de banqueteta, anuncios o espectaculares y otros (Figura 4).

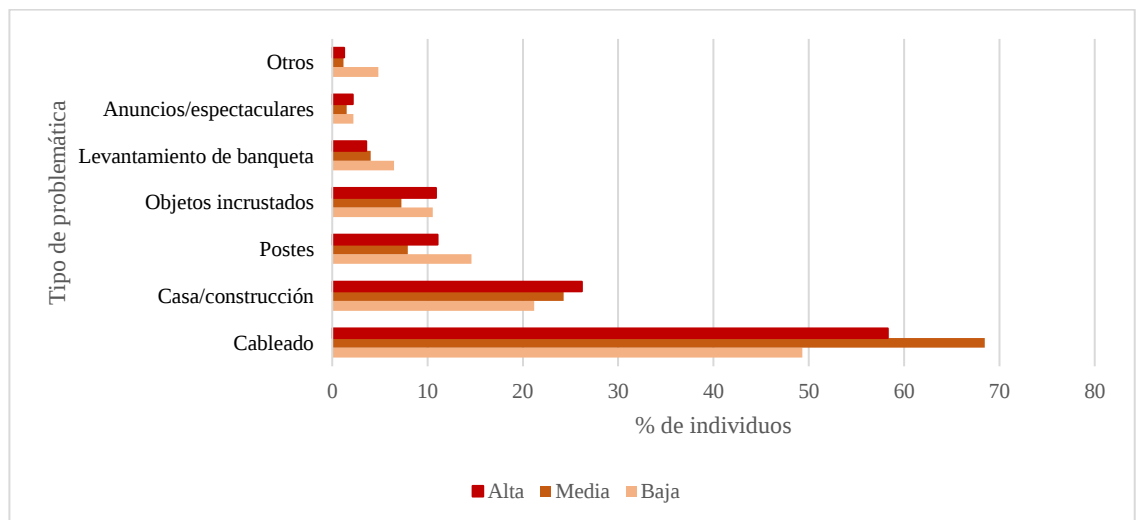


Figura 4. Porcentaje de individuos que presentan conflictos con infraestructura urbana por grado de marginación.

Estas problemáticas también muestran una distribución interesante si se considera el orden de vialidad en donde están establecidos los árboles. En vialidades de segundo orden el 49.38% tienen conflictos con cableado, en las vialidades de tercer y cuarto orden más del 50% presentan este tipo de problemáticas, siendo las vialidades de primer orden las que presentan un menor porcentaje, con 41.67%. Los conflictos con casas o construcciones en las vialidades de tercer y cuarto orden también representan un porcentaje alto (46.89 y 55.35%, respectivamente). Del resto de las problemáticas identificadas, siguen los problemas con postes y objetos incrustados en menor porcentaje (Figura 5).

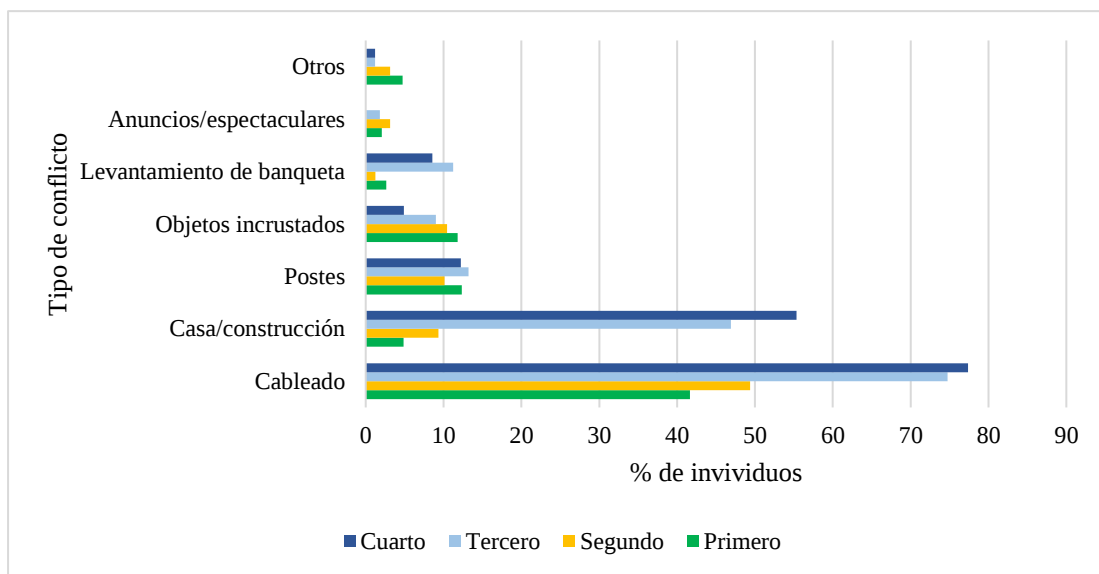


Figura 5. Porcentaje de individuos que presentan problemas con infraestructura por orden vial.

4.4.3 Grado de marginación

Se encontraron diferencias estadísticas fuertemente significativas ($p < 0.01$) entre los tres grados de marginación en los cinco indicadores evaluados, así como en la condición general del arbolado (Cuadro 1).

En promedio, existe una mayor probabilidad de encontrar individuos con estructura de tronco buena en áreas de marginación media (0.40). No obstante, en los tres grados de marginación la probabilidad de encontrar individuos con condición buena y regular está por encima de 0.30; individuos con estructura de tronco mala tienen mayor probabilidad de localizarse en áreas de marginación

baja (0.20), mientras que la condición pésima tiene una muy baja probabilidad en los tres estratos de marginación (Cuadro 2).

En cuanto a la condición de copa, en áreas de marginación baja la mayor probabilidad (0.54) es encontrar individuos con condición mala y menor probabilidad (0.15) de hallar individuos con condición de copa buena; por su parte, en áreas de marginación alta y media es más probable localizar árboles con condición de copa regular (Cuadro 2).

Respecto al estado fitosanitario de la copa y el tronco, existe una mínima probabilidad de que los individuos cuenten con una condición pésima en los tres grados de marginación; aun así las áreas de marginación alta presentan mayor probabilidad de hallar individuos con estado fitosanitario del tronco y copa buena (0.89 y 0.61, respectivamente), seguido por áreas de marginación media y alta (Cuadro 2).

Analizando la condición de raíz, existe alta probabilidad de que se encuentren condiciones buenas en el grado de marginación media (0.70), seguido de áreas de marginación alta (0.66) y marginación baja (0.47) (Cuadro 2).

De manera general, en áreas de marginación alta es mayor la probabilidad de contar con individuos con copa vigorosa, estado fitosanitario de tronco y copa buenos (0.32, 0.89 y 0.60, respectivamente); mientras que hay mayor probabilidad de localizar individuos con estructura de tronco y condición de raíz buena en áreas de marginación media (0.40 y 0.70, respectivamente); y en áreas de marginación baja el indicador de condición de copa mala resulta ser mayor comparado con los otros dos grados de marginación, con una probabilidad de 0.54 (Cuadro 2).

Al integrar los cinco indicadores evaluados y determinar la condición general de los árboles, en áreas de marginación alta, existe mayor probabilidad de hallar individuos con condición general buena (0.60), seguidas de áreas de marginación

media (0.54); mientras que en áreas de marginación baja existe mayor probabilidad de encontrar individuos con condición regular (0.54) (Cuadro 2).

Cuadro 1. Efectos fijos-Tipo III para cada indicador evaluado con respecto al grado de marginación.

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
Marginación	2	Estructura del tronco 2019	5.2	0.0056
Marginación	2	Estado fitosanitario del tronco 2019	25.28	<0.0001
Marginación	2	Condición de la copa 2019	59.57	<0.0001
Marginación	2	Estado fitosanitario de la copa 2019	22.6	<0.0001
Marginación	2	Condición de la raíz 2019	49.63	<0.0001
Marginación	2	Condición general 2019	56.17	<0.0001

Cuadro 2. Probabilidades de encontrar individuos con diferentes tipos de condición por grado de marginación.

Puntuación	Condición	Marginación		
		Alta	Media	Baja
Estructura del tronco				
1	Pésima	0.0524	0.04798	0.0639
2	Mala	0.1805	0.1687	0.2088
3	Regular	0.3830	0.3770	0.3917
4	Buena	0.3840	0.4063	0.3355
Estado fitosanitario del tronco				
1	Pésima	0.0010	0.0014	0.0027
2	Mala	0.0135	0.0198	0.0365
3	Regular	0.0949	0.1316	0.2141
4	Buena	0.8905	0.8471	0.7466
Condición de la copa				
1	Pésima	0.0811	0.0821	0.1797
2	Mala	0.2482	0.2501	0.5493
3	Regular	0.3500	0.3500	0.2909
4	Buena	0.3207	0.3177	0.1598
Estado fitosanitario de la copa				
1	Pésima	0.0159	0.0173	0.0292
2	Mala	0.1135	0.1052	0.1628
3	Regular	0.3922	0.2907	0.3531
4	Buena	0.6078	0.5867	0.4548

Condición de la raíz				
1	Pésima	0.0409	0.0346	0.0864
2	Mala	0.0924	0.0799	0.1680
3	Regular	0.2020	0.1834	0.2737
4	Buena	0.6646	0.7020	0.4718
Condición general				
1 (1-5)	Pésima	0.0007	0.0009	0.0021
2 (6-10)	Mala	0.0377	0.0470	0.0999
3 (11-15)	Regular	0.3565	0.4032	0.5475
4 (16-20)	Buena	0.6050	0.5488	0.3504

4.4.4 Orden de Vialidad

Se encontraron diferencias fuertemente significativas ($p < 0.0001$) en el estado fitosanitario de tronco y copa, condición de copa y condición general con respecto al orden vial. La evidencia de diferencias es moderada para la condición de raíz ($p = 0.01$) y aparentemente débil para la estructura del tronco ($p = 0.08$) (Cuadro 3).

En promedio, en vialidades de segundo orden se presenta mayor probabilidad de hallar individuos arbóreos con condición de tronco buena (0.40); mientras que en los tres tipos de vialidades restantes la probabilidad de localizar individuos con estructura del tronco regular es ligeramente mayor que hallar individuos con condición buena. Caso similar ocurre para el indicador de condición de raíz, las vialidades de segundo orden mantienen una probabilidad de 0.62 de encontrar individuos con condición buena, seguidas por vialidades de primer (0.58), cuarto (0.55) y tercer orden (0.53) (Cuadro 4).

En lo que respecta a la condición de la copa, en los cuatro órdenes de vialidad, existe mayor probabilidad de tener individuos en condición regular, siendo esta mayor en vialidades de segundo orden (0.33); así mismo se presenta una probabilidad más alta (0.32) de encontrar individuos con condición de copa mala en vialidades de tercer orden (Cuadro 4).

La condición fitosanitaria de tronco y copa en vialidades de tercer y cuarto orden exhiben mayores probabilidades de localizar individuos con condición buena y

regular; existe mayor probabilidad de encontrar individuos con un estado fitosanitario de tronco y copa bueno en vialidades de cuarto orden (Cuadro 4).

De esta manera, en vialidades de segundo orden es más probable localizar árboles con estructura del tronco y condición de raíz buena (0.40 y 0.62, respectivamente) y condición de copa regular (0.33); mientras que en vialidades de cuarto orden se encuentran mayor proporción de individuos con mejor estado fitosanitario tanto de tronco como de copa (0.88 y 0.68). En vialidades de tercer orden existe mayor probabilidad de encontrar individuos con mala condición de copa (Cuadro 4).

Considerando la condición general, las vialidades de segundo orden presentan mayor probabilidad de hallar individuos con mejor condición (0.51); mientras que en las de primer orden existe mayor probabilidad de encontrar individuos con condición regular (0.49) (Cuadro 4).

Cuadro 3. Efectos fijos-Tipo III para cada indicador evaluado con respecto al orden vial.

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
	Estructura del tronco			
Orden vial	3	2018	2.22	0.0841
	Estado fitosanitario del tronco			
Orden vial	3	2018	11.28	<0.0001
	Condición de la copa			
Orden vial	3	2018	5.94	0.0005
	Estado fitosanitario de la copa			
Orden vial	3	2018	44.95	<0.0001
	Condición de la raíz			
Orden vial	3	2018	3.76	0.0105
	Condición general			
Orden vial	3	2018	3.96	0.008

Cuadro 4. Probabilidades de encontrar individuos arbóreos con diferente condición por el tipo de orden vial donde se encuentran establecidos.

Puntuación	Condición	Orden vial			
		Primero	Segundo	Tercero	Cuarto
Estructura del tronco					
1	Pésima	0.0585	0.0491	0.0645	0.0554
2	Mala	0.1959	0.1720	0.2101	0.1882
3	Regular	0.3881	0.3781	0.3914	0.3855
4	Buena	0.3574	0.4007	0.3340	0.3708
Estado fitosanitario del tronco					
1	Pésima	0.0024	0.0025	0.0013	0.0010
2	Mala	0.0324	0.0329	0.0176	0.0138
3	Regular	0.1943	0.1968	0.1184	0.0956
4	Buena	0.7708	0.7677	0.8625	0.8895
Condición de la copa					
1	Pésima	0.1350	0.1011	0.1490	0.1340
2	Mala	0.3152	0.2699	0.3298	0.3140
3	Regular	0.3193	0.3353	0.3105	0.3200
4	Buena	0.2305	0.2937	0.2107	0.2320
Estado fitosanitario de la copa					
1	Pésima	0.0388	0.0191	0.0134	0.0102
2	Mala	0.2104	0.1193	0.0872	0.0679
3	Regular	0.3897	0.3230	0.2729	0.2329
4	Buena	0.3610	0.5385	0.6264	0.6889
Condición de la raíz					
1	Pésima	0.0589	0.0508	0.0726	0.0680
2	Mala	0.1228	0.1088	0.1448	0.1375
3	Regular	0.2294	0.2144	0.2488	0.2430
4	Buena	0.5888	0.6259	0.5337	0.5515
Condición general					
1 (1-5)	Pésima	0.0017	0.0012	0.0014	0.0013
2 (6-10)	Mala	0.0826	0.0589	0.0688	0.0628
3 (11-15)	Regular	0.4944	0.4282	0.4596	0.4414
4 (16-20)	Buena	0.4211	0.5116	0.4701	0.4943

4.4.5 Interacción entre el grado de marginación y orden de vialidad

La interacción entre el grado de marginación y el orden de vialidad también fue significativa en todos los indicadores evaluados y en la condición general ($p < 0.01$). Esto significa que las diferencias entre grados de marginación con respecto a las probabilidades de las categorías de condición varían con el orden vial y viceversa. Existe una mayor probabilidad (0.63) de encontrar individuos con

mejor condición general en las áreas de marginación alta, específicamente en las vialidades de tercer y cuarto orden.

Efecto de la interacción en la estructura del tronco

En vialidades de primer orden existe mayor probabilidad de hallar individuos de estructura de tronco buena, en áreas de marginación alta (0.43) y una menor proporción de individuos con condición pésima (.04); mientras que en zonas de marginación media se encuentran árboles con estructura del tronco más deficiente (Figura 6).

En el caso de vialidades de segundo y cuarto orden, en áreas de marginación media pueden localizarse árboles con estructura de tronco buena en mayor proporción (0.51 y 0.41, respectivamente) y menor probabilidad de contar con individuos con estructura de tronco mala y pésima; el comportamiento en áreas de marginación alta y baja es similar en las cuatro categorías de condición, presentando mayor probabilidad de contar con árboles con estructura de tronco regular (Figura 6). Caso distinto se presenta en vialidades de tercer orden, donde son las áreas de marginación alta y media las que cuentan con árboles de mejores características de estructura de tronco. En áreas de marginación baja existen mayores probabilidades de encontrar individuos con estructura de tronco regular (Figura 6).

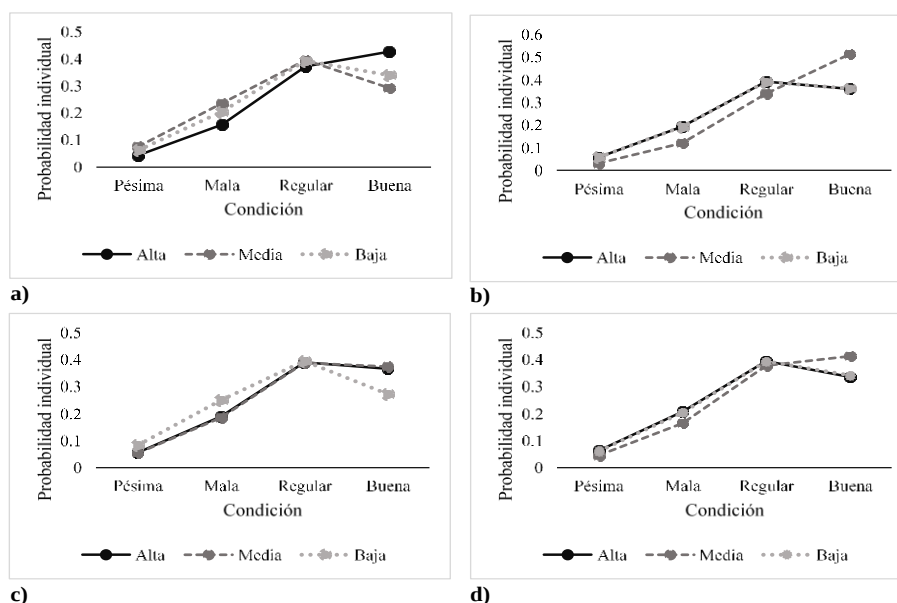


Figura 6. Efecto de la interacción entre el orden vial y el grado de marginación en la estructura del tronco. a) Vialidades de primer orden; b) vialidades de segundo orden; c) vialidades de tercer orden y d) vialidades de cuarto orden.

Efecto de la interacción en el estado fitosanitario del tronco

Las problemáticas relacionadas al estado fitosanitario del tronco fueron escasas en los tres grados de marginación, con tendencia similar en los cuatro órdenes de vialidad; sin embargo, en vialidades de primer y cuarto orden existe mayor probabilidad de localizar árboles más sanos en áreas de marginación alta (0.91 y 0.97, respectivamente).

Así mismo, en vialidades de segundo orden las áreas de marginación alta tienen más alta probabilidad de incluir individuos sanos (0.82), seguido de áreas de marginación media y baja (0.80 y 0.73, respectivamente). Mientras que en vialidades de tercer orden, las zonas de marginación media presentan mayor probabilidad de encontrar individuos con mejor estado fitosanitario (0.94), seguido de áreas de marginación alta (0.88) y marginación baja (0.79). En general, a excepción de las vialidades de tercer orden, se presenta mayor probabilidad de contar con árboles con un estado fitosanitario de tronco bueno en áreas de marginación alta (Figura 7).

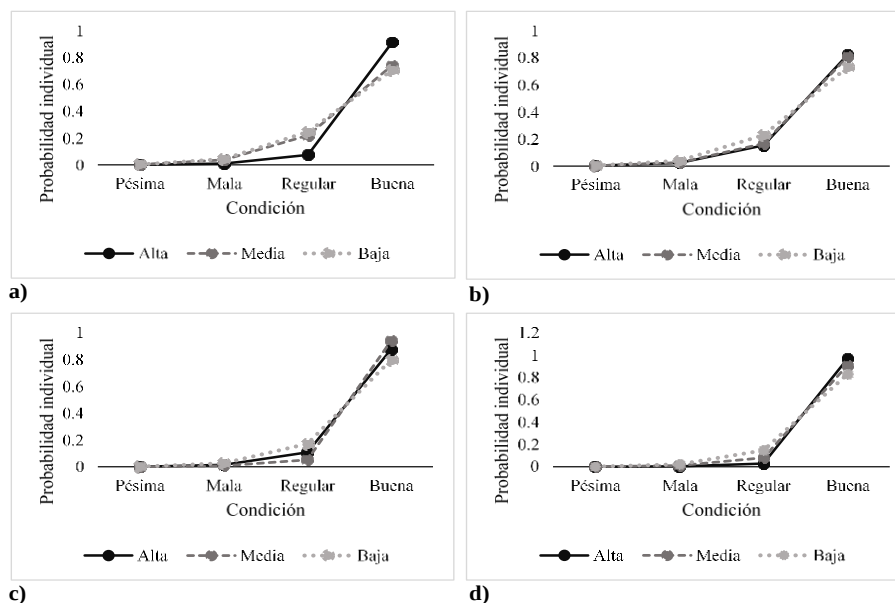


Figura 7. Efecto de la interacción entre el orden vial y el grado de marginación en el estado fitosanitario del tronco. a) Vialidades de primer orden; b) vialidades de segundo orden; c) vialidades de tercer orden y d) vialidades de cuarto orden.

Efecto de la interacción en la condición de la copa

Las vialidades de primer orden cuentan con mayor probabilidad de contar con individuos con condición regular en los grados de marginación alta y media (0.36 y 0.35, respectivamente); mientras que en áreas de marginación baja la probabilidad más alta se da en condición de copa mala (0.36). Es de notar que en áreas de marginación alta la probabilidad de localizar árboles con condición de copa buena (0.31) aumenta respecto a los otros dos grados de marginación.

Las vialidades de segundo orden, presentan mayor probabilidad de incluir individuos con condición de copa regular en áreas de marginación alta y baja (0.36 y 0.33, respectivamente) que una condición de copa buena, mientras que en áreas de marginación media la probabilidad aumenta en árboles con condición de copa buena (0.46). Así mismo, las áreas de marginación baja tienen mayor probabilidad de contar con árboles con condición de copa mala y pésima (0.34 y 0.13), que los otros dos grados de marginación.

Así, en vialidades de tercer orden, las áreas de marginación baja tienen mayor probabilidad de localizar individuos arbóreos con condición de copa mala y pésima (0.41 y 0.30) que árboles con condición de copa regular y buena; mientras que en áreas de marginación alta y media es más probable que los árboles cuenten con una condición de copa regular (0.35 y 0.36).

Finalmente, en las vialidades de cuarto orden, en áreas con marginación alta, la mayor probabilidad es para árboles que cuentan con una condición de copa buena (0.41); por su parte, las zonas de marginación media tienen mayor probabilidad de incluir individuos con condición de copa regular (0.35) y en las áreas de marginación baja es más posible encontrar árboles con condición de copa mala (0.40). En estas áreas, la probabilidad de localizar individuos con condición pésima aumenta comprándola con los grados de marginación media y alta (Figura 8).

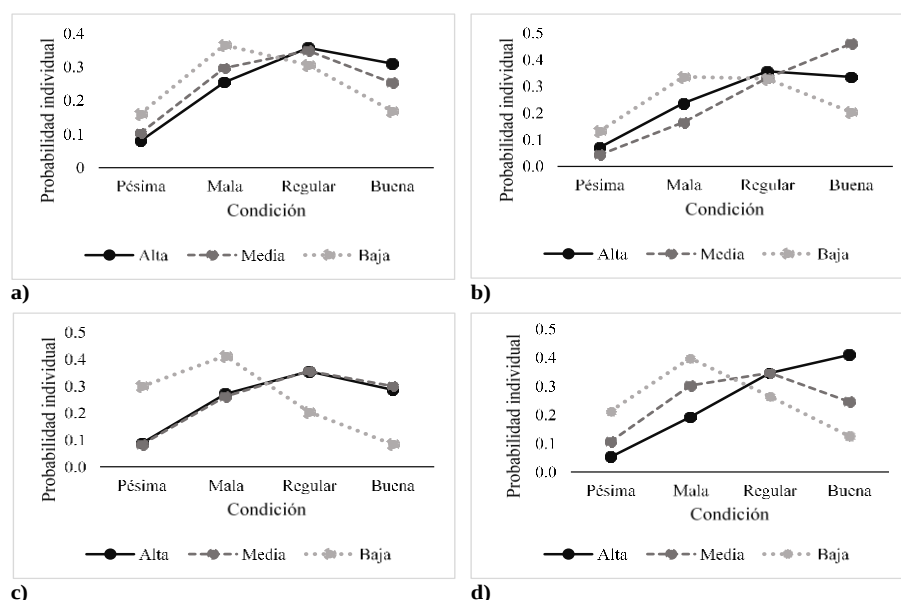


Figura 8. Efecto de la interacción entre el orden vial y el grado de marginación en la condición de la copa. a) Vialidades de primer orden; b) vialidades de segundo orden; c) vialidades de tercer orden y d) vialidades de cuarto orden.

Efecto de la interacción en el estado fitosanitario de la copa

En vialidades de primer orden, las áreas de marginación alta cuentan con mayor probabilidad de encontrar individuos con buen estado fitosanitario (0.41), mientras que áreas de marginación media y baja presentan mayor probabilidad de que los árboles cuenten con un estado fitosanitario regular (0.40). Es de notar que en este orden vial es mayor la probabilidad de hallar individuos de condición regular y mala que en los otros tipos de vialidades.

En el caso de las vialidades de segundo, tercer y cuarto orden las tendencias son parecidas; existe mayor probabilidad de encontrar individuos con buen estado fitosanitario en áreas de marginación alta (0.64, 0.73 y 0.77, respectivamente), seguidos de áreas de marginación media y finalmente las áreas de marginación baja. La probabilidad de encontrar árboles con un mal y pésimo estado fitosanitario de copa es muy baja (Figura 9).

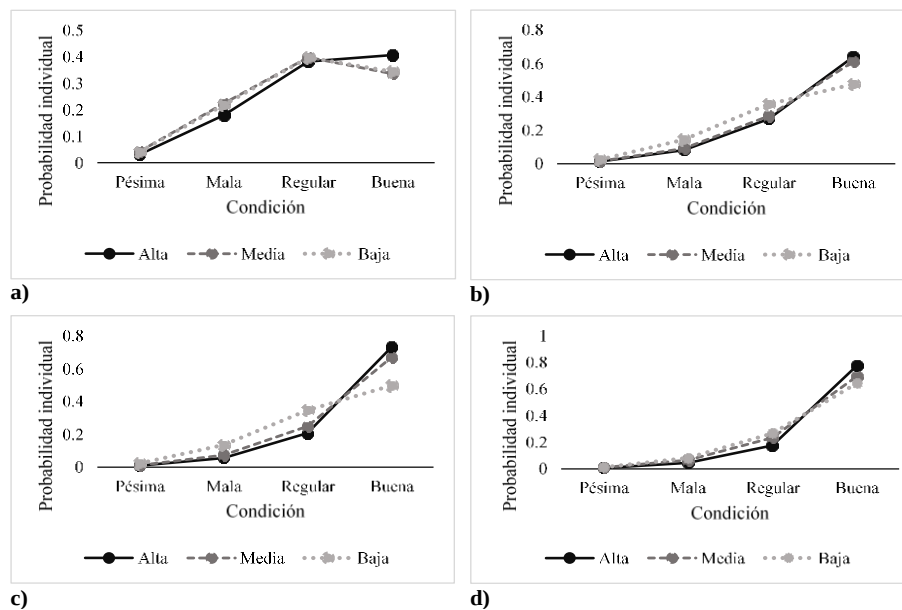


Figura 9. Efecto de la interacción entre el orden vial y el grado de marginación en el estado fitosanitario de la copa. a) Vialidades de primer orden; b) vialidades de segundo orden; c) vialidades de tercer orden y d) vialidades de cuarto orden.

Efecto de la interacción en la condición de la raíz

En vialidades de primer orden, en los tres grados de marginación predomina la probabilidad de localizar individuos con condición de raíz buena, reduciéndose de áreas de marginación alta a baja (0.71, 0.67 y 0.50, respectivamente).

Así mismo, en vialidades de segundo orden predomina la probabilidad de encontrar individuos con condición de raíz buena; sin embargo, son las áreas de marginación media las que cuentan con mayor probabilidad de encontrar individuos sanos (0.73), seguidas de áreas de marginación baja y media (0.60 y 0.58, respectivamente). Esta misma tendencia se da en las vialidades de tercer orden, en zonas de marginación media y alta, una buena proporción de los árboles tienen buena condición de raíz (0.70 y 0.61). Lo mismo pasa con las áreas de marginación baja, pero su probabilidad disminuye considerablemente (0.34).

En el caso de vialidades de cuarto orden, en áreas de marginación alta y media existe mayor la probabilidad de que los árboles presenten una condición buena (0.79 y 0.70, respectivamente); en cambio, en áreas de marginación baja la probabilidad más alta es que los individuos cuenten con una condición de raíz regular (0.29) apenas por encima de árboles con condiciones de raíz buena y mala (Figura 10).

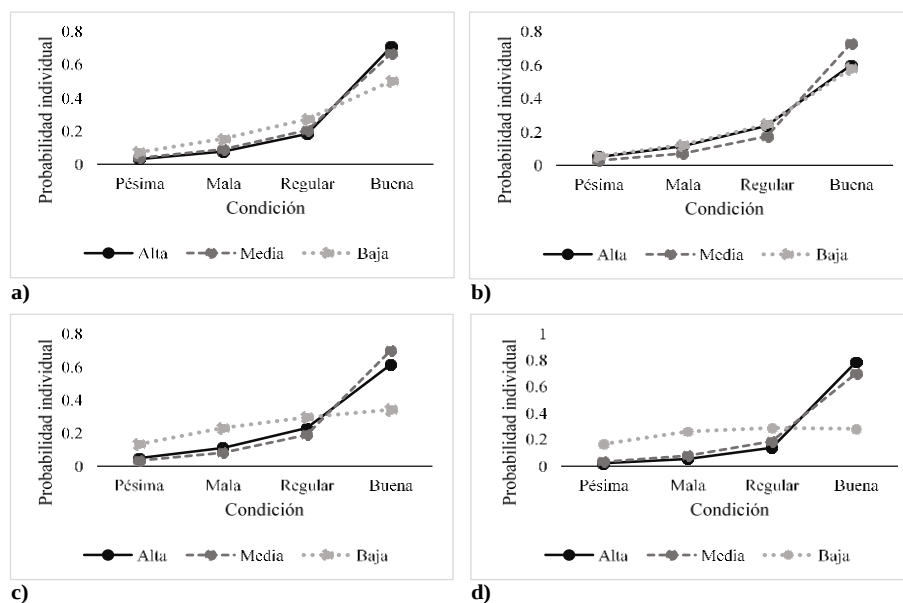


Figura 10. Efecto de la interacción entre el orden vial y el grado de marginación en la condición de raíz. a) Vialidades de primer orden; b) vialidades de segundo orden; c) vialidades de tercer orden y d) vialidades de cuarto orden.

Efecto de la interacción en la condición general

En vialidades de primero, tercer y cuarto orden, es más probable encontrar individuos con condición general buena en áreas de marginación alta (0.57); mientras que en áreas de marginación media y baja hay mayor posibilidad de que los árboles cuenten con condición general regular (0.52 y 0.56, respectivamente).

En el caso de vialidades de segundo orden, en áreas de marginación media, los árboles tienen mejor condición (0.60), seguida de áreas de marginación alta (0.57) y las áreas de marginación baja cuentan con mayor probabilidad de que los árboles presenten una condición regular (0.49).

Para el caso de vialidades de tercer orden, las áreas de marginación alta tienen una probabilidad más alta de que los árboles tengan mejor condición general (0.64), seguidas por áreas de marginación media (0.58) y en áreas de marginación baja resulta más probable que los árboles presenten una condición general regular (0.61); mismo caso se presenta en vialidades de cuarto orden, siendo las áreas de marginación alta las que cuentan con árboles de mejores

condiciones (0.63), seguidas de áreas de marginación media (0.5954) y finalmente en áreas de marginación baja es más probable localizar individuos con condición regular (0.57) (Figura 11).

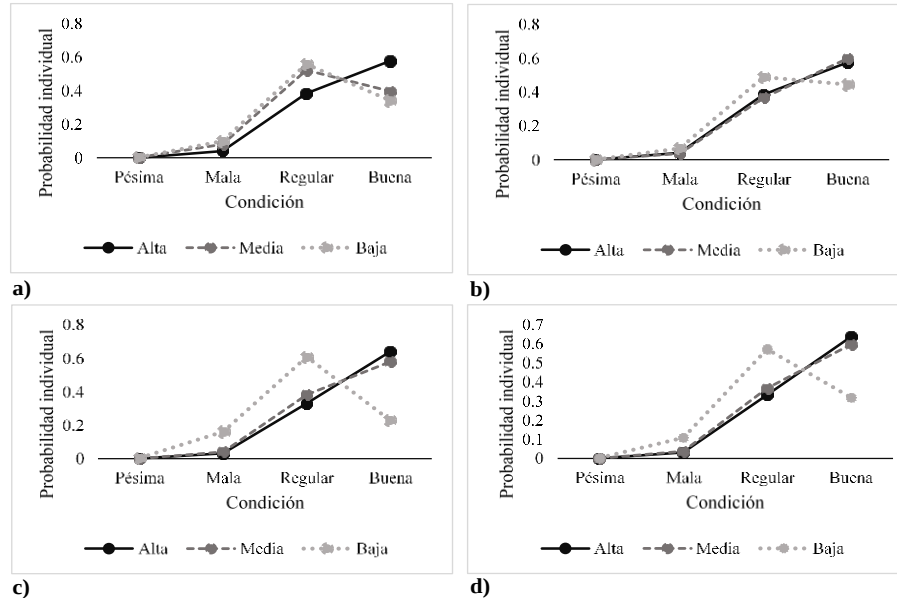


Figura 11. Efecto de la interacción entre el orden vial y el grado de marginación en la condición general. a) Vialidades de primer orden; b) vialidades de segundo orden; c) vialidades de tercer orden y d) vialidades de cuarto orden.

4.5 Discusión

Los estudios sobre arbolado urbano en América Latina y el Caribe aún son escasos, comparados con países de primer mundo, y de estos, pocos se han centrado en conocer la situación que presenta el arbolado vial considerando aspectos sociales (Ordóñez et al., 2020). Por ello, este estudio centró su interés en indagar como el crecimiento urbano no planificado y aspectos socioeconómicos influyen en la condición del arbolado vial público de la ciudad de Puebla; misma que además del decremento de superficie verde, muestra mala calidad de los árboles en general.

Dentro de la ciudad de Puebla, las áreas de marginación baja cuentan con un mayor número de árboles, seguidas por áreas de marginación alta y media, lo

cual es de entenderse considerando características como el tipo de vialidades presentes y el proceso de urbanización en las que se ven involucradas; caso similar se presentó en ciudades del Cabo Oriental en Sudáfrica donde pueblos más pequeños y marginados contaron con una menor densidad y composición de arbolado en calles (Gwedla & Shackleton, 2017). Sin embargo, contar con grandes cantidades de árboles dentro de las ciudades es intrascendente si estos carecen de una buena condición (Haaland & Konijnendijk, 2015).

Estudiar la condición del arbolado vial público es importante por ser uno de los espacios verdes que entran en mayor contacto con todo tipo de transeúntes (Castillo & Ferro, 2015), siendo lugares que influyen directamente en la estética ambiental de la ciudad de Puebla. Román et al. (2019) reconocen que la condición del arbolado urbano se encuentra estrechamente relacionada con la sociedad en donde está establecido.

Algunos estudios sobre arbolado urbano lineal han demostrado que el nivel económico, grado de urbanización y características como ancho de vialidad y cercanía a espacios verdes influyen en la diversidad, composición y densidad del arbolado vial (Nagendra & Gopal, 2010; Pham & Landry, 2017; Useni et al., 2019; Shams et al., 2020). Así mismo, diversas investigaciones señalan que áreas con un alto nivel económico tienen una mejor calidad ambiental (mayor diversidad vegetal, mayor cobertura de copa, captura de carbono, mayor densidad de árboles), que aquellas zonas con bajos ingresos económicos (Schwarz et al., 2015; Wang et al., 2016; Chen, Singh, Lopez, & Zhou, 2020; Kuras et al., 2020). El presente estudio encontró que el grado de marginación y el tipo de vialidad en donde se encuentran establecidos los árboles influyen en su condición; contrario a lo que se tenía previsto, las áreas de marginación alta y media exhiben individuos con mejores características que las áreas de marginación baja.

En áreas de marginación alta, los árboles de calles públicas se ven menos afectados ya que comúnmente se encuentran alejadas del centro de la ciudad; las podas no son frecuentes, el tránsito de vehículos es menor y el incremento o

ampliación de carreteras aún no es fundamental; situación que se comienza a hacer presente en zonas de marginación media, donde lo que se busca es mayor urbanización a costa de ocasionar efectos negativos en la vegetación urbana (Nagendra & Gopal, 2010).

Mientras que en áreas de marginación baja, el manejo es excesivo e inadecuado, destacando las podas constantes para evitar conflictos con transporte e infraestructura urbana (Nagendra & Gopal, 2010); sumado a ello, los árboles son vistos como parte del inmobiliario gris por la mayoría de los habitantes y específicamente de vendedores ambulantes ocasionado daños físicos y mecánicos, sometiéndolos a mayor estrés lo que contribuye a disminuir su vigor (Jim, 1998; Cervantes et al., 2019). Esto repercute, incluso, en que el suministro de los servicios ecosistémicos proporcionados por los árboles sean menores en áreas altamente urbanizadas o en espacios de crecimiento inadecuados (Graça et al., 2017; Baró, Gómez, & Haase, 2017), disminuyendo la capacidad de influir en la sostenibilidad ambiental.

El tipo de vialidad también influye en el estado de salud de los árboles en calles. Las vialidades más amplias, primer y segundo orden, experimentan más cambios a fin de satisfacer las “necesidades” de tráfico, provocando mayores daños al tronco, copa y raíces por carga vehicular y todo tipo de transeúntes, mayor compactación, carga de contaminantes y estrés (Foster & Blaine, 1977; Jim, 1998; Lu et al., 2010). Esta última situación se refleja en una menor condición general con respecto al resto de vialidades.

El estado fitosanitario de la copa y el tronco no resultan un problema representativo, se cuenta con una mayor proporción de árboles con condiciones fitosanitarias buenas que disminuye de áreas de marginación alta a baja. Así mismo, Román et al. (2019) determinaron que en Tuxtla Gutiérrez, la mayoría de los individuos presentaron una condición de tronco y de copa sana (46 y 66%, respectivamente). Resultados similares obtuvieron Cervantes et al. (2019), en

Chapultepec, Ciudad de México, donde 50.5% de los árboles evaluados estaban enfermos.

Los indicadores de estructura de la copa, tronco y condición de raíz mostraron mayor afectación por las características propias de las avenidas, como el espacio de crecimiento, tipo de cubierta, el inmobiliario presente (postes, cableado, alumbrado) y la forma en que son percibidos por los residentes; debe ser claro el que en la planificación, gestión y manejo del arbolado lineal público se deben integrar estos aspectos para tener árboles saludables y evitar riesgos que puedan ocasionar su declinación (Jim & Xizhang, 2013; Pretzsch et al., 2015). A pesar de que son mayores las posibilidades de encontrar árboles con buena condición en estos indicadores, existe una buena proporción de individuos con condiciones regulares y malas, misma situación reportan Román et al. (2019) y Cervantes et al. (2019) que evaluaron la condición de tronco y copa. Pese a que la evaluación visual de raíces puede resultar un poco ineficaz, genera información sobre las problemáticas presentes, como el espacio de crecimiento, además de ayudar a determinar la condición general de manera más acertada.

Es importante considerar que actualmente en muchas ciudades los espacios para establecer nuevas áreas verdes son escasos o nulos, y poco accesibles (Bramley et al., 2012; Jim, 2013; Schäffler & Swilling, 2013). En países como México, la existencia de áreas verdes públicas está condicionado por la presión antrópica, además de ser manejadas por personal técnico poco calificado, como jardineros, lo que conlleva a su deterioro y pérdida (Gobierno del Estado de México, 2018). Incluso para muchos ciudadanos y autoridad locales los árboles representan un problema dentro del diseño urbano (Wolf, 2005). Es necesario que los planificadores y administradores tengan en cuenta que más allá de contar con una alta densidad de árboles, es importante que éstos cuenten con una buena condición para asegurar su permanencia y capacidad de brindar los múltiples servicios ecosistémicos, estableciendo acciones ambientales positivas, fomentando actividades educativas que reconozcan la importancia ambiental y social del arbolado público, el establecimiento de especies nativas y desde luego

una planeación y gestión realizada por profesionales en la materia (Jim, 1998; Mock, 2005; Haaland & Konijnendijk, 2015; Gobierno del Estado de México, 2018; Mohamadein et al., 2019).

4.6 Conclusiones

El presente estudio contribuye a conocer la relación que existe entre la condición del arbolado lineal público con el grado de marginación y el orden vial y la interacción de éstos. Los resultados generales muestran que son las áreas de marginación alta y específicamente, en vialidades de tercer y cuarto orden, donde se localizan árboles de mejor calidad. Existen problemas menores relacionados al estado fitosanitario del tronco; mientras que la condición de copa presenta mayores afectaciones debido a la infraestructura urbana y manejo inadecuado. Realizar estudios sobre la condición del arbolado vial permite establecer estrategias adecuadas de manejo acorde con las necesidades.

Finalmente, los censos permiten tener una perspectiva general del estado en el que se encuentra el arbolado lineal; la evaluación visual es una metodología que puede ser aplicada de manera sencilla para determinar el estado de salud del arbolado urbano; así, este estudio es un esfuerzo por abordar las condiciones en las que se encuentra el arbolado vial público dentro de una ciudad considerando aspectos socioeconómicos y urbanos.

4.7 Literatura citada

ArcGis Desktop, 2012. ArcGis ArcMap, ESRI All Rights Reserved.

Almazán, C., & Hinterholzer, A. (2010). Dinámica temporal de la avifauna en un parque urbano de la ciudad de Puebla, México. *Huitzil*, 11(1), 26–34. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2010.11.1.111>

Baró, F., Gómez, E., & Haase, D. (2017). Ecosystem service bundles along the urban-rural gradient: Insights for landscape planning and management. *Ecosystem Services*, 24, 147–159. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.02.021>

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

- Benavides, H., & Villalón, R. (1992). Algunos aspectos del arbolado de alineación de la delegación Venustiano Carranza, D.F. In *Memoria de Reunión Científica Forestal & Agropecuaria*. (p. 21).
- Bramley, G., Demsey, N., & Brow, C. (2012). The key to sustainable urban development in UK cities? The influence of density on social sustainability. *Progress in Planning*, 77(3), 89–141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.progress.2012.01.001>
- Carranza, J. E., & Martínez, V. M. (2017). Transformaciones ambientales en la zona de desarrollo Angelópolis, Puebla. *Asuntos Económicos & Administrativos*, (32), 119–134.
- Castillo, L., & Ferro, A. (2015). La problemática del diseño con árboles en vías urbanas: “verde con pespuntos negros.” *Arquitectura & Urbanismo*, 36(1), 5–24.
- Cervantes, M., Ortiz, R., & Reséndiz, J. F. (2019). Condición fitosanitaria del arbolado de la tercera sección del bosque de Chapultepec. *Revista Mexicana de Agrociencias*, 6(1), 122–135.
- Chacalo, A., Chimal, A., & Fuentes, V. (2018). Tomo 2. In *Temas de arboricultura. Árboles, arbustos, palmeras y frutales para ciudades*. México: Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco.
- Chen, G., Singh, K. K., Lopez, J., & Zhou, Y. (2020). Tree canopy cover and carbon density are different proxy indicators for assessing the relationship between forest structure and urban socio-ecological conditions. *Ecological Indicators*, 113. 106279. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106279>
- CONAPO, 2010. Cartografía de marginación por AGEB urbana 2010. Datos abiertos del índice de marginación. Comisión Nacional de Población. Secretaría de Gobernación, México. Consultada en http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_Indice_de_Marginacion
- Cruz, J. A., Pérez, A., Torralba, A., & Bonilla, B. (2017). Puebla, México" Ciudad Patrimonio De La Humanidad" Percepción Ciudadana. In *International Journal of Scientific Management and Tourism* (Vol. 3).
- Fang, F., McNeil, B., Warner, T., Dahle, G., & Eutsler, E. (2020). Street tree health from space? An evaluation using WorldView-3 data and the Washington D.C. Street Tree Spatial Database. *Urban Forestry and Urban Greening*, 49(February), 126634. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126634>
- FAO. (2016). *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana* (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Ed.). Roma, FAO: Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M., Chen, Y.
- Foster, R. S., & Blaine, J. (1977). Urban tree survival: trees in the sidewalk. *Journal of Arboriculture*, 4(1), 14–17.

- Gbur, E., Stroup, W., McCarter, K., Durham, S., Young, L., Christman, M., ... Kramer, M. (2012). Analysis of Generalized Linear Mixed Models in the Agricultural and Natural Resources Sciences. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Crop Science Society of America.
- 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 masivos arbóreos de las zonas urbanas en el territorio del Estado d (pp. 2017–2019). pp. 2017–2019. Periódico Oficial. Gaceta del Gobierno.
- Gobierno del Estado de Oaxaca. (2014). Guía para el dictamen y poda de árboles urbanos. Oaxaca, México: Instituto Estatal de Ecología y Desarrollo Sustentable.
- Graça, M. S., Gonçalves, J. F., Alves, P. J. M., Nowak, D. J., Hoehn, R., Ellis, A.,... Cunha, M. (2017). Assessing mismatches in ecosystem services proficiency across the urban fabric of Porto (Portugal): The influence of structural and socioeconomic variables. *Ecosystem Services*, 23, 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.015>
- Gwedla, H., & Shackleton, F. (2017). Population size and development history determine street tree distribution and composition within and between Eastern Cape towns, South Africa. *Urban Forestry & Urban Greening*, 25, 11–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.014>
- Haaland, C., & Konijnendijk, C. (2015). Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 760–771. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.07.009>
- IMPLAN. (2018). Inventario del Arbolado Urbano en Vialidades Principales del Municipio de Puebla. In Gobierno Municipal de Puebla. Puebla, México.
- INEGI, 2010. Conjunto de datos vectoriales de información topográfica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Serie III. Escala 1:50 000. Puebla. México
- INEGI, 2016. Catálogo Único de Claves de Áreas Geo estadísticas Estatales, Municipales y Localidades. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/ageeml/>. Última fecha de consulta: Abril, 2020.
- Jim, C. Y. (1998). Impacts of intensive urbanization on trees in Hong Kong. *Environmental Conservation*, 25(2), 146–159. <https://doi.org/10.1017/S0376892998000198>
- Jim, C. Y. (2013). Sustainable urban greening strategies for compact cities in developing and developed economies. *Urban Ecosystems*, 16(4), 741–761. <https://doi.org/10.1007/s11252-012-0268-x>

- Jim, C. Y., & Xizhang, S. (2013). Socioeconomic effect on perception of urban green spaces in Guangzhou, China. *Cities*, 31, 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2012.06.017>
- Jiménez, M., Manzanares, K., & Mesa, M. (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.
- Kuras, E. R., Warren, P. S., Zinda, J. A., Aronson, M. F. J., Cilliers, S., Goddard, M. A., ... Winkler, R. (2020). Urban socioeconomic inequality and biodiversity often converge, but not always: A global meta-analysis. *Landscape & Urban Planning*, 198, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103799>
- Lu, J. W. T., Svenden, E. S., Campbell, L. K., Greenfeld, J., Braden, J., King, K. L., & Flaxa, N. (2010). Biological, Social, and Urban Design Factors Affecting Young Street Tree Mortality in New York City. *Cities & the Environment*, 3(1), 1–16. <https://doi.org/10.15365/cate.3152010>
- Mock, T. (2005). Construyendo un Bosque Urbano Sostenible. *Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo*, 30–32.
- Mohamadein, M., Adam, A., Ibrahim, A., Hano, A., Yagoub, Y. E., Ali, A., & Siddig, H. (2019). Assessment the Status of Urban Trees and Their Role in Environmental Assessment the Status of Urban Trees and Their Role in Environmental Services in Umdorman Locality, Sudan. *Journal of Enviroment Protection and Sustainable Deelopment*, 5(2), 22–27.
- Nagendra, H., & Gopal, D. (2010). Street trees in Bangalore: Density, diversity, composition and distribution. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9(2), 129–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.12.005>
- Ordóñez, C., Devisscher, T., Dobbs, C., Orozco, L., Dias, M., Navarro, N. M., ... Escobedo, F. J. (2020). Trends in Urban Forestry Research in Latin America & The Caribbean: A Systematic Literature Review and Synthesis. *Urban Forestry & Urban Greening*, 47, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126544>
- Pham, A., & Landry, L. (2017). Disentangling the effects of urban form and socio-demographic context on street tree cover: A multi-level analysis from Montréal. *Landscape & Urban Planning*, 157, 422–433. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2>
- Pham, T.T.H., Apparicio, P., Landry, S., & Lewnard, J. (2017). Disentangling the effects of urban form and socio-demographic context on street tree cover: A multi-level analysis from Montréal. *Landscape and Urban Planning*, 157, 422–433. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2016.09.001>
- PMD. (2018). Plan Municipal de Desarrollo de Puebla 2014-2018. Puebla, México: Gobierno Municipal de Puebla.

- PNUMA. (2010). *Perspectivas del Medio Ambiente: América Latina y el Caribe* (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Ed.). Panamá City, Panamá: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Pretzsch, H., Biber, P., Uhl, E., Dahlhausen, J., Rötzer, T., Caldentey, J., ... Pualeit, S. (2015). Crown size and growing space requirement of common tree species in urban centers, parks, and forests. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(3), 466–479. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.04.006>
- Ramalho, C. E., Laliberté, E., Poot, P., & Hobbs, R. (2018). Effects of fragmentation on the plant functional composition and diversity of remnant woodlands in a young and rapidly expanding city. *Journal of Vegetation Science*, 29(2), 285–296. <https://doi.org/10.1111/jvs.12615>
- Román, L. M., Orantes, C., Uriel, D. C. C., Sánchez, M. S., Ballinas, M. L., & Ferrera, Ó. (2019). Diagnóstico del arbolado de alineación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Madera Bosques*, 25(1), 1–13. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511559>
- Schäffler, A., & Swilling, M. (2013). Valuing green infrastructure in an urban environment under pressure — The Johannesburg case. *Ecological Economics*, 83, 246–257. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.05.008>
- Schwarz, K., Fragkias, M., Boone, C. G., Zhou, W., Mchale, M., Grove, J. M., Pataki, D. (2015). Trees Grow on Money : Urban Tree Canopy Cover and Environmental Justice. *PLoS ONE*, 10(4), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122051>
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Sustentabilidad. (2015). *Inventario Municipal De Áreas Verdes (IMAV)*. Puebla, México.
- SEDESOL, 2010. Catálogo de Localidades. Secretaria de Desarrollo Social, México. Consultada en: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=211140001>
- Shams, Z. I., Shahid, M., Nadeem, Z., Naz, S., Raheel, D., Aftab, D.,... Roomi, M. S. (2020). Town socio-economic status and road width determine street tree density and diversity in Karachi, Pakistan. *Urban Forestry & Urban Greening*, 47, 126473. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126473>
- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K., & Williams, J. (1998). *Manejo de las áreas verdes urbanas*. Washington, D C (Banco Interamericano de Desarrollo, Ed.). Consultada en <http://services.iadb.org/wmsfiles/products/Publications/1441394.pdf>
- Sudha, P., & Ravindranath, N. H. (2019). A study of Bangalore urban forest. *Landscape & Urban Planning*, 178, 47–63. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(19\)00067-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(19)00067-5)

- UNESCO. (2017). La Ciudad de los caminos cortos: Puebla en su paisaje urbano histórico (N. Sainz, F. Delmont, & A. Panero, Eds.). Consultada en <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000253029>
- Useni, Y., Malaisse, F., Cabala, S., Kalumba, A., Mwana, A., Nkuku, C., ... Munyemba, F. (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. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.008>
- Von Döhren, P., & Dagmar, H. (2019). Risk assessment concerning urban ecosystem disservices: The example of street trees in Berlin, Germany. *Ecosystem Services*, 40, 101031. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101031>
- Wang, H.-F., Qureshi, S., Qureshi, B. A., Qiu, J. X., Friedman, C. R., Breuste, J., & Wang, X. K. (2016). A multivariate analysis integrating ecological, socioeconomic and physical characteristics to investigate urban forest cover and plant diversity in Beijing, China. *Ecological Indicators*, 60, 921–929. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.015>
- Wolf, K. L. (2005). Economía y Valor Público de los Bosques Urbanos. *Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo*, 32–35.

CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN DEL ARBOLADO LINEAL POR GRADO DE MARGINACIÓN Y ORDEN VIAL, CIUDAD DE PUEBLA

Characterization of alignment trees by socio-economic margination degree and street degree, Puebla City

5.1 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. El objetivo del presente estudio fue realizar un diagnóstico del arbolado en calles públicas de la ciudad de Puebla en áreas con diferente grado de marginación y tipo de vialidades existentes; 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 y altura a copa viva, diámetro basal, diámetro normal, diámetro de la copa, así como condición, estado de desarrollo y conflictos con infraestructura. Se registraron un total de 2,188 árboles, de los cuales 2,068 se encontraron vivos, éstos se agruparon en 31 familias, 56 géneros y 75 especies; el 73.33 % son especies introducidas y tan solo 26.67 % son nativas. Los datos de este estudio resaltan la importancia de considerar los aspectos socioeconómicos en la elaboración de planes de manejo y gestión del arbolado urbano público.

Palabras clave: marginación, orden vial, índices de diversidad, arbolado de alineación, zonas urbanas.

5.2 Introducción

El crecimiento territorial y poblacional de las ciudades, aunado a un mal diseño urbano, hace de los espacios verdes los más vulnerables (Szabo, 2010); las áreas verdes funcionan como reguladores de los efectos ocasionados por la urbanización al ser espacios que resguardan vegetación (González, de la Fuente, Hernández, Buzo, & Bonache, 2010). El arbolado urbano público es indispensable tanto por los beneficios ambientales que otorga como por el papel fundamental en el paisaje urbano y su interacción con todas las clases sociales, mejorando la calidad de vida de las personas (Tovar, 2007; Rendón, 2010; Molina & Vargas, 2012).

El arbolado de alineación es un elemento integral en las ciudades, ya que funcionan como conectores con otras áreas verdes urbanas y ayudan a mantener la biodiversidad, lo que mejora la calidad ambiental de los centros urbanos (Sreetheran, Adnan, & Azuar, 2011; León, Rosas, & Bartorila, 2017).

La ciudad de Puebla ha presentado un crecimiento no planificado lo que ha ocasionado problemas en el equilibrio ecológico (Ramírez et al., 2019), generar información acerca del arbolado urbano resulta trascendente para contribuir a establecer estrategias que mejoren las condiciones ambientales actuales (Secretaría de Desarrollo Urbano y Sustentabilidad, 2012). El funcionamiento de ambientes urbanos depende de la relación existente entre el medio natural y los aspectos sociales, económicos y culturales (Carponi et al., 2016). Conocer el estado de desarrollo y las características físicas del arbolado de alineación en diferentes puntos dentro de una misma ciudad, relacionándolo con características sociales, económicas y culturales permite entender mejor la situación que presentan los árboles; una buena gestión del arbolado público ayuda a alcanzar la equidad social (Rodríguez, Di Franco, Cucciuffo, & Craog, 2017).

Ante este panorama, el objetivo planteado en este estudio fue conocer la composición y algunos aspectos de la estructura del arbolado en vialidades

públicas de la ciudad de Puebla por grado de marginación y tipo de vialidades presentes.

5.3 Materiales y métodos

Área de estudio

La ciudad de Puebla, llamada también “Heroica Puebla de Zaragoza” es la capital del estado que lleva el mismo nombre, forma parte de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala (CONAPO, 2010); se encuentra localizada en las coordenadas 19°02’38.363” N y 098°11’18.452” O (Inegi, 2016), abarca una superficie de 206.55 km². Es la cuarta ciudad más grande e importante de México y cuenta con una población de 1, 434, 062 habitantes (Sedesol, 2010) (Figura 12).

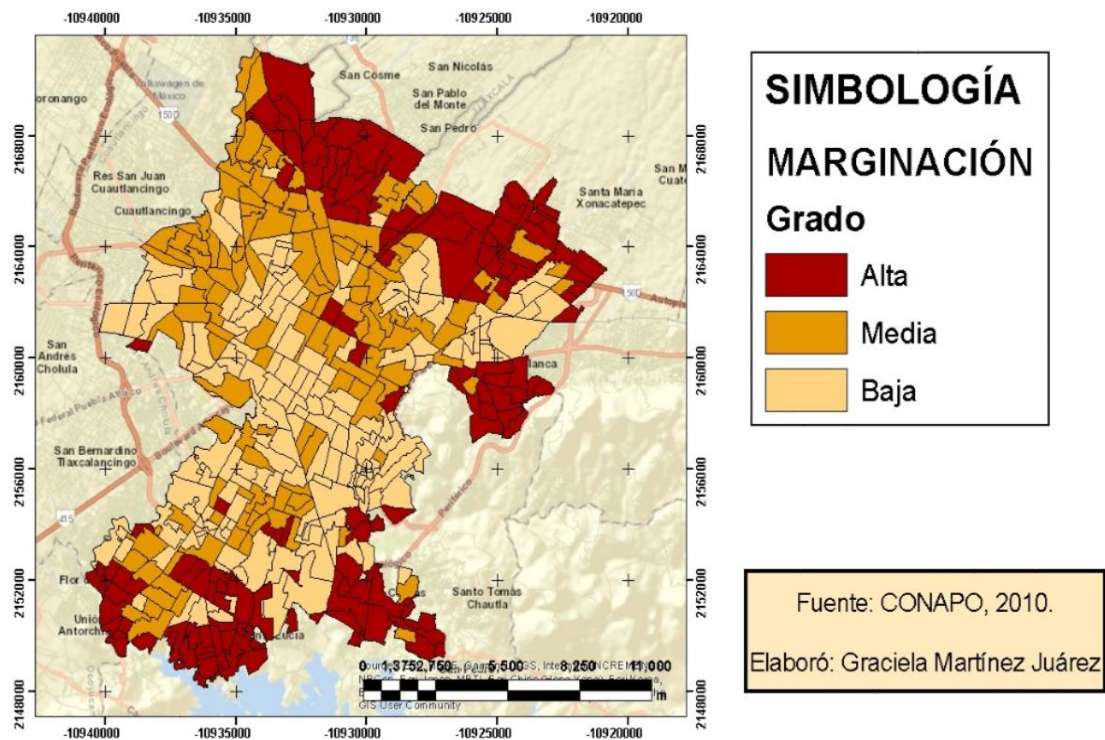


Figura 12. Ubicación de la Ciudad de Puebla y unidades de muestreo.

Técnica de muestreo

Se realizó un muestreo aleatorio estratificado, utilizando la información generada por la CONAPO (2010) se agruparon áreas geo estadísticamente urbanas (AGEB's) en tres estratos de marginación: alta, media y baja, considerándolas como unidades de muestro. Se determinó el orden de vialidades presentes; las vialidades de primer orden están integradas por avenidas, boulevard, calzada, circuito, circunvalación, eje vial, periférico o viaducto; como vialidades de segundo orden a ampliación, continuación, corredor, diagonal o prolongación; mientras que vialidades de tercer orden incluyen calles, callejón y retorno y las privadas y cerradas forman parte de vialidades de cuarto orden (Inegi, 2010). Se seleccionaron 33 AGEB's de manera aleatoria que presentaran más de tres órdenes de vialidad. Y por cada orden de vialidad presente se realizaron recorridos lineales de 200 m registrando los individuos arbóreos y arbustivos localizados (Nagendra & Gopal, 2010).

El muestreo se realizó de mayo a octubre del 2019. Los datos registrados de cada individuo fueron la especie, el diámetro normal (DN) a 1.30 m y diámetro basal (DB) a 20 cm que se determinaron midiendo las circunferencias con ayuda de la cinta métrica; la altura, altura del fuste limpio y altura a copa viva se midió con la pistola Haga, el diámetro de la copa viva considerando el extremo más largo y corto en sentido perpendicular. Así mismo se registró su condición, el estado de desarrollo y los problemas asociados con la infraestructura urbana.

Análisis de datos

Se determinó la riqueza de especies (S), el índice de diversidad específica (D_{Mg}), el índice de dominancia (D) y el índice de equidad (H') ya que son los más estudiados y ayudan a determinar la diversidad, mediante la aplicación de las siguientes fórmulas:

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N}$$

$$D = \sum p_i^2$$

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i * \ln(p_i)$$

Donde:

D_{Mg}= índice de diversidad de Margalef

D= índice de Simpson

H'= índice de Shannon-Wiener

S= número de especies

N= número total de individuos.

p_i= número de individuos de la especie *i* dividido entre el número total de individuos de la muestra (Moreno, 2001).

El cálculo de estos índices se realizó por grado de marginación y por orden vial.

5.4 Resultados

5.4.1 Distribución del arbolado vial

Se registraron un total de 2,188 individuos arbóreos y arbustivos, la mayoría, 1,034 (47.45%) se localizaron en áreas de marginación baja, seguido de marginación media con 593 (27.10%) y finalmente 561 (25.63%) en áreas de marginación alta. Considerando el nivel económico y tipo de vialidad, en áreas de marginación alta y baja, las vialidades de primer orden, contaron con mayor número de árboles, mientras que en zonas de marginación media en vialidades de segundo orden se localizó el mayor número de árboles; en los tres grados de marginación más del 90% de los individuos se encontraron vivos, en menor porcentaje se encontraron tocones y árboles muertos; sin embargo, las zonas de marginación media cuentan con mayor número de árboles muertos y tocones (Cuadro 5).

Cuadro 5. Distribución porcentual del arbolado vial por grado de marginación y orden vial.

Orden vial	Marginación alta				Total (%)
	Primero (%)	Segundo (%)	Tercero (%)	Cuarto (%)	
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

Orden vial	Marginación media				Total (%)
	Primero (%)	Segundo (%)	Tercero (%)	Cuarto (%)	
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

Orden vial	Marginación baja				Total (%)
	Primero (%)	Segundo (%)	Tercero (%)	Cuarto (%)	
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

El total de árboles y arbustos fueron representados por 75 especies pertenecientes a 56 géneros y 31 familias. De éstos la familia Rosaceae fue la más representativa con 8 especies, seguido de la familia Fabaceae y Myrtaceae con 6 especies y Cupressaceae, Moraceae y Rutaceae con 5 especies; mientras que los géneros más representativos fueron *Prunus*, *Ficus* y *Citrus* con 6,5 y 4 especies, respectivamente. De las 75 especies, la mayoría, el 73.33% (55) son especies introducidas y el resto, 26.67% (20) son nativas de México; el 69.33% (52) corresponden a árboles perennifolios y 30.67% (23) caducifolios (Cuadro 6).

Cuadro 6. Listado de especies encontradas en vialidades públicas de la ciudad de Puebla.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábito	Origen
Asparagaceae	<i>Yucca elephantipes</i> Regel	Izote	Perennifolio	Nativa
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	Mango	Perennifolio	Introducida
	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Pirú brasileño	Perennifolio	Introducida
Apocynaceae	<i>Carissa macrocarpa</i> (Eckl.) A.DC.	Ciruela china	Perennifolio	Introducida

	<i>Nerium oleander</i> L.	Adelfa	Perennifolio	Introducida
Araliaceae	<i>Schefflera actinophylla</i> (Endl.) Harms	Pulpo	Perennifolio	Introducida
Araucariaceae	<i>Araucaria heterophylla</i> (Salisb.) Franco	Araucaria	Perennifolio	Introducida
Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Jacaranda	Caducifolia	Introducida
	<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	Tulipán africano	Caducifolia	Introducida
Casuarinaceae	<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	Casuarina	Perennifolio	Introducida
Compositae	<i>Senecio salignus</i> DC.	Azomite	Caducifolia	Nativa
	<i>Thymophylla tenuifolia</i> (Cass.) Rydb.	Pirú	Perennifolio	Introducida
Convolvulaceae	<i>Ipomoea arborescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) G. Don	Cazahuate	Caducifolia	Nativa
	<i>Ipomoea murucoides</i> Roem. & Schult.	Cazahuate morado	Caducifolia	Nativa
Cupressaceae	<i>Cupressus lindleyi</i> Klotzsch ex Endl.	Cedro blanco	Perennifolio	Nativa
	<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw. ex Gordon	Cedro limón	Perennifolio	Introducida
	<i>Cupressus sempervirens</i> L.	Ciprés	Perennifolio	Introducida
	<i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco	Tulia	Perennifolio	Introducida
	<i>Thuja occidentalis</i> L.	Tulia	Perennifolio	Introducida
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia cotinifolia</i> L.	Lechero liberal	Perennifolio	Introducida
Fabaceae	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	Huizache	Perennifolio	Nativa
	<i>Acacia retinodes</i> Schldtl.	Acacia plateada	Perennifolio	Introducida
	<i>Bauhinia variegata</i> L.	Pata de vaca	Caducifolia	Nativa
	<i>Delonix regia</i> (Hook.) Raf.	Tabachín	Caducifolia	Introducida
	<i>Erythrina coraloides</i> DC.	Colorín	Perennifolio	Nativa
	<i>Leucaena esculenta</i> subsp. <i>esculenta</i>	Huaje	Caducifolia	Nativa
Hamamelidaceae	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	Liquidámbar	Caducifolia	Nativa
Juglandaceae	<i>Juglans regia</i> L.	Hoja de nuez	Caducifolia	Introducida
Lauraceae	<i>Laurus nobilis</i> L.	Laurel de castilla	Perennifolio	Introducida
	<i>Persea americana</i> Mill.	Aguacate	Perennifolio	Nativa
Magnoliaceae	<i>Magnolia grandiflora</i> L.	Magnolia	Perennifolio	Introducida
Malvaceae	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> var. <i>rosa-sinensis</i>	Tulipán asiático	Perennifolio	Introducida
Meliaceae	<i>Melia azedarach</i> L.	Piochita	Caducifolia	Introducida
Moraceae	<i>Ficus benjamina</i> L.	Laurel de la india	Perennifolio	Introducida
	<i>Ficus benjamina</i> L. cv. <i>variegata</i>	Ficus laurina	Perennifolio	Introducida
	<i>Ficus carica</i> L.	Higo	Perennifolio	Introducida
	<i>Ficus elastica</i> Roxb. ex Hornem.	Hule	Perennifolio	Introducida
	<i>Ficus retusa</i> var. <i>nitida</i> (Thunb.) Miq.	Laurel de la india	Perennifolio	Introducida
Musaceae	<i>Musa paradisiaca</i> L.	Plátano	Perennifolio	Introducida
Myrtaceae	<i>Callistemon citrinus</i> (Curtis) Skeels	Escobillón rojo	Perennifolio	Introducida
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	Eucalipto rojo	Perennifolio	Introducida
	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Eucalipto azul	Perennifolio	Introducida
	<i>Myrtus communis</i> L.	Arrayan	Perennifolio	Introducida
	<i>Psidium guajava</i> L.	Guayaba	Perennifolio	Introducida
	<i>Syzygium paniculatum</i> Gaertn	Liliana	Perennifolio	Introducida
Oleaceae	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	Fresno común	Perennifolio	Nativa
	<i>Ligustrum lucidum</i> W.T. Aiton	Trueno	Perennifolio	Introducida
	<i>Olea europaea</i> L.	Olivo	Perennifolio	Introducida
Palmae	<i>Phoenix canariensis</i> Chabaud	Palma canaria	Perennifolio	Introducida
	<i>Roystonea regia</i> (Kunth) O.F. Cook	Palma caribeña	Perennifolio	Introducida
	<i>Washingtonia robusta</i> H. Wendl.	Palma abanico	Perennifolio	Nativa
Pinaceae	<i>Pinus patula</i> sp. <i>Patula</i>	Pino llorón	Perennifolio	Nativa
	<i>Pinus teocote</i> Schied. ex Schldtl. & Cham.	Ocote	Perennifolio	Nativa
Proteaceae	<i>Grevillea robusta</i> A. Cunn. ex R. Br.	Roble australiano	Caducifolia	Introducida
	<i>Macadamia integrifolia</i> Maiden & Betche	Nuez de macadamia	Perennifolio	Introducida
Punicaceae	<i>Punica granatum</i> L.	Granada	Caducifolia	Introducida
Rosaceae	<i>Crataegus mexicana</i> Moc. & Sessé ex DC.	Tejocote	Perennifolio	Nativa
	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	Níspero	Perennifolio	Introducida
	<i>Malus pumila</i> Mill.	Manzana	Caducifolia	Introducida
	<i>Prunus armeniaca</i> L.	Chabacano	Caducifolia	Introducida
	<i>Prunus domestica</i> L.	Ciruela roja	Caducifolia	Introducida
	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	Durazno	Caducifolia	Introducida
	<i>Prunus salicina</i> Lindl.	Ciruelo amarillo	Caducifolia	Introducida
	<i>Prunus serotina</i> subsp. <i>serotina</i>	Capulín	Caducifolia	Nativa
Rutaceae	<i>Casimiroa edulis</i> Llave	Zapote blanco	Perennifolio	Nativa
	<i>Citrus aurantiifolia</i> (Christm.) Swingle	Lima	Perennifolio	Introducida
	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	Mandarina	Perennifolio	Introducida
	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Naranja	Perennifolio	Introducida
	<i>Olyra latifolia</i> L.	Limón persa	Perennifolio	Introducida
Salicaceae	<i>Populus alba</i> L.	Álamo blanco	Caducifolia	Introducida
	<i>Populus deltoides</i> sp. <i>deltoides</i>	Chopo americano	Caducifolia	Introducida
	<i>Populus tremuloides</i> Michx.	Álamo temblón	Caducifolia	Nativa

	<i>Salix babylonica</i> L.	Sauce llorón	Caducifolia	Introducida
Solanaceae	<i>Lycianthes rantonnetii</i> (Carrière ex Lesc.) Bitter	Solanum rantoneti	Perennifolio	Introducida
Verbenaceae	<i>Duranta erecta</i> L.	Velo de viuda	Perennifolio	Nativa

5.4.2 Frecuencia y composición

Considerando sólo los individuos vivos, 2,068, el número de individuos disminuye de áreas de marginación baja a alta, con 979, 549 y 540 individuos, respectivamente, lo mismo pasa con las especies presentes; en las áreas de marginación baja se registraron un total de 57 especies. *Ficus benjamina* con 218 individuos, *Ligustrum lucidum* (122), *Ficus retusa* ssp. *nitida* (119), *Cupressus sempervirens* (102) y *Fraxinus uhdei* (67), fueron las especies más representativas. Siguió la de marginación media, con 53 especies, siendo las más representativas: *Cupressus sempervirens* (154), *Fraxinus uhdei* (47), *Cupressus lindleyi* (46), *Populus tremuloides* (34), y *Ficus benjamina* (36). Dentro de las áreas de marginación alta se encontraron 40 especies, las más representativas fueron: *Ficus benjamina* con 103 individuos, *Cupressus sempervirens* (74), *Fraxinus uhdei* (48), *Cupressus lindleyi* (30) y *Populus tremuloides* (32).

Este efecto es similar si se contempla el orden de vialidad respecto al número de individuos, disminuyendo de vialidades de primer con el mayor número de individuos con 671, hasta vialidades de cuarto orden con 319 individuos. Pese a ello, en vialidades de primer orden solo se encontraron 35 especies, entre las que sobresalen: *Fraxinus uhdei* (107), *Ligustrum lucidum* (80), *Ficus benjamina* (78), *Ficus retussa* ssp. *nitida* (74) y *Populus tremuloides* (62). Seguidas de vialidades de cuarto orden, con 38 especies, entre las que destacan: *Cupressus sempervirens* y *Ficus benjamina* (89 cada una), *Cupressus lindleyi* (26), *Ficus retussa* ssp. *nitida* (21) y *Fraxinus uhdei* (12), las más frecuentes. Para el caso de vialidades de segundo orden se localizaron 47 especies, prevaleciendo *Cupressus sempervirens* (106), *Ficus benjamina* (98), *Ligustrum lucidum* (47), *Cupressus lindleyi* (43), *Ficus retussa* ssp. *nitida* y *Fraxinus uhdei* (30 para cada una). Mientras que en vialidades de tercer orden se encontraron 52 especies, las más representativas fueron: *Ficus benjamina* (92), *Cupressus sempervirens* (86),

Ficus retusa ssp. *nitida* (43), *Ligustrum lucidum* (37) y *Cupressus macrocarpa* (25) (Figura 13).

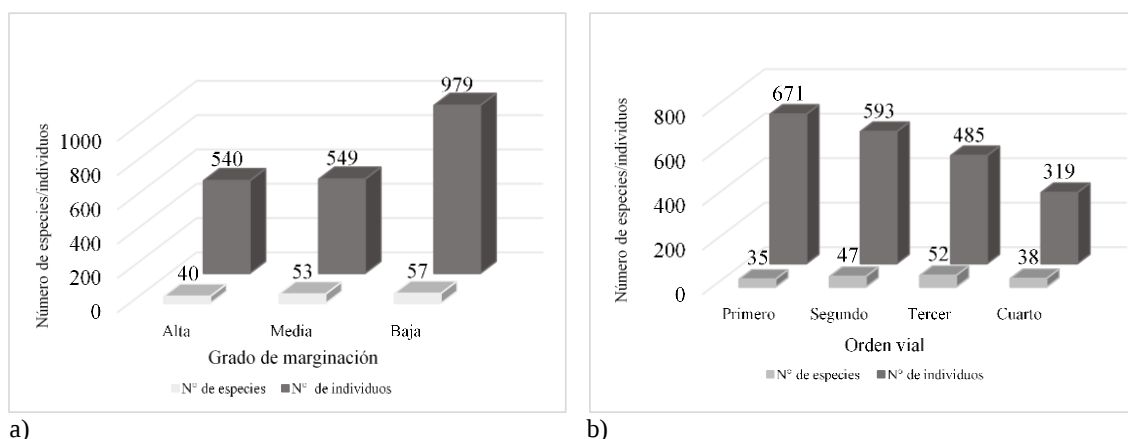


Figura 13. a) Distribución del número de especies y número de individuos por grado de marginación. b) Distribución del número de especies y número de individuos por orden de vialidad.

De las 75 especies, 48 fueron representadas por menos de 10 individuos. Así mismo, *Ficus benjamina* y *Cupressus sempervirens* son las especies con mayor número de individuos abarcando un porcentaje de 17.26 y 15.96% del total, respectivamente.

5.4.3 Estado de desarrollo

De los 2,068 individuos encontrados vivos, la mayoría fueron juveniles (48.31%), seguidos de árboles maduros (47.10%) y sólo un pequeño porcentaje (4.59%) contaban con un estado de desarrollo senil. En los grados de marginación alta y media la mayoría de los árboles fueron juveniles, mientras que en áreas de marginación baja la mayor parte de los individuos contaban con un estado de desarrollo maduro. Por otro lado, en cuanto al orden vial, a excepción de vialidades de primer orden, donde existe un mayor porcentaje de individuos con estado de desarrollo maduro, se localizaron más individuos con un estado de desarrollo juvenil (Figura 14).

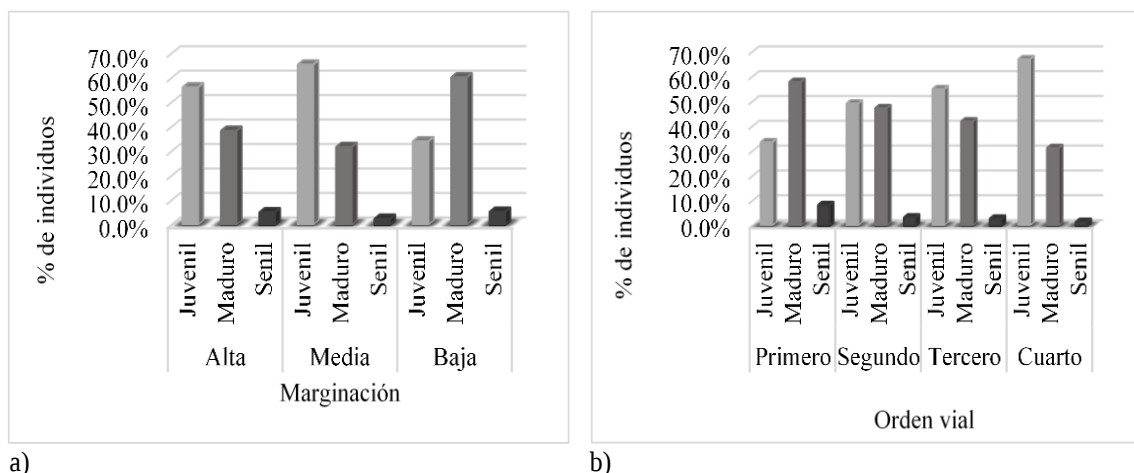


Figura 14.- a) Porcentaje de individuos por estado de desarrollo de acuerdo al grado de marginación; b) Porcentaje de individuos por estado de desarrollo de acuerdo al orden vial.

5.4.4 Diversidad

La diversidad se estimó sólo con los individuos que se encontraron vivos, y se calcularon por cada grado de marginación y orden vial. El valor más alto del índice de riqueza específica (índice de Margalef) y equidad (índice de Shannon-Wiener) se encontró en áreas de marginación media y en vialidades de tercer orden; mientras que el valor más alto de dominancia (índice de Simpson) es en áreas de marginación alta y vialidades de segundo orden (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores calculados de los índices de diversidad.

Índices de diversidad	Shannon	Simpson	Margalef
Grado de marginación			
Alta	2.85	0.91	6.20
Media	2.90	0.89	8.24
Baja	2.84	0.90	8.13
Orden vial			
Primero	2.70	0.91	5.22
Segundo	2.95	0.92	7.20
Tercero	2.94	0.91	8.25
Cuarto	2.40	0.83	6.42

5.4.5 Estructura

La altura promedio fue de 5.55 ± 3.86 m, la altura del fuste limpio de 1.27 ± 1.11 m, altura de copa viva 3.62 ± 2.96 m, altura a copa viva 1.93 ± 1.60 m, el promedio del diámetro normal fue de 22.45 ± 17.54 cm, mientras que del diámetro basal fue mayor, 25.14 ± 20.10 cm y una cobertura de copa promedio de 7.16 ± 3.07 m².

5.5 Discusión

Analizar las características del arbolado lineal público en zonas urbanas incluyendo características socioeconómicas en México ha sido poco estudiado. Las vialidades en zonas de marginación baja, generalmente cuentan con mayores dimensiones, lo que permite establecer un mayor número de árboles. Es de notar que, en áreas de marginación media y baja, se localizan un mayor número de árboles muertos y tocones. Esto puede relacionarse con el proceso de urbanización, ya que a diferencia de áreas de marginación alta, en ellas se realizan cambios en la infraestructura urbana que influye en la supervivencia de los árboles, al ser afectados o bien derrumbados para el incremento de diversas construcciones e infraestructura urbana.

Este estudio realizado en vialidades públicas de la ciudad de Puebla, encontró un total de 75 especies, número mayor a los reportados por Benavides & Fernández (2012), quienes registraron 38 especies en un bosque urbano de la ciudad de México. Mismo caso es el encontrado por Leal et al. (2018), quienes señalan 41 especies. El número de especies también es mayor comparado los resultados del muestreo realizado en 11 vialidades principales del municipio de Puebla, donde se encontraron 54 especies; donde fueron las más típicas *Ligustrum lucidum*, *Fraxinus uhdei* y *Ficus benjamina* (IMPLAN, 2018). Sin embargo, este valor está por debajo de lo registrado por Nagendra & Gopal (2010), quienes reportan un total de 108 especies presentes en vialidades de Gran Bangalore, India, y también menor a lo encontrado por Román et al. (2019)

quienes reportan un total de 117 especies presentes en vialidades de la ciudad de Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas.

Los valores reportados del índice de riqueza (D_{Mg}) y el índice de equidad de Shannon (H') son mayores en áreas de marginación media y en vialidades de tercer orden; comparado con los resultados observados por Leal et al. (2018), quienes determinaron un $D_{Mg} = 5.24$ y un $H' = 1.99$, superior en todas las áreas, a excepción de vialidades de primer orden, donde se encontró un $D_{Mg} = 5.22$. (Saavedra, Hernández, Alvarado, Martínez, & Villa, 2019) determinaron el índice de diversidad de Simpson igual a 0.85, en este estudio. Solo las vialidades de cuarto orden muestran un valor inferior, con 0.83. Por su parte, Saavedra et al. (2019) reportaron un índice de Simpson igual a 0.85 en este estudio, a diferencia de vialidades de cuarto orden con un valor de 0.83, los valores se encuentran por encima.

Pese a que no existen diferencias marcadas entre los grados de marginación y tipos de vialidad, respectivamente, es claro que estas condiciones y características influyen en la composición y diversidad del arbolado público, así lo señala Nagendra & Gopal (2010); donde caminos anchos se encontraron en promedio 6 especies por transecto (de 200 m), cinco especies en caminos medianos y 4 en vialidades estrechas.

En zonas urbanas, es común que las especies introducidas representen un mayor porcentaje que especies nativas. Este estudio sigue la tendencia, pues más del 70% de las especies encontradas son introducidas; misma situación reportada en estudios realizados por Jiménez, Manzanares, & Mesa (2015) en calles de la Habana, Cuba y por Leal et al. (2018) en un bosque urbano de Nuevo León, México. Mientras que Román et al. (2019) encontraron un 70% de especies nativas y 33% introducidas en vialidades de Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas.

Es importante señalar que la mayoría de las especies son representadas por pocos individuos, es necesario incrementar la diversidad de especies, sobre todo de las especies nativas, ya que una mayor diversidad permite contar con mayor

resiliencia de los ambientes urbanos ante diferentes amenazas, como plagas y enfermedades, manteniendo ambientes más saludables.

Entre las características dasométricas más reportadas en el arbolado urbano, destacan la altura y el diámetro normal, el promedio de altura encontrado en este estudio fue de 5.55 m, con un DN medio de 22.45 cm y DB promedio de 25.14 cm. Valores cercanos a los determinados por Romá et al. (2019), quienes encontraron una altura promedio de 5.75 m, 37.94 cm de DN y 29.96 cm de DB. Saavedra et al. (2019), encontraron una altura promedio de 8.6 m, un DN de 17.5 cm, en un bosque urbano. Mientras que el IMPLAN (2018) reporta una altura promedio de 10.3 m y 33.4 cm de DN. La diferencia de alturas y diámetros se presenta debido a las características propias de los sitios de estudio. Es claro que en bosques urbanos y vialidades más amplias se pueden establecer árboles de grandes tallas; mientras que en vialidades más reducidas debido a la infraestructura urbana, estas medidas disminuyen debido a las podas o bien al establecimiento de árboles pequeños o arbustos que no ocasionen conflictos con infraestructura.

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 da al arbolado urbano, muchas veces el diámetro normal pierde exactitud en sus medidas reales, por lo que es más recomendable medir un diámetro único, el diámetro basal (Magarik, Roman, & Henning, 2020).

En la gestión del arbolado urbano es importante considerar el establecimiento de árboles de tallas grandes pues estos tienen mayor capacidad de disminuir problemas relacionados a la contaminación atmosférica y problemas ocasionados por islas de calor, en comparación con los árboles pequeños o arbustos (Nagendra & Gopal, 2010). No obstante, el contar con arbolado joven es importante pues éstos sustituyen el arbolado senil (Saavedra et al., 2019). Este estudio encontró un mayor porcentaje de arbolado joven, a excepción de vialidades de primer orden donde existe mayor porcentaje de individuos maduros que juveniles.

5.6 Conclusiones

Conocer la estructura del arbolado de alineación de la ciudad de Puebla, analizando su distribución por zonas socioeconómicas y tipo de vialidades es fundamental para realizar planes de manejo que contribuyan a mejorar su condición.

Comenzar a realizar estudios de esta índole, estableciendo su relación con aspectos socioeconómicos o características propias de la urbanización, como el tipo de vialidad, resulta importante pues las condiciones económicas, educativas y servicios presentes influyen en el manejo otorgado al arbolado público y en su composición. Como ejemplo, pese a que las áreas de marginación baja cuentan con un mayor número de individuos, también tienen una tasa de mortalidad más elevada, superior a la de áreas con marginación baja y, dentro de éstas, son las vialidades de primer orden las que representan un mayor porcentaje. Esta situación puede estar relacionada, además de los cambios en infraestructura, al estrés constante en el que se desarrollan los árboles.

La estructura de los árboles en vialidades públicas también se ve influida por los espacios disponibles. Es necesario que, en la gestión del arbolado urbano, los árboles seleccionados para ser establecidos, cuenten con las características idóneas para sobrevivir en los espacios disponibles y no generen problemas con la infraestructura urbana.

5.7 Literatura citada

- Benavides, H., Fernández, D.Y., 2012. Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. *Madera & Bosques* 18, 51–71. <https://doi.org/10.21829/myb.2012.182352>
- Carponi, M. S., Butus, M. L., Martínez, M., Carñel, G., Reinoso, D., & Prand, M. (2016). Diagnóstico de los espacios verdes públicos de la ciudad de Paraná. *Revista Científica Agropecuaria*, 20(1–2), 31–43.
- CONAPO, 2010. Cartografía de marginación por AGEB urbana 2010. Datos abiertos del índice de marginación. Comisión Nacional de Población. Secretaría de Gobernación, México. Disponible en:

http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_Indice_de_Marginacion

- González, J. A., de la Fuente, A. A., Hernández, L., Buzo, D., & Bonache, C. (2010). Evaluación de estimadores no paramétricos de la riqueza de especies. Un ejemplo con aves en áreas verdes de la ciudad de Puebla, México. *Animal Biodiversity and Conservation*, 33(1), 31–45.
- IMPLAN. (2018). Inventario del Arbolado Urbano en Vialidades Principales del Municipio de Puebla. In Gobierno Municipal de Puebla. Puebla, México.
- INEGI, 2010. Conjunto de datos vectoriales de información topográfica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Serie III. Escala 1:50 000. Puebla. México
- INEGI, 2016. Catálogo Único de Claves de Áreas Geo estadísticas Estatales, Municipales y Localidades. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/ageeml/>. Última fecha de consulta: Abril, 2020.
- Jiménez, M., Manzanares, K., & Mesa, M. (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.
- Leal, C. E., Nelly, L., Alanís, E., Pequeño, M. A., Mora-Olivo, A., & Buendía, E. (2018). Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.129>
- León, S. L., Rosas, M. A., & Bartorila, M. Á. (2017). Forestación de calles, su impacto en el microclima urbano. *Laguna Nuevo Amanecer*, Ciudad Madero, México. *Revista Interdisciplinaria Sobre Estudios Urbanos*, 2, 21–39.
- Magarik, Y. A. S., Roman, L. A., & Henning, J. G. (2020). How should we measure the DBH of multi-stemmed urban trees? *Urban Forestry and Urban Greening*, 47(October 2019), 126481. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126481>
- Molina, L. F., & Vargas, O. (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.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, RCYT-UNESCO, & S. E. Aragonesa, Eds.). Zaragoza, España.
- Nagendra, H., & Gopal, D. (2010). Street trees in Bangalore: Density, diversity, composition and distribution. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9(2), 129–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.12.005>
- Ramírez, N., Guevara, M. L., & Hernández, A. (2019). Principios territoriales ordenadores y desequilibrio ecológico en la periferia de Puebla:

- fraccionamiento Lomas de Angelópolis. Carta Económica Regional, 109–134.
- Rendón, R. E. (2010). Espacios verdes públicos y calidad de vida. MEXICALI 2010, 1–14.
- Rodríguez, N., Di Franco, L., Cucciufu, E., & Craog, E. (2017). Generación de cartografía temática del arbolado urbano mediante el uso del SIG. Revista Del Departamento de Geografía, 117–142.
- Román, L. M., Orantes, C., Del Carpio, C. U., Sánchez, M. S., Ballinas, M. L., & Ferrera, Ó. (2019). Diagnóstico del arbolado de alineación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Madera Bosques, 25(1), 1–13. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511559>
- Saavedra, L. d. L., Hernández, P., Alvarado, D., Martínez, T., & Villa., J. (2019). Diversidad, Estructura Arbórea E Índice De Valor De Importancia En Un Bosque Urbano De La Ciudad De México. Polibotánica, 0(46), 25–37. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.3>
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Sustentabilidad. (2012). Inventario Municipal De Áreas Verdes (IMAV). Puebla, México.
- SEDESOL, 2010. Catálogo de Localidades. Secretaria de Desarrollo Social, México. Consultada en: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=211140001>
- Sreetheran, M., Adnan, M., & Azuar, A. K. K. (2011). Street tree inventory and tree risk assessment of selected major roads in Kuala Lumpur, Malaysia. Arboriculture & Urban Forestry, 37(5), 226–235.
- Szabo, M. (2010). Árboles de Santo Domingo (INTEC, JICA, & ADN, Eds.). República Dominicana.
- Tovar, G. (2007). Manejo del arbolado urbano en Bogotá. Territorio, 149–173.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES GENERALES

El estudio sobre las características y condición que presenta el arbolado urbano, y en especial el arbolado de alineación de una ciudad, poco se ha relacionado con aspectos socioeconómicos. Este estudio contribuye a reconocer la importancia que tiene la integración de factores sociales y urbanos para generar información que permita establecer mejores actividades y tomar buenas decisiones en el manejo y gestión del arbolado urbano acorde a las necesidades y limitaciones que se presentan en diferentes áreas dentro de una misma ciudad, como lo es en la ciudad de Puebla.

Una de las realidades a atender dentro del contexto urbano, referente a las áreas verdes urbanas en México, son las especies que han sido establecidas, ya que en muchos casos se han abusado de especies exóticas; el caso de la ciudad de Puebla no es la excepción, se encontró que más del 70% de las especies entre árboles y arbustos, corresponden a especies introducidas, resulta importante atender ésta situación a fin de contribuir en que este caso sea revertido y se cuente con un mayor porcentaje de especies nativas y que puedan sobrevivir en ambientes urbanos que contribuyan a mejorar la sostenibilidad urbana.

Es claro que en las ciudades los árboles están condicionados a múltiples efectos y actividades estresantes, los cuales afectan incluso los años de vida útil, el arbolado urbano que se localiza en vialidades generalmente se ve más afectado por los transeúntes y procesos urbanísticos de distintas maneras; el número y tipo de problemáticas es cambiante en cada grado de marginación y orden vial. Aunado a ello, existen problemas de carácter cultural y educativo que ocasionan problemas físicos a los troncos de árboles, principalmente, como incrustar todo tipo de objetos que deterioran su vigor. De manera general, los problemas con cableado son los más frecuentes, siendo las áreas de marginación baja en donde se presenta un mayor porcentaje de este tipo de conflictos y en vialidades de cuarto y tercer orden.

La condición del arbolado lineal público está estrechamente ligado con las condiciones sociales, económicas y culturales de las zonas donde se encuentra establecido. Por ello, es importante implementar programas de manejo que consideren todos estos aspectos y tener presente establecer programas de educación ambiental que contribuyan a desarrollar un manejo adecuado, que permita contar con árboles en buenas condiciones, y de esta manera contribuir a la sostenibilidad ambiental.

La gestión y planeación del arbolado urbano debe de ser acorde a las características de cada ciudad, factores ambientales, físicos, culturales y económicos. Así mismo, se deben de considerar las necesidades de los habitantes e integrarlos en su manejo. Incorporar los elementos de los que depende su condición, permitirá contar con mejores planes de manejo que, a su vez, facilitan lograr ciudades sostenibles.

Una estrategia importante es establecer acuerdos entre el gobierno municipal y los viveros forestales, a fin de aumentar y producir especies nativas, para mejorar la diversidad y calidad de árboles en calles que puedan desarrollarse sin problema. Se debe tener claro que el tipo de gestión implementada hoy en día repercutirá en la salud y beneficios del arbolado urbano y desde luego de los residentes.