



Daño a la infraestructura (pavimento) causado por el arbolado urbano en Puerto Vallarta, Jalisco

Damage to infrastructure (pavement) caused by urban trees in Puerto Vallarta, Jalisco

Tahamara Esquivel¹, Sandra Quijas^{1*}

Abstract

A study was carried out to analyze the trees that, due to their inadequate location, cause significant damage to the infrastructure —notably to the pavement of the urban green areas of Puerto Vallarta, Jalisco—, describing the factors that explain the registered damage. A census of trees and palms was made in 14 parks and public squares. The level of damage was only evaluated in species with 10 individuals each, present in green areas. Three factors were evaluated in the individuals and green areas: a) biological (diameter at breast height, total height, and crown area); b) social (possibility of repairing damages), and c) environmental (distance of the tree to the pavement, mainly). In order to evaluate the level of damage to the pavement (no damage, little damage, moderate damage, severe damage), the condition of the infrastructure and the percentage of damage to the pavement were considered. Eighty-five percent of the 1,228 tree individuals did not exhibit any visible damage to the infrastructure (pavement) of the parks and public squares. Of the 20 species considered, *Enterolobium cyclocarpum*, *Ficus benjamina*, *Ficus insipida*, *Ficus lapathifolia* and *Simaruba glauca* were the ones that caused moderate to severe damage. Stem diameter at breast height, total height, and crown area are the factors that significantly explain the damage to pavement. The results show that, if the damage caused by trees and palms to the infrastructure is to be reduced, it is necessary to know the biological attributes of the species in order to ensure sufficient space for their development.

Key words. Total height, crown area, stem diameter, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, pavement, roots

Resumen

Se realizó un estudio para analizar los árboles que por su localización inadecuada causan daño significativo a la infraestructura, entre la que se destaca al pavimento de las áreas verdes urbanas de Puerto Vallarta, Jalisco, se describen los factores que explican el daño registrado. En 14 parques y plazas públicas, se realizó el censo de árboles y palmas. El nivel de daño se evaluó en las especies con ≥ 10 individuos por taxón en las áreas verdes y se hizo en función de tres factores: a) biológico (diámetro a la altura del pecho, altura total y área de copa); b) social (posibilidad de reparación de daños); y c) ambiental (distancia del árbol al pavimento, principalmente). Para el nivel de daño al pavimento (sin daño, poco daño, daño moderado, daño severo), se consideró la condición de la infraestructura y porcentaje de daño. De los 1 228 individuos arbóreos, 85 % no mostraba ningún daño visible a la infraestructura (pavimento) de los parques y plazas públicas. De las 20 especies estudiadas, *Enterolobium cyclocarpum*, *Ficus benjamina*, *Ficus insipida*, *Ficus lapathifolia* y *Simaruba glauca* fueron las que causaron daños de moderado a severo. El diámetro a la altura del pecho, altura total y área de copa fueron los factores que explicaron significativamente el daño al pavimento. Los resultados muestran que para disminuir el daño de los árboles y palmas a la infraestructura, se tienen que conocer los atributos biológicos de las especies por plantar, y con ello asegurarles el espacio suficiente para su desarrollo.

Palabras clave: Altura total, área de copa, diámetro de tronco, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, pavimento, raíces.

Fecha de recepción/Reception date: 30 de mayo de 2021

Fecha de aceptación/Acceptance date: 11 de octubre de 2021.

¹Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. México.

*Autor para correspondencia, correo-e: sandra.quijas@academico.udg.mx

Introducción

Los árboles urbanos se definen como el arbolado de propiedad pública o privada que se encuentran dentro de un área urbana, y forman parte de la infraestructura (Akmal y Othman, 2012). Cabe indicar que, los árboles son los principales proveedores de servicios ecosistémicos en las zonas urbanas (Dobbs *et al.*, 2011), al brindar diversos beneficios ambientales, sociales y económicos. Entre los ambientales: mejoran el microclima, almacenan dióxido de carbono, producen oxígeno, disminuyen la erosión del suelo, retienen partículas suspendidas, brindan refugio a diversas especies de fauna, entre otros (Niemeleä *et al.*, 2010; Escobedo *et al.*, 2011). Los beneficios sociales comprenden el incremento de la salud física y mental, brindan confort a las personas que realizan actividades de recreación y esparcimiento en las áreas verdes (Jiang *et al.*, 2014; Elmqvist *et al.*, 2015). Mientras que, entre los económicos, se ha documentado que la presencia de áreas verdes arboladas puede aumentar la plusvalía de una zona residencial hasta 15 %, además de disminuir los gastos energéticos en enfriadores debido a su capacidad de regular la temperatura (Tovar, 2006; Egas, 2017).

Si bien, se reconocen ampliamente los beneficios que trae consigo el arbolado urbano; también si no se planea su plantación, generan problemas al entorno. Entre estos se pueden citar los costos por su establecimiento o mantenimiento (Tovar, 2006); los relacionados con la salud y bienestar de las personas, debido a que algunos taxones presentan atributos no deseables para el humano como la generación de sustancias volátiles, la presencia de compuestos tóxicos en semillas y frutos, las plagas y patógenos o aquellas especies que producen olores desagradables, por ejemplo los frutos en proceso de descomposición (Lyytimäki, 2017; Esquivel *et al.*, 2021; Roman *et al.*, 2021). Por otro lado, el polen y algunas semillas provocan alergias de tipo cutáneo o respiratorio que se agudizan en personas sensibles (Calaza e Iglesias, 2016; Lyytimäki, 2017).

Los problemas de tipo físico y mecánico generados por el arbolado urbano son los más reconocidos en trabajos previos. Los árboles representan un peligro al inducir daños visibles a la infraestructura urbana o a la integridad física de las personas (Tomao *et al.*, 2015; Lyytimäki, 2017). Los principales de tipo físico se derivan del estado de físico del árbol y el entorno donde se desarrolla, o bien son derivados de algunos factores externos, como velocidad del viento, lluvia y nieve; lo que aumenta las probabilidades del colapso de un árbol o parte de él (Matheny y Clark, 2009; Roman *et al.*, 2021).

Los problemas mecánicos responden a la interacción del árbol con el entorno en el que crece, son daños a la infraestructura, tuberías o inconvenientes con el cableado eléctrico, telefónico u otros (Calaza e Iglesias, 2016); los cuales disminuyen la seguridad de los peatones, ciclistas, automovilistas y hasta del mismo árbol, además de que reducen la estética de las áreas verdes y producen un gran problema económico para las administraciones, por los altos costos de reparación (McPherson, 2000; Roman *et al.*, 2021).

Los daños a la infraestructura por el arbolado urbano, como el ocasionado a pavimentos, banquetas y jardineras se explican a partir de factores biológicos, sociales y ambientales. Dentro de los primeros, se han evaluado las variables de tasa de crecimiento, dimensiones del árbol, tipo de raíz y origen de la especie (Beltrán, 1979; Benavides *et al.*, 2004; Akmal y Othman, 2012; Acosta, 2013; Rodríguez y Ferro, 2014; Giuliani *et al.*, 2015; Alani y Lantini, 2020; Hilbert *et al.*, 2020). Para los sociales, se han analizado las variables que describen al sitio en donde se encuentra el arbolado urbano, entre ellos: el historial de mantenimiento, uso de suelo y condición socioeconómica (Beltrán, 1979; Acuña, 1999; Akmal y Othman, 2012; Acosta, 2013). Los factores ambientales son los estudiados con más frecuencia, en función de variables como la precipitación, distancia a la infraestructura, condición del suelo y tipo de pavimento (Beltrán, 1979; Acuña, 1999; Benavides *et al.*, 2004; Akmal y Othman, 2012; Giuliani *et al.*, 2015; Alani y Lantini, 2020; Hilbert *et al.*, 2020). Los estudios sobre este tema determinan las

soluciones potenciales para disminuir dicha problemática, así como para mejorar las pautas de selección de taxones arbóreos en las áreas verdes urbanas.

Ante tal panorama, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el daño al pavimento de los parques y plazas públicas de Puerto Vallarta, Jalisco causado por el tamaño y ubicación de los árboles; se identificaron los factores biológicos, sociales y ambientales que explican el nivel de daño a la infraestructura y se emitieron recomendaciones para evitarlos a largo plazo. Con base en el objetivo del estudio se propusieron tres predicciones relacionadas con los factores biológico, social y ambiental. Primero, se espera que los árboles con mayores dimensiones (diámetro del tronco, altura total y área de copa) causen un mayor daño a la infraestructura de los parques y plazas (Hilbert *et al.*, 2020), debido a que dichos organismos requieren de más espacio para su desarrollo, el cual está restringido por una mala selección y planeación. Segundo, se espera que los individuos existentes en parques ubicados en zonas con una condición socioeconómica alta y media, presenten menor nivel de daño a la infraestructura, que los localizados en parques de zonas con una condición socioeconómica baja (Acuña, 1999); lo anterior, debido a que las autoridades o habitantes de zonas de alto y medio nivel socioeconómico tienden a reparar (o prevenir) en mayor medida los daños ocasionados a la infraestructura. Finalmente, se espera que a una menor distancia entre los árboles y la infraestructura se observará un mayor nivel de daño (Akmal y Othman, 2012; Alani y Lantini, 2020), porque el espacio requerido para el crecimiento de los árboles no es respetado, lo cual es crucial para evitar el daño.



Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio se ubica en Puerto Vallarta, municipio que se localiza en la región Costa Norte del estado de Jalisco, México (Figura 1). Limita al norte con Nayarit, al sur con el municipio Cabo Corrientes y Talpa de Allende; al este con San Sebastián del Oeste y Mascota y al oeste con el océano Pacífico (Semar, 2016). La ciudad de Puerto Vallarta se ubica geográficamente entre las coordenadas 20°28' y 20°56 N, y 104°58' y 105°20' O, a una altitud de 2 m. Su extensión territorial es de 1 300.67 km² (Semar, 2016). Puerto Vallarta tiene una población de 291 839 habitantes (Inegi, 2020).

La ciudad de Puerto Vallarta se encuentra rodeada de bosque tropical caducifolio y subcaducifilio (Ramírez-Delgadillo y Cupul-Magaña, 1999). Dentro de ella, se seleccionaron 14 áreas verdes como sitios de estudio, los cuales incluyeron parques y plazas públicas distribuidos a lo largo y ancho de toda la ciudad; áreas verdes con afluencia constante de habitantes locales, turistas nacionales y extranjeros, de libre y fácil acceso, pero sobre todo que se localizaran en partes de la ciudad que permitieran el trabajo en condiciones de seguridad (Figura 1).



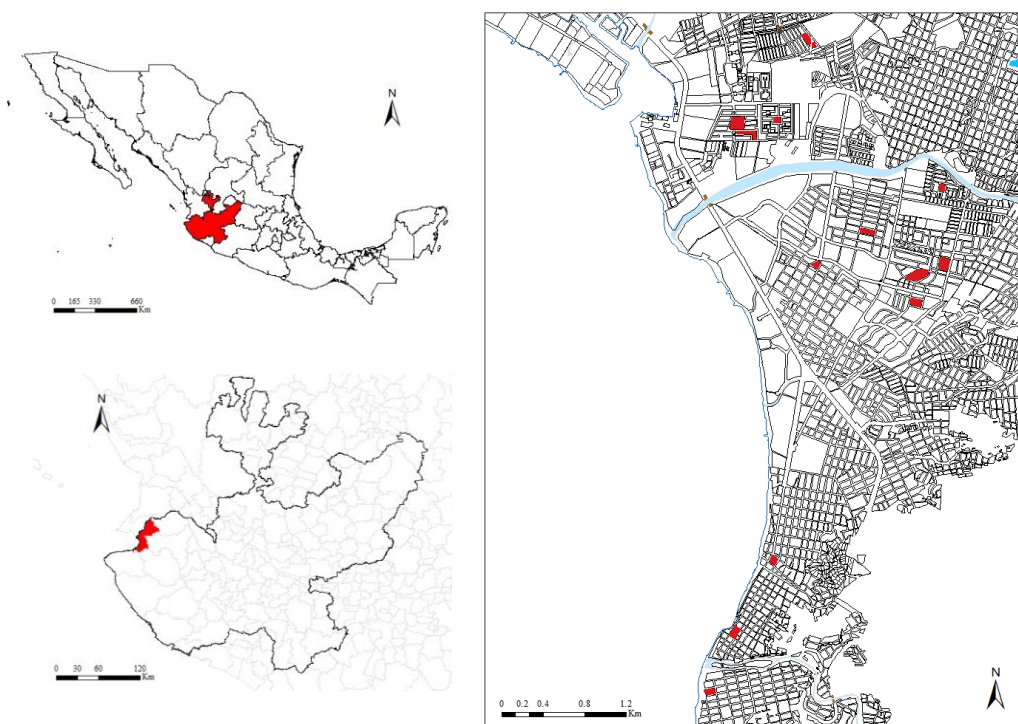


Figura 1. Localización de los parques y plazas públicas censadas en Puerto Vallarta, Jalisco, México.

Factores biológicos

En cada parque y plaza pública seleccionados, se censaron y midieron todos los individuos leñosos, palma o árbol, con un diámetro a la altura del pecho ≥ 6.37 cm (Perímetro = 20 cm), diámetro que asegura que el individuo se ha establecido y tendrá continuidad de crecimiento. La identidad de las especies y su nombre científico se corroboró en la base de datos global Tropicos (<https://www.tropicos.org/home>). Las medidas obtenidas fueron diámetro a la altura de pecho (cinta diamétrica Forestry Suppliers, IC 283D/5M), altura total (pistola Haga 1950) y área de copa (cinta Truper TFC-50ME). Para los individuos ramificados, se sumó el diámetro de todos los troncos. El área de la copa se obtuvo a partir de los dos principales diámetros de la copa, uno de norte a sur y otro de este a oeste.

Factor social

La variable para describir el factor social fue el mantenimiento de la infraestructura en zonas con diferente nivel socioeconómico, la cual ha sido considerada en otros trabajos y se ha relacionada con la posibilidad de reparación de los daños a la infraestructura (Akmal y Othman, 2012; Olivero-Lora *et al.*, 2019). La reparación del daño puede ser por parte de las autoridades locales o de los usuarios. Esta variable se obtuvo a partir de la valuación por zona, se consideró como referencia el material y aspecto del pavimento (empedrado, concreto, adoquín, con baches o sin baches), presencia de comercio ambulante, cableado subterráneo o aéreo, casas de interés social, cercanía a zonas comerciales, entre otros.

Factor ambiental

Se representó con la variable de distancia a la infraestructura, interpretada como el espacio disponible del árbol para crecer; para ello, se midió el espacio entre la base del árbol y la infraestructura más cercana, como pueden ser una acera, banqueta, andador o bordes que delimitan una jardinera; la infraestructura estuvo elaborada, principalmente, por cemento adoquín (Acuña, 1999; Benavides *et al.*, 2004).

Nivel de daño

Para cuantificar el daño causado por el tamaño y la ubicación del árbol, se consideraron e integraron dos variables: la condición de la infraestructura (pavimento) y el porcentaje de daño sobre la infraestructura. La primera se evaluó con la presencia o ausencia de daño a la infraestructura causado por un árbol, a partir del trazo imaginario de un círculo alrededor del individuo arboreo, con una medida estandarizada de un metro de radio, en el cual se categorizó su alteración y


se le asignó un puntaje del 0 a 3 (Cuadro 1). El área estandarizada alrededor del árbol se estableció para comparar sistemáticamente a los individuos que generaron grietas y levantamiento del pavimento, independientemente, del registro de las variables relacionadas con los factores biológico, social o ambiental.

Cuadro 1. Categorías y puntajes para evaluar las grietas y levantamiento del pavimento.

Sin daño = 0 puntos	Grietas leves = 1 punto	Grietas y levantamiento moderado = 2 puntos	Grietas y levantamiento severo = 3 puntos
			

El porcentaje de daño sobre la infraestructura se evaluó a partir del daño visible alrededor del árbol o palma. Para fines de este trabajo, el daño sobre cimientos, drenajes, bardas o cualquier otro tipo de construcción no se consideró porque en las áreas verdes estuvieron ausentes. A partir del trazo imaginario de un círculo alrededor del individuo arboreo, con aproximadamente un metro de radio, se determinó el porcentaje de daño dentro del círculo, el cual correspondió a una de las cinco categorías ya establecidas y con un puntaje asignado (Cuadro 2).

Cuadro 2. Categorías y puntajes de porcentaje de daño a la infraestructura.

Imagen ilustrativa de la evaluación visual	Categoría de porcentaje de daño	Puntaje
	Sin daño	0
	1-20	1
	21-40	2
	41-60	3
	61-80	4
	81-100	5

Finalmente, para cada individuo, árbol o palma, se sumó el puntaje de las variables de condición de la infraestructura y el porcentaje de daño, el cual correspondió a un puntaje total y una categoría de daño (Cuadro 3). El nivel de daño se determinó en las especies con ≥ 10 individuos y presentes en cualquiera de todas las áreas verdes bajo estudio, para que los patrones identificados fueran representativos de las especies más abundantes o frecuentes.

Cuadro 3. Categorías y puntajes de nivel de daño al pavimento.

Nivel de daño Puntaje		Descripción	Color
Sin daño	0	Árbol o palma que no causa grietas ni daño a la banqueta o infraestructura.	Grigio
Poco daño	1-2	Árbol o palma que puede presentar grietas leves y un porcentaje de daño sobre la infraestructura menor o igual al 20 %.	Naranja
Daño moderado	3-5	Árbol o palma que puede presentar de grietas leves a grietas y levantamiento, y un porcentaje de daño sobre la infraestructura del 21 al 60 %.	Amarillo
Daño severo	6-8	Árbol o palma que puede presentar grietas y levantamiento severo y un porcentaje de daño sobre la infraestructura del 60 al 100 %.	Rojo

Análisis de datos

Se realizaron pruebas no paramétricas de *Kruskal-Wallis* (como valor de Chi-cuadrada; χ^2) para examinar las diferencias entre los niveles de daño al pavimento y las variables biológicas (diámetro de tronco, altura total, área de copa) y la ambiental (distancia a la infraestructura). Por medio de un análisis de contingencia (prueba de Chi-cuadrada; χ^2) se evaluaron las diferencias en el nivel de daño a la infraestructura y la variable social (condición socioeconómica). Para visualizar las similitudes en el nivel de daño a la infraestructura de las especies leñosas se realizó un escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) mediante el índice de *Bray-Curtis* (Hammer *et al.*, 2001) como índice de agrupamiento. Los análisis se hicieron con el programa JMP 8.0 (Proust, 2008) y el programa *PAST*[®] 3.25 (Hammer *et al.*, 2001).

Resultados

En los 14 parques y plazas públicas censados, se registró un total de 1 223 árboles o palmas pertenecientes a 36 familias, 78 géneros y 96 especies. De los 20 taxones más abundantes y frecuentes (Cuadro 4), *Cocus nucifera* L. (COCNUC) y *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. (TABROS) fueron los más abundantes (Figura 2); se cuantificaron 1 091 individuos, de los cuales 663 correspondieron a especies introducidas y 428 a nueve nativas.

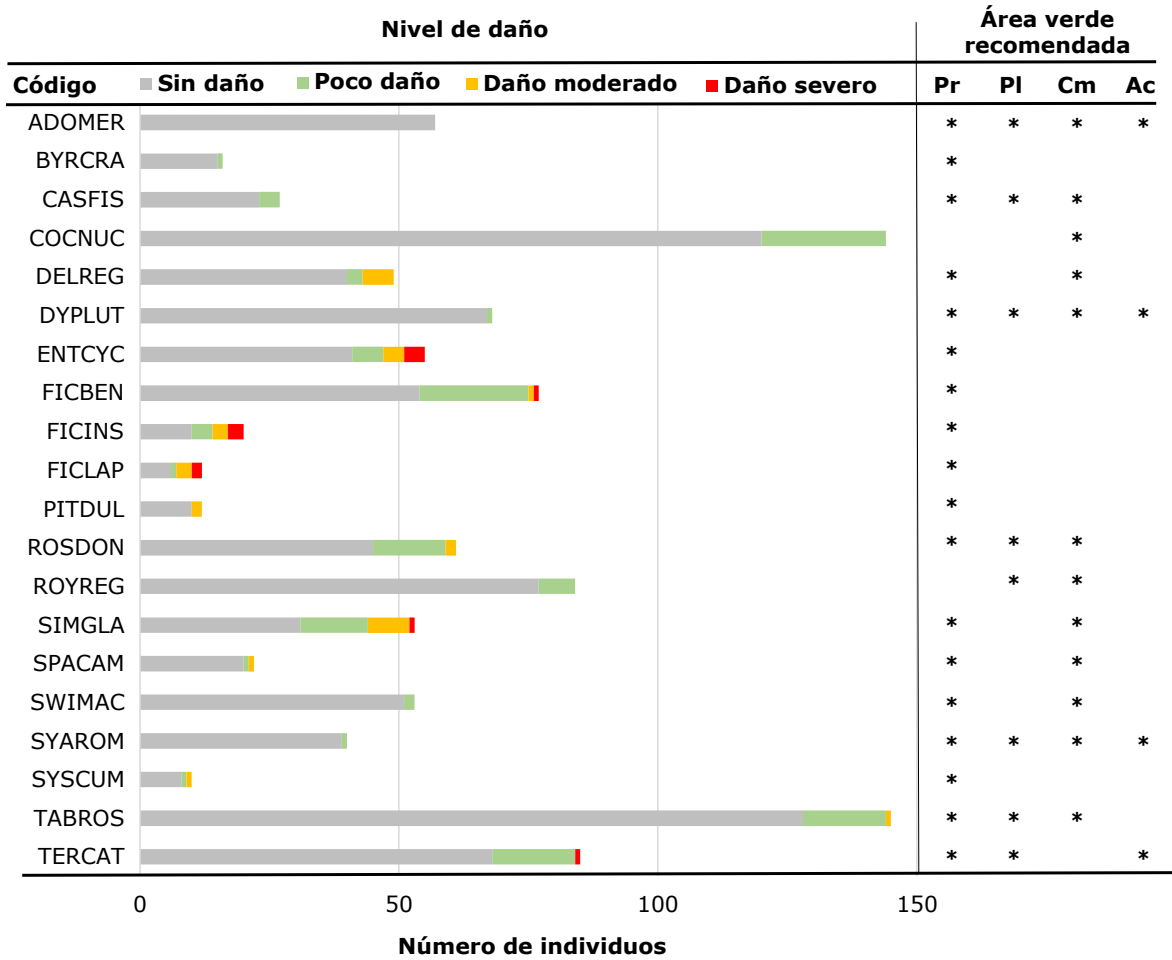
Cuadro 4. Árboles y palmas con más de 10 individuos en los parques y plazas públicas de Puerto Vallarta, Jal., México.

Núm.	Especie	Código	Familia	Nombre común	O&D
1	<i>Adonidia merrilli</i> Becc.	ADOMER	Arecaceae	Kerpis	I
2	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	BYRCRA	Malpighiaceae	Nance	N
3	<i>Cassia fistula</i> L.	CASFIS	Fabaceae	Lluvia de oro	I
4	<i>Cocos nucifera</i> L.	COCNUC	Arecaceae	Cocotero	I
5	<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.	DELREG	Fabaceae	Tabachín	I
6	<i>Dyopsis lutescens</i> Beentje & J. Dransf.	DYPLUT	Arecaceae	Areca	I
7	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	ENTCYC	Fabaceae	Parota	N
8	<i>Ficus benjamina</i> L.	FICBEN	Moraceae	Benjamina	I
9	<i>Ficus insipida</i> Willd.	FICINS	Moraceae	Higuera	N
10	<i>Ficus lapathifolia</i> (Liebm.) Miq.	FICLAP	Moraceae	Amate	N
11	<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	PITDUL	Fabaceae	Guamúchil	N
12	<i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda	ROSDON	Bignoniaceae	Primavera	N
13	<i>Roystonea regia</i> (Kunth) O.F. Cook	ROYREG	Arecaceae	Palma real	I
15	<i>Simarouba glauca</i> DC.	SIMGLA	Simaroubaceae	Pistacho	N
15	<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	SPACAM	Bignoniaceae	Galeana	I
16	<i>Swietenia humilis</i> Zucc.	SWIHUM	Meliaceae	Caoba	N
17	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	SYAROM	Arecaceae	Palma plumosa	I
18	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	SYZCUM	Myrtaceae	Uvilla	I
19	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	TABROS	Bignoniaceae	Rosamorada	N
20	<i>Terminalia catappa</i> L.	TERCAT	Combretaceae	Almendo	I

O&D = Origen y distribución; I = Introducida; N = Nativa.

Los individuos sin daño al pavimento por su ubicación representaron 83.5 % del total evaluado, 12.5 % alcanzaron el nivel de poco daño, 2.9 % daño moderado y

1.1 % se relacionó con daño severo (Figura 2). Las especies que provocaron daño moderado y severo fueron *Enterolobium cyclocarpum* (ENTCYC), *Ficus lapathifolia* (Liebm.) Miq. (FICLAP), *Ficus insipida* Willd. (FICINS) y *Simarouba glauca* DC. (SIMGLA). De acuerdo al nivel de daño ocasionado por los 20 taxones, se asignó una recomendación para su uso en distintas áreas verdes urbanas.

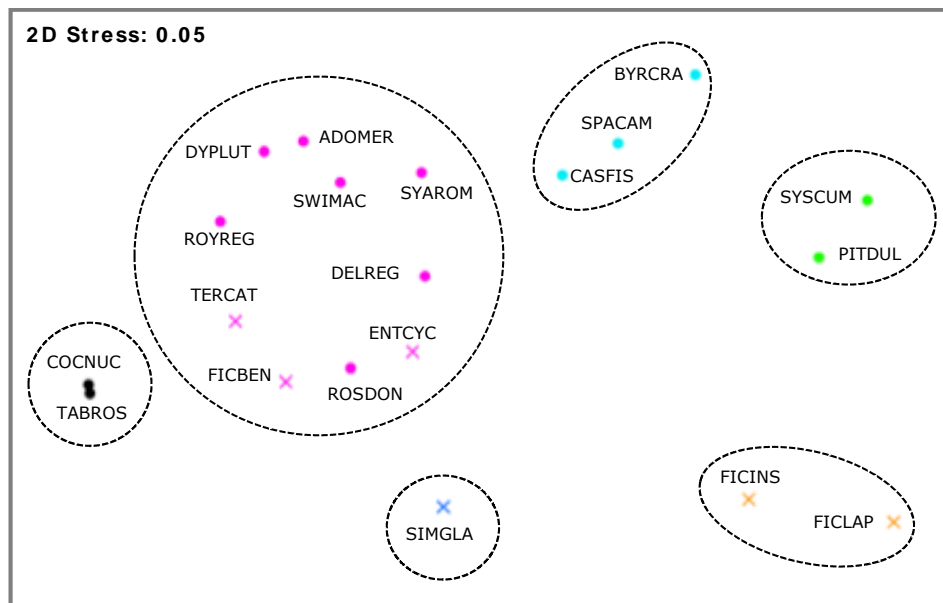


Pr = Parque; Pl = Plaza; Cm = Camellón; Ac =Acera.

Figura 2. Nivel de daño al pavimento de parques y plazas públicas asociado al tamaño y la ubicación de los individuos de 20 especies de árboles y palmas seleccionadas.

Seis grupos de especies se formaron de acuerdo con el nivel de daño asociado al pavimento (Figura 3). El análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) mostró que uno de los grupos está conformado por 10 taxones, los cuales

registraron abundancias intermedias, de 40 a 85 individuos, que suelen ocupar todas las categorías de daño. Otro de los grupos se conformó por las especies más abundantes: *C. nucifera* (COCNUC) y *T. rosea* (TABROS), para las cuales la mayoría de sus individuos no se relacionó con un daño. El resultado del NMDS mostró ser significativo con un valor de *stress* de 0.05.



Los colores representan a los seis grupos identificados. Las especies que se muestran con equis (x) tienen individuos que causaron daño severo. El nombre completo de la especie puede consultarse en el Cuadro 4.

Figura 3. Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) para las 20 especies de árboles y palmas que se asocia un daño al pavimento de parques y plazas públicas de Puerto Vallarta.

Las variables biológicas, o dasométricas explican significativamente el nivel de daño al pavimento ocasionado por el tamaño y la ubicación de los individuos de árboles y palmas (Figura 4). El mayor nivel de daño lo generaron los individuos con un diámetro de tronco más grande ($\chi^2 = 36.82, p < 0.001$; Figura 4a), más

altura ($\chi^2 = 33.33$, $p < 0.001$; Figura 4b) y mayor área de copa ($\chi^2 = 54.02$, $p < 0.001$; Figura 4c). La prueba no paramétrica de *Kruskal-Wallis* evidenció diferencias en el nivel de daño a diferentes distancias de la infraestructura ($\chi^2 = 12.08$, $p = 0.0071$; Figura 4d).

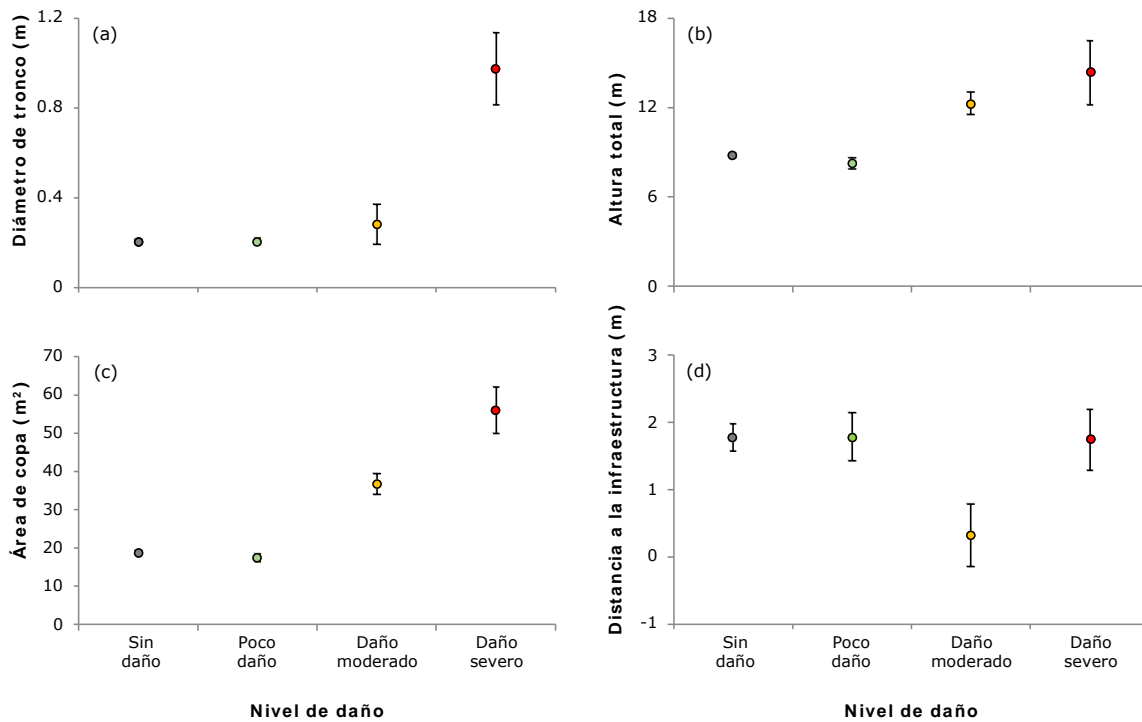


Figura 4. Relación entre el nivel de daño al pavimento de parques y plazas públicas y las variables relacionadas con factores biológicos, a) diámetro del tronco a la altura del pecho, b) altura total, c) área de copa y el factor ambiental, d) distancia a la infraestructura.

El nivel socioeconómico, como factor social, explicó significativamente la posibilidad de reparación del daño ocasionado por los individuos leñosos a la infraestructura (Figura 5). A partir del total de árboles y palmas por nivel socioeconómico, el mayor porcentaje de individuos que causaron daño severo se presentó significativamente en el nivel bajo (3 %), con respecto a los niveles medio (1.6 %) y alto (0.2 %; $\chi^2 = 83.1$, $p < 0.001$). En los parques y plazas localizadas en zonas socioeconómicamente

altas, se presentó significativamente un mayor número de individuos no asociados a un daño (92.5 %), con respecto al medio (74.3 %) y bajo (84.9 %). Lo anterior se explica por la posibilidad de reparación de la infraestructura dañada, y aparenta una falta de daño por la mala ubicación de las especies arbóreas.

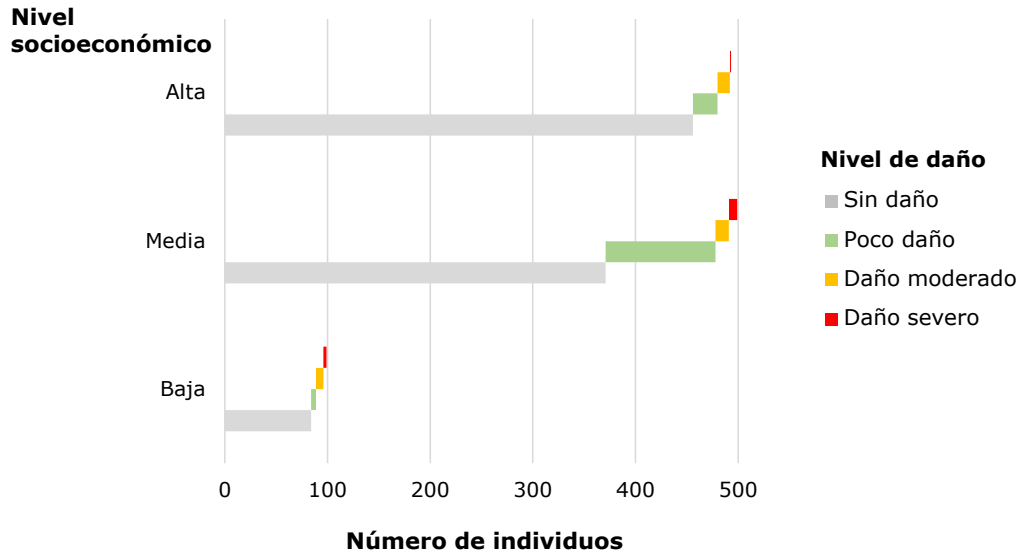


Figura 5. Relación entre el daño a la infraestructura de parques y plazas públicas y el nivel socioeconómico.



Discusión

El presente estudio mostró que los árboles y palmas más abundantes en parques y plazas públicas de Puerto Vallarta son principalmente especies introducidas y no causan algún daño a la infraestructura. Muchas de ellas fueron introducidas en América con el propósito específico de usarse como ornamentales por sus altos valores estéticos, y en consecuencia, se han plantado masivamente; por lo que es común encontrar más taxones introducidos que nativos en las ciudades de Latinoamérica.

Puerto Vallarta no es la excepción, ya que más de 60 % de los árboles y palmas censadas son introducidas; las más abundantes son *T. catappa*, *C. nucifera*, *R. regia* y *F. benjamina*, resultado similar al registrado por Román-Guillén *et al.* (2019), quienes destacan casi las mismas especies en su diagnóstico de árboles de alineación en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

A pesar de que la mayoría de especies e individuos observados en las áreas verdes evaluadas de Puerto Vallarta eran introducidas, los árboles, que por su tamaño y ubicación causaron un mayor nivel de daño, fueron los de origen nativo. Sin embargo, esta situación no es mala, sino al contrario, muestra que son árboles relictos, ejemplares que se encontraban en el sitio mucho antes de su modificación. Es posible que las construcciones de las plazas o parques estudiados respetaron y conservaron algunos individuos arbóreos establecidos originalmente en los sitios; aunque no se les dio suficiente espacio para su posterior crecimiento y desarrollo.

Delonyx regia, *E. cyclocarpum*, *F. benjamina*, *F. insipida*, *R. donnell smithii* y *S. glauca* fueron de las más frecuentes en provocar daño al pavimento. Las tres primeras declaradas como no aptas para plantaciones en espacios reducidos (Acosta, 2013), ya que poseen raíces agresivas y de amplia extensión. En tanto que el daño causado por *F. lapathipholia* y *F. insipida* se explica porque son especies nativas que probablemente ya existían antes de la creación de dichas áreas verdes, y cuyo espacio requerido no se respetó. Además, estas especies crecen de forma

silvestre en las montañas aledañas a Puerto Vallarta. *Roseodendron donnell-smithii* y *S. glauca* raramente se citan en estudios de daño a la infraestructura; por lo que este estudio constituye el primer registro sobre el particular.

Cabe resaltar, que los individuos de *A. altilis* y *F. elastica* causaron, por su ubicación, un nivel grave de daño al pavimento; sin embargo, no se tuvo el número mínimo de individuos para incorporarlas en el análisis. En el Cuadro 5 se exhiben las especies arbóreas responsables de mayor daño a la infraestructura y se indican cuáles se documentan en estudios realizados en zonas tropicales.

Cuadro 5. Especies de árboles citados en otros estudios en zonas tropicales sobre daño a la infraestructura causado por árboles.

Especies	Autores				
	Presente estudio	Vargas, 2010	Román-Guillén et al., 2019	Acosta, 2013	Benavides et al., 2004
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	*			*	
<i>Ficus benjamina</i> L.	*	*	*	*	
<i>Terminalia catappa</i> L.	*				
<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) Fosberg.		*			
<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.	*	*	*	*	
<i>Ficus insipida</i> Willd.	*				
<i>Ficus laphatifolia</i> (Liebm.) Miq.	*				
<i>Ficus elastica</i> Roxb. ex Hornem.		*	*	*	*
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	*	*	*		
<i>Dypsis lutescens</i> Beentje & J. Dransf.	*			*	

La identificación de seis grupos de especies, a partir de los datos de nivel de daño y abundancia, permite transmitir mensajes más claros sobre su utilización a los tomadores de decisiones. En especial, se agruparon aquellos taxones que causaron mayor daño y que no son de las más abundantes en los parques y plazas públicas de Puerto Vallarta. Asimismo, con un análisis estadístico robusto se presenta lo que perciben los habitantes de Puerto Vallarta; es decir, que *C. nucifera* (COCNUC) y *T.*

rosea (TABROS) son las más abundantes y no causan daño al pavimento, información que coincide con lo indicado en otros estudios (Bueno *et al.*, 2021).

El uso del análisis de escalonamiento multidimensional no métrico (NMDS) probó ser una herramienta efectiva y útil para agrupar especies que causan similar nivel de daño a la infraestructura; cabe señalar que hasta ahora no se ha usado en la literatura publicada.

Los árboles que indujeron daño moderado a severo a la infraestructura (pavimento) fueron los de las mayores dimensiones, lo que correspondió a 4 % del total. La hipótesis planteada se cumplió, la cual planteaba que los árboles con diámetro a la altura del pecho, altura total y área de copa mayores, así como su ubicación causaron el mayor daño a la infraestructura (pavimento); lo anterior concuerda con el estudio de Hilbert *et al.* (2020). Los árboles entre más grandes requieren de más disponibilidad de espacio para desarrollarse, sin importar el tratamiento de poda que se aplique en las áreas verdes urbanas.

Con respecto a la predicción sobre que a menor distancia entre los árboles e infraestructura se observaría un mayor nivel de daño, se determinó que la mayoría de los árboles causantes de daño moderado y severo, se localizaban a menos de 2 m de distancia a la infraestructura (pavimento). Lo anterior fue un resultado generalizado, y solo algunos individuos de *A. merrilli*, con diámetro a altura del pecho de 6.4 a 20.2 cm y altura total entre 3 y 11 m no provocaron ningún tipo de daño al pavimento; a pesar de encontrarse a una distancia de cero metros a cualquier edificación. Esto muestra que un atributo importante por considerar es la distribución del crecimiento de la raíz, ya que no es lo mismo plantar, a igual distancia de la infraestructura, un tabachín (*D. regia*) que posee raíces superficiales y agresivas; una palma real (*R. regia*) cuyas raíces son fibrosas; o una rosamorada (*T. rosea*) de raíz pivotante y con pocas laterales (Esquivel *et al.*, 2020).

De la misma forma, para el factor ambiental es importante considerar, en próximos estudios, el tipo de pavimento aledaño a los arriates de los árboles, ya que según Beltrán (1979) y Giuliani *et al.* (2015) existen menores probabilidades de daño, si la

infraestructura más cercana al árbol es de concreto hidráulico, pues su composición es más dura y con menos porosidad. Este dato puede explicar, en parte, los resultados obtenidos con el factor social, en el cual se planteaba que las zonas con bajo nivel socioeconómico presentarían mayor evidencia de daño a la infraestructura, debido a la menor posibilidad o disponibilidad de repararla por parte de las autoridades locales o usuarios cercanos al área verde; también puede deberse a una mala planeación inicial, un insuficiente recurso para el establecimiento y mantenimiento de los árboles, o un nulo interés por parte de las autoridades municipales para la reparación del daño (Tovar, 2006). Con base en lo anterior, el tipo y calidad del pavimento es una característica que varía entre zonas socioeconómicas.

Conclusiones

En los parques y plazas públicas de Puerto Vallarta, la mayoría (85 %) del arbolado y palmas se ubican a una distancia que no causará daño considerable al pavimento. Las especies que por su porte en estado maduro se les asocia con un daño a la infraestructura de moderado a severo son: *E. cyclocarpum*, *F. benjamina*, *F. laphatifolia*, *F. insipida* y *S. glauca*; cuatro de ellas, son nativas que posiblemente ya se encontraban antes de la creación de los parques y plazas públicas, y cuyo espacio requerido para su desarrollo no se respetó.

Los factores biológicos, ambientales y sociales evaluados explican, de forma significativa, la asociación del daño a la infraestructura, destaca el tamaño de los individuos. Para disminuir el daño por parte de los árboles y palmas a la infraestructura, se recomienda seleccionar adecuadamente las especies por usar y, sobre todo, conocer sus atributos biológicos y requerimientos ecológicos para darles el espacio suficiente para su desarrollo.

Agradecimientos

A Joanna J. Suárez Torres, Abraham Reyes Juárez, José Ramón Robles Solís, Jorge Manuel López Huerta, Jeshael Medina González, Kevin Cambero Nava, Ivan Trejo Rosas y Cynthia Martínez por el apoyo en el censo de los árboles. Se agradece a Sarhai Rivas por la ayuda en la traducción al inglés del resumen. Sandra Quijas agradece al Programa del Desarrollo del Personal Docente (Prodep, Universidad de Guadalajara), por el financiamiento del proyecto NPTC-1355. Este trabajo forma parte del Cuerpo Académico Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (UDG-CA-940).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Tahamara Esquivel realizó elaboró y redactó el manuscrito; Sandra Quijas concibió la idea, revisó el manuscrito, realizó los análisis estadísticos y consiguió el financiamiento para el proyecto. Ambas autoras contribuyeron en el trabajo de campo, en la corrección y aprobación del manuscrito.



Referencias

Acosta H., C. F. 2013. Especies no aptas y con manejo especial para la arborización urbana de Montería, Colombia. *Revista Nodo* 15(8): 65-76.

<http://revistas.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/95/76>(10 de febrero de 2021).

Acuña, C., J. F. 1999. Influencia de la arborización en estructuras de Santa Fe de Bogotá. *Revista Ingeniería e Investigación* 43: 21-24.

Doi:10.15446/ing.investig.n43.21076.

Akmal, A., K. M. and N. Othman. 2012. Towards a better tomorrow: street trees and their values in urban areas. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 35: 267-274. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.02.088>.

Alani, A. M. and L. Lantini. 2020. Recent advances in tree root mapping and assessment using non-destructive testing methods: a focus on ground penetrating radar. *Surveys in Geophysics* 41: 605–646. Doi:<https://doi.org/10.1007/s10712-019-09548-6>.

Beltrán, M. L. 1979. Evaluación de daños producidos por árboles ornamentales en pavimentos de la zona norte de Bogotá. *Ingeniería e investigación* 46-57.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/34324/21557-73719-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=> (10 de febrero de 2021).

Benavides, M. H., R. M. López y J. H. Flores. 2004. Daños a banquetas por arbolado de alineación establecido en cepas en la Delegación Coyoacán, Distrito Federal. *Revista de Ciencias Forestales* 27(92):53-77.

<http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/902> (18 de marzo de 2021).

Bueno, A., E., J. Arechiga, P., T. Esquivel y S. Quijas. 2021. Importancia de *Tabebuia rosea* y *Roseodendron donnell-smithii* como generadoras de servicios ambientales en la zona urbana de Puerto Vallarta, Jalisco. México. *In: Claudio, G.,*

- E. L. y R. Novelo G. (eds.). Horizontes y perspectivas del paisaje. Academia Mexicana del Paisaje. Zapopan, Jal., México. pp. 125-146.
- Calaza, P. y M. Iglesias. 2016. El riesgo del arbolado urbano, contexto, concepto y evaluación. Ed. Mundiprensa. España. 523 p.
- Dobbs, C., F. Escobedo and W. C. Zipperer. 2011. A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and Urban Planning* 99(3-14): 196-206. Doi:10.1016/j.landurbplan.2010.11.004.
- Egas, E. C. A. 2017. Características biológicas del arbolado urbano para contribuir con nuevos criterios de selección de especies arbóreas. Tesis de maestría. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. Santiago, Chile. 76 p.
- Elmqvist, T., H. Setälä, S. N. Handel, S. V. der Ploeg, J. Aronson, J. N. Blignaut, E. Gómez-Baggethun, D. J. Nowak, J. Kronenberg and R. de Groot. 2015. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Environmental Sustainability* 14: 101-108. Doi:10.1016/j.cosust.2015.05.001.
- Escobedo, F. J., T. Kroeger and J. E. Wagner. 2011. Urban forests and pollution mitigation: analyzing ecosystem services and disservices. *Urban Environmental Pollution* 159: 2078-2087. Doi: 10.1016/j.envpol.2011.01.010.
- Esquivel, T., S. Quijas, A. Valencia-Mendoza, J. J. Suárez-Torres y U. S. Flores G. 2021. Árboles de Puerto Vallarta. Ed. Universidad de Guadalajara. Puerto Vallarta, Jal., México. 192 p.
- Giuliani, F., F. Autelitano., E. Degiovanni and A. Montepara. 2015. DEM modelling analysis of tree root growth in street pavements. *International Journal of Pavement Engineering* 18 (1):1-10. Doi: 10.1080/10298436.2015.1019495.
- Hammer, Ø., D. A. Harper and P. D. Ryan. 2001. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontología Electrónica* 4(1): 1-9. https://paleo.carleton.ca/2001_1/past/past.pdf. (10 de enero de 2021).

Hilbert, D. R., E. A. North, R. J. Hauer, A. K. Koeser, D. C. McLean, R. J. Northrop, M. Andreu and S. Parbs. 2020. Predicting trunk flare diameter to prevent tree damage to infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening* 49: 607–629. Doi: 10.1016/j.ufug.2020.126645.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2020. Censo de Población y Vivienda 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2020/Default.aspx> (15 de abril de 2021).

Jiang, B., Chang, C. Y. and Sullivan W. C. 2014. A dose of nature: Tree cover, stress reduction, and gender differences. *Landscape and Urban Planning* 132: 26-36. Doi: 10.1016/j.landurbplan.2014.08.005.

Lyytimäki, J. 2017. Disservices of urban trees. *In: Ferrini, F., C. C. Konijnendijk van den Bosch and A. Fini (Eds.). Routledge Handbook of Urban Forestry. Routledge, London and New York. pp: 164-176.*

Matheny, N. and J. Clark. 2009. Tree risk assessment: What we know (and what we don't know). *Arborist news* 18: 28-33.

<https://html5.dcatalog.com/?docid=aa5af41c-0bf4-4803-90d1-a2ca00a1e3b0&page=28> (5 de enero de 2021).

McPherson, E. G. 2000. Expenditures associated with conflicts between street tree root growth and hardscape in California. *Journal of Arboriculture* 26: 289– 297. https://www.fs.fed.us/psw/publications/mcpherson/psw_2000_mcpherson001.pdf (26 de junio de 2020).

Niemelä, J., S. R. Saarela, T. Soderman, L. Kopperoinen, V. Yli-Pelkonen, S. Vare and D. J. Kotze. 2010. Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study. *Biodiversity and Conservation* 19: 3225–3243. Doi: 10.1007/s10531-010-9888-8.

Olivero-Lora, S., E. Meléndez-Ackerman, L. Santiago., R. Santiago-Bartolomei and D. García-Montiel. 2019. Attitudes toward residential trees and awareness of tree

services and disservices in a tropical city. *Sustainability* 117: 2-21.

Doi:10.3390/su12010117.

Proust, M. 2008. JMP, Version 8 ed. Campus Drive, Cary, NC, USA.

https://www.jmp.com/es_mx/home.html (10 de enero de 2021).

Ramírez-Delgadillo, R. y F. G. Cupul-Magaña. 1999. Contribución al conocimiento de la flora de la Bahía de Banderas, Nayarit-Jalisco, México. *Ciencia ERGO-SUM, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva* 6: 135-146.

<https://www.redalyc.org/pdf/104/10401505.pdf> (15 de junio de 2020).

Rodríguez, L. C. y C. S. Ferro. 2014. La problemática del diseño con árboles en vías urbanas: "verde con respuntes negros". *Arquitectura y Urbanismo* 1(36): 5-24.

<https://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/322> (30 de agosto de 2020).

Román-Guillén, L. M., C. Orantes-García, C. U. del Carpio-Penagos, M. S. Sánchez-Cortés, M. L. Ballinas-Aquino y O. Ferrara S. 2019. Diagnóstico del arbolado de alineación de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Madera y Bosques* 25 (1):1-13. Doi: 10.21829/myb.2019.2511559.

Roman, L. A., T. M. Conway, T. S. Eisenman, A. K. Koeser, C. Ordóñez B., D. H. Locke, G. D. Jenerettem, J. Ostberg and J. Vogt. 2021. Beyond 'trees are good': Disservices, management costs, and tradeoffs in urban forestry. *Ambio* 50(3): 615-630. Doi: 10.1007/s13280-020-01396-8.

Secretaría de Marina (Semar). 2016. Datos generales de Puerto Vallarta, Secretaria de Marina, <http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioVallarta.pdf> (1 de febrero de 2021).

Tomao, A., L. Secodi, P. Coroba, D. Giuliarelli, V. Quatrini and M. Agrimi. 2015. Can composite indices explain multidimensionality of tree risk assessment? A case study in a historical monumental complex. *Urban Forestry & Urban Greening* 14: 456-465. Doi: 10.1016/j.ufug.2015.04.009.

Tovar, C. G. 2006. Manejo del arbolado urbano en Bogotá. Colombia Forestal 9(19): 187-205. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/3357/4867> (1 de septiembre de 2021).

Vargas-Garzón, B. y L. F. Molina-Prieto. 2010. Cinco árboles urbanos que causan daños severos en las ciudades. Facultad de Artes Universidad Antonio Nariño. Revista Nodo 9(5): 115-126. <http://revistas.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/43/35> (10 de agosto de 2020).



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