

11. Servicios ambientales de las especies arbóreas de Paseo Tabasco y el parque La Pólvara en la ciudad de Villahermosa, Tabasco



LUCÍA SANAPHRE VILLANUEVA*

CANDELARIO PERALTA CARRETA**

OFELIA CASTILLO ACOSTA***

FRANCISCO JAVIER ÁLVAREZ SÁNCHEZ****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.319.11>

Resumen

En la ciudad de Villahermosa, Tabasco, se evaluaron los servicios ecosistémicos del arbolado en el parque La Pólvara y la avenida Paseo Tabasco, con el objetivo de generar información para su protección, cuidado y para la toma de decisiones de una manera informada. Para ello, se utilizó el programa i-Tree Eco, desarrollado por el Servicio Forestal de EE.UU. Se registraron 1559 árboles de 55 especies, con una cobertura promedio del 63 %. El 62 % de los árboles se ubicaron en el parque La Pólvara, y 38 % en Paseo Tabasco. Las especies más abundantes fueron el macuilis (*Tabebuia rosea*) con 42.61 % de los individuos, y la palma real (*Roystonea regia*) con el 11.57 %. Del total de especies registradas, 32 tienen potencial de aprovechamiento, principalmente de frutos, hojas, semillas y flores. Los árboles del parque La Pólvara almacenan aproximadamente 374.25 t de carbono en sus

* Doctora en Ciencias. Investigadora por México SECIHTI adscrita a la Universidad Autónoma de Querétaro, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5566-7230>

** Maestro en Ciencias Ambientales. Técnico académico en el Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A.C., México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5747-9791>

*** Doctora en Ciencias (Botánica). Profesora-investigadora de tiempo completo en la División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8005-728X>

**** Doctor en Ciencias. Director general del Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A.C. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0115-9841>

tejidos leñosos (con un valor de \$1,380,108.98 pesos), y secuestran cada año con su crecimiento 25.52 t (\$94,116.75); producen además 68.1 t/año de O₂ y evitan el escurrimiento de 941.43 m³ de agua de lluvia al año (que evita gastos por \$42,278.89). Los árboles de Paseo Tabasco almacenan 225.54 t de carbono (\$831,703.25), secuestran 15.99 t de carbono/año (\$58,982.56), producen 42.7 t/año de O₂ y evitan el escurrimiento de 470.01 m³ de agua/año (\$21,107.85). Considerando la importancia del arbolado urbano por los múltiples beneficios que ofrecen a la población, es necesaria la concientización de los tomadores de decisiones y de los pobladores en general, para su conservación y mantenimiento dentro del área urbana y fuera de ella.

Palabras clave: *almacenamiento de carbono, oxígeno, área foliar, provisión, regulación, soporte, cultura, usos.*

Introducción

La degradación de la naturaleza avanza a un ritmo alarmante, amenazando la biodiversidad y los ecosistemas esenciales para la vida en la Tierra. Tanto la creciente pérdida de la biodiversidad (Butchart et al., 2010; Reddy et al., 2016; Maxwell et al., 2016; Brashares y Gaynor, 2017; Pacheco et al., 2021), como el drástico incremento del dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera a partir de la era industrial (Core Writing Team IPCC et al., 2014) han superado límites planetarios (Clavel et al., 2011; Cardinae et al., 2012; Bowler, 2021). Esto implica una incertidumbre respecto a las consecuencias a mediano y largo plazo de estos cambios inducidos por el hombre, poniendo en riesgo la estabilidad y resiliencia social y ecológica (Rockström et al., 2009).

Esta situación exige la toma de acciones no solo en ambientes naturales, sino también en los ambientes urbanos, en los que para el año 2018 vivía el 55 % de la población mundial (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019). Aunque las áreas urbanas representan una pequeña porción de la superficie terrestre, concentran altas densidades poblacionales, con la consecuente producción de desechos, contaminantes de aire, agua y suelo, y las más altas emisiones de carbono. Debido a que todo esto tiene consecuencias negativas para su población, los ecosistemas asociados co-

bran una especial importancia para armonizar las relaciones humanas con la naturaleza (Luederitz et al., 2015). Una adecuada planeación urbana requiere que tanto los tomadores de decisiones, como la población en general, conozcan el valor del arbolado y ecosistemas urbanos y periurbanos, y de los efectos directos e indirectos que tienen en su bienestar. Una herramienta valiosa para este fin es cuantificar los servicios ecosistémicos que proveen. Estos se definen como los beneficios que obtenemos de manera directa o indirecta de la naturaleza, y que se clasifican en cuatro tipos: culturales, de regulación, de aprovisionamiento y de sostenimiento (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Servicios culturales

Estos son los servicios intangibles, es decir, beneficios reales pero no físicos de los ecosistemas (Balvanera et al., 2017). Los parques y el arbolado urbano proveen una gran diversidad de este tipo de servicios, que pueden clasificarse en tres tipos: (1) beneficios físicos, como el acondicionamiento derivado del ejercicio, lo que genera mayor energía; la estimulación de la mente y los sentidos, y mejorar el desempeño cognitivo; (2) beneficios psicológicos, pues la naturaleza tiene efectos antidepresivos y recreativos; favorece la relajación, el bienestar y la liberación del estrés, y (3) beneficios sociales, pues estimulan la convivencia entre personas, incrementan el sentimiento de pertenencia e identidad social, reducen el aislamiento social, e incrementan el sentido de responsabilidad debido a los lazos que se establecen con la naturaleza (Roloff, 2015).

Servicios de regulación

Son los beneficios que se derivan de los procesos ecosistémicos y que modulan las condiciones que experimentamos, como el clima, la fertilidad del suelo o las inundaciones (Balvanera et al., 2017). Los servicios de regulación urbano se relacionan de forma principal con el aire, el agua y el suelo.

Por lo que respecta al aire, el arbolado urbano es clave, pues en su follaje se depositan contaminantes emitidos tanto por los vehículos como por fuentes

fijas asociadas a la generación de productos y servicios. También atrapan partículas suspendidas, en especial las micropartículas (por ejemplo, PM_{10}) que tienen profundos efectos negativos en la salud. De esta forma, contribuyen de manera directa a mejorar la calidad del aire (Nowak, 1994).

Por lo que respecta al agua, la vegetación atrapa sedimentos y absorbe nutrientes disueltos que provienen de fuentes contaminantes, como fertilizantes agrícolas, mejorando su calidad (Singh et al., 2023). Además, al oponer resistencia al movimiento del agua y del viento, minimizan los daños a la infraestructura causados por inundaciones (Berland et al., 2017). En cuanto al suelo, el sistema radicular y la producción de materia orgánica de la vegetación lo enriquece, le da textura, incrementa su capacidad de retención e infiltración del agua, y disminuye su susceptibilidad a erosionarse (Hao et al., 2021).

Otro servicio del arbolado urbano de gran importancia es la regulación de la temperatura. Las superficies urbanas suelen ser de ladrillo, láminas, asfalto, cemento o concreto, materiales que tienen gran capacidad de almacenar e irradiar calor. Dentro de las ciudades, en las áreas donde este tipo de materiales predomina, la temperatura puede incrementarse en varios grados, generando islas de calor que incrementan el malestar o incomodidad, y que pueden tener efectos adversos en la salud (Sun et al., 2024). Los árboles minimizan estos efectos al transformar la energía radiante del sol en energía química, removiendo así parte de la energía solar que de otra forma se convertiría en calor (Cherif et al., 2024).

Servicios de aprovisionamiento

Estos se refieren a los bienes de los ecosistemas que pueden ser extraídos y consumidos (Balvanera et al., 2017), como alimentos, materias primas para la construcción, materiales para juguetes y herramientas, medicinas y forraje.

Servicios de sostenimiento

Son los procesos fundamentales, a través de los cuales se producen el resto de los servicios (Balvanera et al., 2017). La fotosíntesis es uno de los

servicios más importantes porque influye en los flujos de energía en el planeta. En este proceso, las plantas usan la energía del sol para transformar el agua y el CO_2 del aire en carbohidratos y todas las moléculas necesarias para construir sus tejidos; finalmente se genera oxígeno. Esto es importante porque el CO_2 es una molécula con alta capacidad de almacenamiento de calor, que contribuye al efecto invernadero. Los árboles almacenan grandes cantidades de carbono en su biomasa, removiéndolo de la atmósfera, y acumulándolo en el suelo mediante aportaciones aéreas (hojarasca, ramas y tallo) y subterráneas (raíces y exudados) (Livesley et al., 2016). Cuando los árboles son eliminados o mueren naturalmente, la biomasa se degrada, transformando la materia orgánica y liberando nuevamente el carbono como CO_2 .

Los árboles participan también en el ciclaje de nutrientes como el nitrógeno, fósforo, carbono etc., porque remueven estos nutrientes del suelo para sus procesos metabólicos, y se reincorporan nuevamente al suelo cuando los tejidos muertos se descomponen (madera, raíces, hojarasca) (Livesley et al., 2016). Adicionalmente, numerosas especies de árboles de la familia de las leguminosas forman en sus raíces nódulos con bacterias, que permiten transformar el nitrógeno disuelto en el aire en una forma de nitrógeno disponible para las plantas en el suelo, incrementando así su fertilidad (Adams et al., 2016).

Dada la amplia gama de beneficios que provee el arbolado y los ecosistemas urbanos y periurbanos, el objetivo de este trabajo fue cuantificar los servicios que brinda el arbolado urbano a la población de la ciudad de Villahermosa, Tabasco. Para ello, se elaboró un censo de los individuos en la avenida Paseo Tabasco y en el Parque la Pólvora, para determinar su composición y estructura, e identificar algunos de sus servicios ambientales, generando así información para su protección y cuidado, y para la toma de decisiones.

Métodos

Se realizaron inventarios de los árboles y palmeras del parque La Pólvora y a lo largo de la avenida Paseo Tabasco, en Villahermosa, Tabasco, durante los meses de mayo a octubre de 2023. Se midieron todos los individuos con

un diámetro a la altura del pecho (1.3 m desde el suelo) ≥ 10 cm. Para cada uno, se registró el sitio, las coordenadas, la especie y las siguientes variables: altura total y altura de la parte viva del árbol, altura del tronco hasta el inicio de la copa, ancho y alto de la copa, diámetro a la altura del pecho, porcentaje muerto de la copa y exposición solar de la copa. Para ello, se utilizaron una cinta diamétrica y un telémetro láser TruPulse Laser Rangefinder 360R. Los datos se analizaron en el programa i-Tree Eco v. 6.1.51. La descripción metodológica de las mediciones en campo, de los análisis estructurales, y de la obtención de los servicios ambientales, pueden encontrarse en Nowak (2021). Debido a que algunas determinaciones se hacen por hectárea, se definió para el parque La Pólvora una superficie de 12.4 hectáreas, y para la avenida Paseo Tabasco una superficie de 7.2 hectáreas (que se obtuvo multiplicando una longitud aproximada de 4.5 km por 16 metros de ancho en promedio). A partir de estos análisis, se obtuvieron las siguientes estimaciones: área foliar, biomasa foliar, Valor de Importancia Relativo (VIR, que calcula la suma del porcentaje de la población y porcentaje del área foliar); fijación y secuestro de carbono, agua de lluvia interceptada, escurrimiento evitado, producción de oxígeno, y materias primas que pueden derivarse de los árboles. También se obtuvieron los beneficios económicos del secuestro de carbono y escurrimiento evitado con un tipo de cambio de 17.21427 pesos por dólar.

Resultados

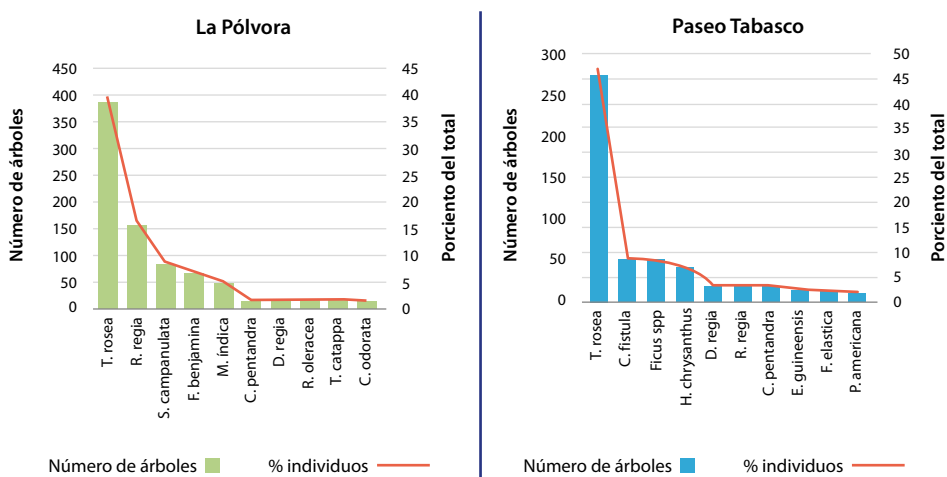
Estructura y composición de la vegetación arbórea

Se registraron un total de 1 556 individuos, con una cobertura promedio del 63 %. Los individuos pertenecen a 51 especies identificadas y cuatro especies de *Ficus* aún pendientes de identificar, que se analizaron juntas a nivel de género (tabla 11.1). Considerando el total de individuos en los dos sitios, la especie más abundante fue el macuilís (*Tabebuia rosea*) con 42.61 % de los individuos, y la palma real (*Roystonea regia*) con el 11.57 %. El resto de las especies representaron el 6 % o menos de los individuos registrados.

En el parque la Pólvara se encontraron 41 especies que pertenecen a 17 familias botánicas; el 49.7 % de los individuos pertenecen a la familia Bignoniaceae, y el 20.9 % a la familia Arecaceae (tabla 11.1). De las 41 especies, el 79 % son nativas de Norteamérica, y el restante 21 % provienen de África, Asia, Oceanía y Sudamérica. En Paseo Tabasco se registraron 36 especies pertenecientes a 19 familias botánicas; el 55.6 % de los individuos corresponden a la familia Bignoniaceae, el 12.5 % a la familia Fabaceae y el 12 % a la familia Moraceae. De las especies registradas en esta avenida, 60.3 % son nativas de Norteamérica y el resto de África, Asia, Oceanía y Sudamérica.

La gráfica 11.1 muestra las 10 especies más abundantes en cada sitio. En la Pólvara sobresale sobre todo el macuilis, que representa el 40 % del arbolado, y la palma real con el 17 %. El resto de las especies representan menos del 10 % del total. En Paseo Tabasco también el macuilis es la especie más dominante con un 47 %, y el resto de las especies comprenden menos del 10 % de la abundancia.

Gráfica 11.1. Número de individuos en las especies más abundantes en cada sitio y el porcentaje que representan del total. En Paseo Tabasco, *Ficus spp.* comprende individuos de varias especies de ficus aún en proceso de identificación



Fuente: elaboración propia.

Tabla 11.1. Número de individuos de cada especie registrados por sitio

Familia	Especie	La Pólvera	Paseo Tabasco
Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i>	4	
	<i>Mangifera indica</i>	49	2
Arecaceae	<i>Adonidia merrillii</i>	11	5
	<i>Bactris guineensis</i>	3	
	<i>Cocos nucifera</i>	2	2
	<i>Elaeis guineensis</i>		14
	<i>Phoenix dactylifera</i>		2
	<i>Roystonea oleracea</i>	18	20
	<i>Roystonea regia</i>	160	
	<i>Sabal mexicana</i>	1	7
Bignoniaceae	<i>Sabal sp</i>	7	
	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	8	43
	<i>Spathodea campanulata</i>	86	8
	<i>Tabebuia rosea</i>	386	277
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i>	2	8
Casuarinaceae	<i>Casuarina equisetifolia</i>		1
Combretaceae	<i>Terminalia catappa</i>	18	6
Fabaceae	<i>Cassia fistula</i>	3	51
	<i>Delonix regia</i>	19	20
	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	1	
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	4	1
	<i>Gliricidia sepium</i>	1	
	<i>Lysiloma sp</i>		1
	<i>Piscidia piscipula</i>	1	
	<i>Pithecellobium dulce</i>	3	
	<i>Samanea saman</i>	8	
	<i>Tamarindus indica</i>	5	1
Lamiaceae	<i>Vitex sp</i>		3
Lauraceae	<i>Cinnamomum verum</i>	2	
	<i>Persea americana</i>	8	10
	<i>Persea sp</i>	1	
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i>	14	1
Malvaceae	<i>Ceiba pentandra</i>	19	19
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	2	1
	<i>Sterculia apetala</i>		1
Meliaceae	<i>Azadirachta indica</i>		1
	<i>Cedrela odorata</i>	15	3
	<i>Swietenia macrophylla</i>	7	1
Moraceae	<i>Ficus benjamina</i>	68	8
	<i>Ficus elástica</i>		12
	<i>Ficus spp</i>	5	51
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	4	1

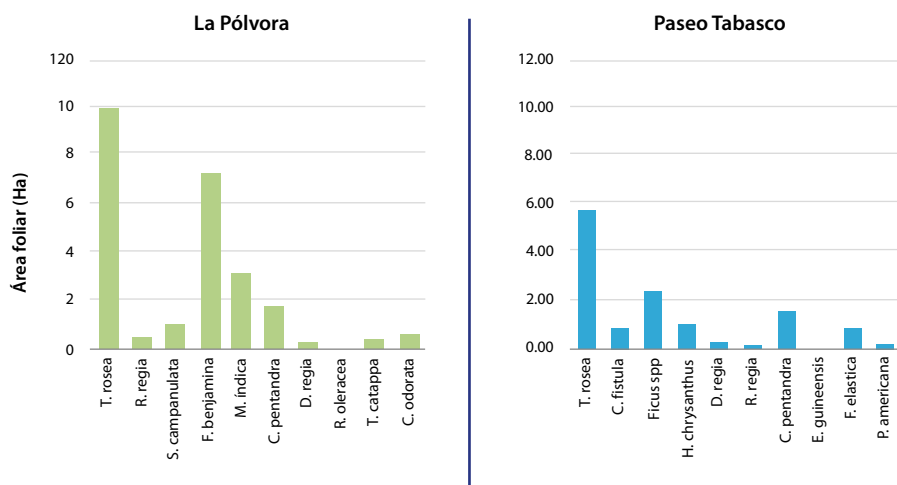
Nyctaginaceae	<i>Bougainvillea glabra</i>	1
Polygonaceae	<i>Coccoloba sp</i>	1
Rubiaceae	<i>Genipa americana</i>	1
Rutaceae	<i>Citrus aurantium</i>	4
	<i>Citrus limon</i>	4
Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i>	1
Sapindaceae	<i>Melicoccus bijugatus</i>	2
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum cainito</i>	2
	<i>Manilkara zapota</i>	2
Strelitziaceae	<i>Ravenala madagascariensis</i>	6
		4

Fuente: elaboración propia.

Área foliar y biomasa foliar

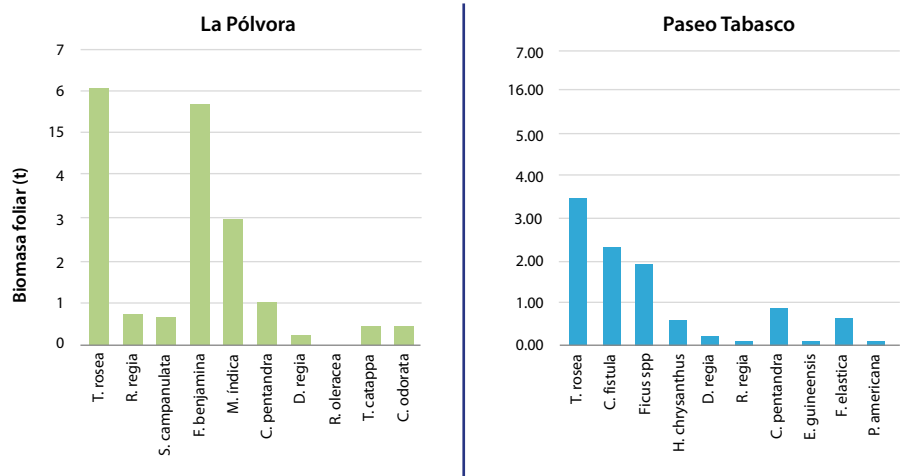
Los valores más altos de área foliar (gráfica 11.2) fueron del macuilís (*T. rosea*) y las especies de *Ficus*. Lo mismo ocurrió con la biomasa foliar (gráfica 11.3), aunque también tuvieron valores altos algunas otras especies como el mango (*Mangifera indica*) en La Pólvora o la lluvia de oro (*Cassia fistula*) en Paseo Tabasco.

Gráfica 11.2. Área foliar (Ha) de las especies más abundantes en cada sitio



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 11.3. *Biomasa foliar (t) de las especies más abundantes en cada sitio*

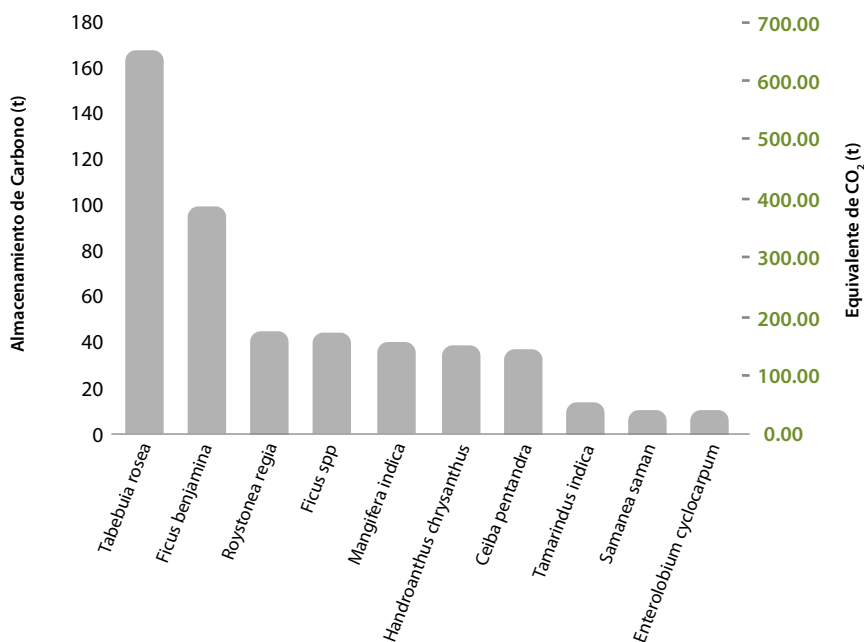


Fuente: elaboración propia.

Fijación y secuestro de carbono

El almacenamiento de carbono es la cantidad de carbono capturada en el tronco y las raíces. En el parque La Pólvera, con el mayor número de árboles entre los que se incluyen los de mayor talla, el carbono almacenado fue de 374.25 t, mientras que en la avenida Paseo Tabasco fue de 225.54 t. Las especies que más contribuyen al almacenamiento de carbono (gráfica 11.4) son el macuilís y el *Ficus benjamina*.

Gráfica 11.4. Almacenamiento de carbono en los tejidos de las especies más abundantes de ambos sitios (Paseo Tabasco y parque La Pólvara) y su equivalente en CO₂



Fuente: elaboración propia.

Efectos hidrológicos

El escurrimiento total evitado en ambos sitios se estimó en 1,411.44 m₃/año. Los beneficios hidrológicos de forma separada para el arbolado en el parque La Pólvara y en Paseo Tabasco se muestran en la tabla 11.2. El impacto económico que se muestra se relaciona con el dinero no gastado en infraestructura necesaria para el desalojo y control del agua pluvial y el manejo de la contaminación que produce su arrastre hasta lagunas y el mar. Los cálculos muestran una reducción de costos para el año 2021 de \$63,386.74 pesos. Las especies que brindan mayores servicios hidrológicos son las que tienen el área foliar mayor y más número de individuos, como el macuilis y el *Ficus benjamina* (tabla 11.3).

Tabla 11.2. Efectos hidrológicos totales del arbolado urbano para cada sitio

Variables	Unidad	La Pólvora	Paseo Tabasco	Total
Número de árboles	individuos	966	590	1,556
Área foliar	(ha)	29.94	14.95	44.89
Posible evapotranspiración	(m³/año)	42,993.94	21,464.85	64,458.79
Evaporación de la superficie de las hojas	(m³/año)	4,488	2,240.64	6,728.64
Transpiración	(m³/año)	22,081.28	11,024.14	33,105.42
Agua interceptada	(m³/año)	4,488	2,240.64	6,728.64
Escurrimiento evitado	(m³/año)	941.43	470.01	1,411.44
Valor del escurrimiento evitado	(Mex\$/año)	\$42,278.89	\$21,107.85	\$63,386.74

El valor del escurrimiento evitado se calcula por el precio Mex\$44.909/m³. La estación meteorológica de Villahermosa reportó 63.9 centímetros de la precipitación anual total. Eco siempre utiliza las mediciones por hora que tengan la mayor cantidad de lluvia total o la lluvia enviada por el usuario, si la hubiera.

Fuente: elaboración propia.

Producción de oxígeno

La cantidad de oxígeno producido en La Pólvora fue de 5,488.60 kg/año/ha (es decir, un total de 68,058.64 kg/año) y en Paseo Tabasco de 5,923.90 kg/año/ha (es decir, un total de 42,652.08 kg/año).

Materias primas

De las especies analizadas en los dos sitios, existen aprovechamientos reportados en la literatura científica para 32 de ellas. En la mayoría de estos casos se aprovechan los frutos, las hojas, las semillas y las flores (gráfica 11.5). La nuez de la india (*Anacardium occidentale*) y la palma datilera (*Phoenix dactylifera*) fueron las especies con el mayor número de usos reportados, cinco, seguidos por la lluvia de oro (*C. fistula*), la ceiba (*Ceiba pentandra*), la palma de aceite (*Elaeis guineensis*), el zapote (*Manilkara zapota*) y el tamarindo (*Tamarindus indica*), con cuatro.

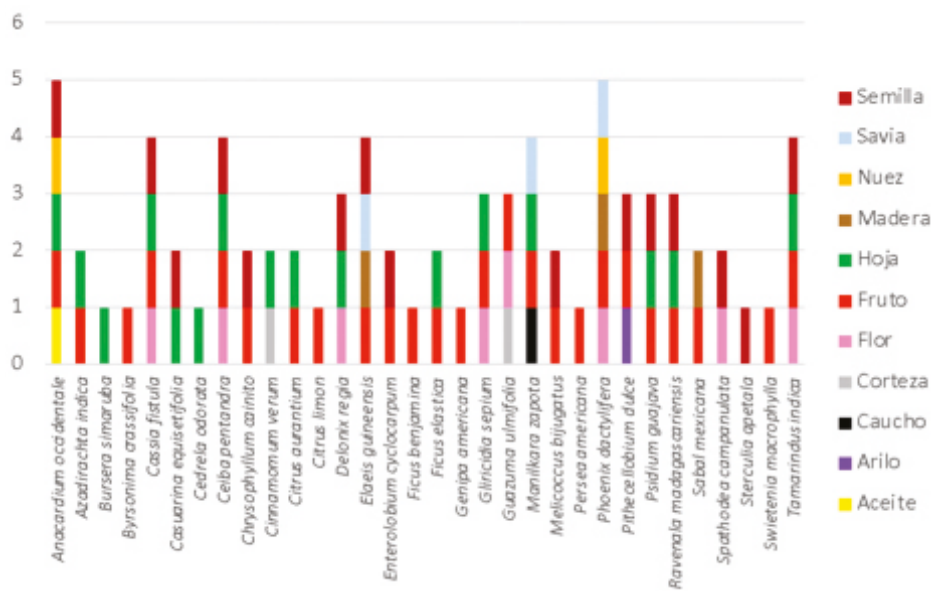
Tabla 11.3. Efectos hidrológicos por especie, considerando la suma de los individuos de Paseo Tabasco y parque La Pólvara

Nombre de la especie	Número de árboles	Área foliar (ha)	Posible evapotranspiración (m³/año)	Evaporación (m³/año)	Transpiración (m³/año)	Agua interceptada (m³/año)	Escorrento evitado (m³/año)	Valor del escurrimiento evitado (Mex\$/año)
<i>Tabebuia rosea</i>	663	15.76	22623.85	2361.63	11619.40	2361.63	495.39	22247.58
<i>Roystonea regia</i>	180	0.56	809.89	84.54	415.95	84.54	17.73	796.42
<i>Spathodea campanulata</i>	94	1.46	2094.15	218.60	1075.53	218.60	45.86	2059.32
<i>Ficus benjamina</i>	76	7.42	10656.57	1112.40	5473.11	1112.40	233.34	10479.33
<i>Cassia fistula</i>	54	1.00	1432.67	149.55	735.81	149.55	31.37	1408.85
<i>Mangifera indica</i>	51	3.14	4512.32	471.03	2317.48	471.03	98.81	4437.27
<i>Handroanthus chrysanthus</i>	51	1.28	1844.13	192.50	947.13	192.50	40.38	1813.46
<i>Delonix regia</i>	39	0.67	958.59	100.06	492.32	100.06	20.99	942.65
<i>Ceiba pentandra</i>	38	3.47	4987.35	520.61	2561.46	520.61	109.21	4904.40
<i>Terminalia catappa</i>	24	0.58	826.67	86.29	424.57	86.29	18.10	812.92
<i>Cedrela odorata</i>	18	0.72	1032.49	107.78	530.28	107.78	22.61	1015.32
<i>Persea americana</i>	18	0.62	888.28	92.72	456.21	92.72	19.45	873.51
<i>Roystonea oleracea</i>	18	0.01	12.18	1.27	6.26	1.27	0.27	11.98
<i>Adonidia merrillii</i>	16	0.01	21.28	2.22	10.93	2.22	0.47	20.92
<i>Byrsonima crassifolia</i>	15	0.49	704.55	73.55	361.85	73.55	15.43	692.83
<i>Elaeis guineensis</i>	14	0.06	79.26	8.27	40.71	8.27	1.74	77.94
<i>Ficus elástica</i>	12	0.89	1276.31	133.23	655.50	133.23	27.95	1255.08
<i>Bursera simaruba</i>	10	0.35	501.06	52.30	257.34	52.30	10.97	492.72
<i>Ravenala madagascariensis</i>	10	0.02	31.49	3.29	16.17	3.29	0.69	30.96

Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, estos usos son potenciales, por lo que pueden existir otras especies y productos que se aprovechan en la actualidad y que no han sido incluidas en esta lista, que pueden ser de gran relevancia para los tabasqueños.

Gráfica 11.5. Especies para las que se ha reportado algún uso

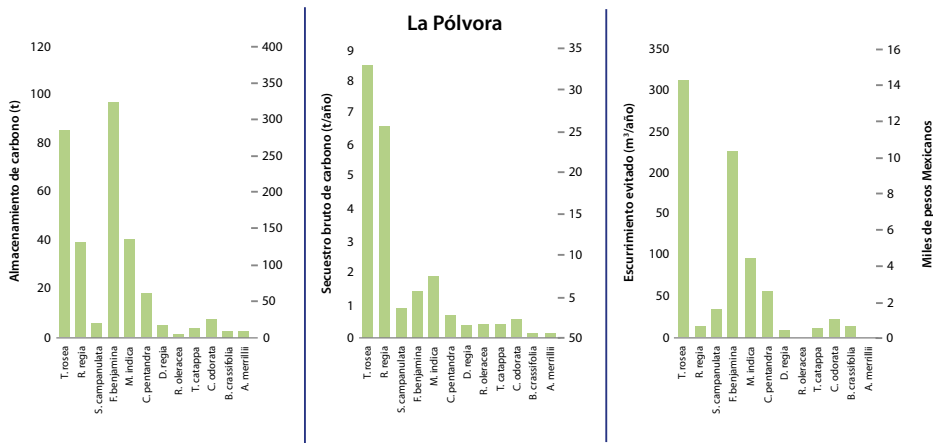


Nota: Es posible que localmente se den usos adicionales, y que las especies no incluidas también sean aprovechadas.
Fuente: elaboración propia.

Beneficios económicos de los servicios ambientales

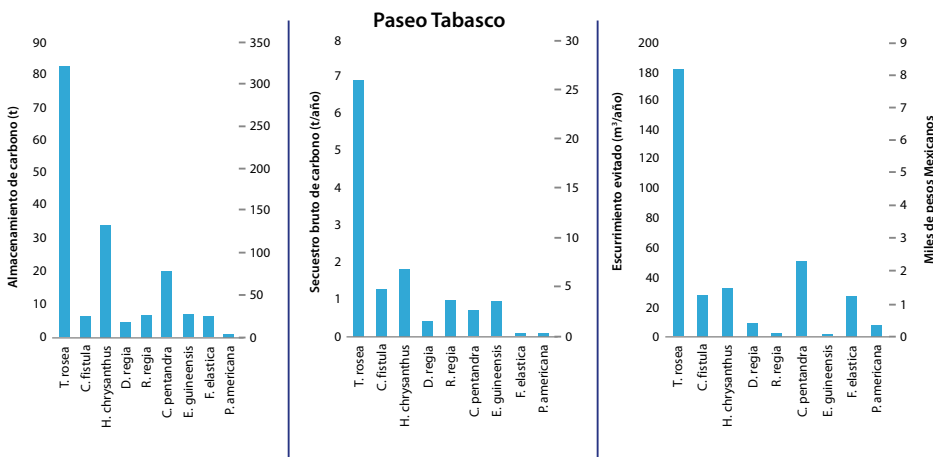
Los beneficios económicos derivados de los servicios ecosistémicos en cada sitio para las especies más abundantes se observan en las gráficas 11.6 y 11.7. En total, el secuestro bruto de carbono tuvo un valor de \$153,099.31 pesos mexicanos (\$98.39/árbol), y el escurrimiento evitado de \$63,386.74 (\$40.74/árbol).

Gráfica 11.6. Beneficios proporcionados por los árboles del parque La Pólvera.
Cada gráfica tiene dos ejes verticales: en el lado izquierdo se muestra el servicio ambiental, y en el derecho el beneficio en miles de pesos mexicanos. Se muestran únicamente las especies con al menos 10 individuos



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 11.7. Beneficios proporcionados por los árboles de Paseo Tabasco.
Cada gráfica tiene dos ejes verticales: en el lado izquierdo se muestra el servicio ambiental, y en el derecho el beneficio en miles de pesos mexicanos. Se muestran únicamente las especies con al menos 10 individuos



Fuente: elaboración propia.

Discusión

El valor que tiene el arbolado urbano solo puede ser entendido a través del conocimiento de su riqueza, diversidad, estructura y función, y de la cuantificación de sus servicios ecosistémicos. Por ello, para tener una aproximación de este valor en la ciudad de Villahermosa, Tabasco, se evaluó el arbolado presente en el parque La Pólvara y a lo largo de la avenida Paseo Tabasco.

Riqueza de especies

En los dos sitios analizados se encontraron 55 especies en total. Considerando únicamente el parque La Pólvara, el número de especies se reduce a 41, distribuidas en 6.85 ha de superficie terrestre (la superficie es de 12.4 ha si se incluyen las lagunas), lo que equivale a seis especies/ha. Este número es bajo en comparación con otras ciudades de clima tropical o subtropical. Por ejemplo, en Oaxaca, en 26 parques con una superficie total de 13.3 ha, se registraron 115 especies, que equivalen a 8.6 especies/ha (de la Concha, 2022), y en el Parque La Ceiba de Quintana Roo, con una superficie de una ha, se registraron 79 especies (de la Concha et al., 2017). La riqueza de especies en La Pólvara es más similar a la registrada en parques de una ciudad con un clima templado como León, Guanajuato, donde se registraron 104 especies en varios parques con una superficie total de 19.47 ha, lo que equivale a cinco especies/ha (de la Concha, 2020).

Esto sugiere que, a pesar del clima tropical de Tabasco, y a que en ecosistemas naturales de la región existe una alta diversidad de especies arbóreas (por ejemplo la reserva Yu-balcah, en Tacotalpa; Maldonado-Sánchez et al., 2016), el parque La Pólvara tiene un número muy reducido de especies en relación a las que podría tener. En los resultados se observa que existe una marcada preferencia por el macuilís (*Tabebuia rosea*) sobre cualquier otra especie. Sin embargo, sería deseable incrementar la diversidad en el parque La Pólvara, priorizando árboles sobre palmeras, que aportan una mayor provisión de servicios ambientales (lo que se puede observar

en los resultados por especie), y utilizando una mayor variedad de otras especies nativas.

Favorecer una alta diversidad en la vegetación urbana es fundamental. Desde hace décadas se han observado los efectos nocivos que tiene una baja diversidad de especies en la salud de una cubierta vegetal. Por ejemplo, se han descrito casos en los que una plaga puede eliminar la vegetación de un parque cuando predomina una especie de árbol susceptible (Owen, 1975). Además, el uso de especies exóticas tampoco es recomendable, pues a menudo se caracterizan por un alto vigor, gran habilidad de adaptarse, alta capacidad de reproducción y falta general de enemigos naturales, por lo que tienen el potencial de ser muy competitivas y desplazar a las especies nativas (McKinney, 2006). En cambio, una alta diversidad de la vegetación urbana provee de una mayor diversidad de servicios ambientales, y tiene la capacidad de amortiguar eventos desfavorables como plagas, enfermedades o eventos hidrometeorológicos extremos, pues las especies tienen diferentes capacidades de responder a ellos (McKinney, 2006). Esto se debe a que los factores que pueden causar un daño severo a una especie pueden tener un efecto limitado sobre otras, lo que incrementa la resiliencia y favorece el mantenimiento en el largo plazo de la cobertura arbórea de la ciudad.

Los servicios ecosistémicos dependen de las características de las especies

La contribución de cada especie en la generación de servicios ecosistémicos no solo depende del número de individuos presentes, sino también de su morfología, fisiología, tamaño y arquitectura. Por ejemplo, el macuilís, la especie más abundante en ambos sitios (42.6 % del total de árboles registrados), fue la más importante almacenando carbono (gráfica 11.4). Sin embargo, el *Ficus benjamina* fue la segunda especie que más carbono almacenó en sus tejidos, aunque representa solo el 4.9 % del total de los individuos registrados. En Paseo Tabasco, el guayacán representó solo el 7 % de los individuos registrados, pero almacenó el 15 % del carbono total, y retuvo el 11 % del carbono secuestrado. La Ceiba solo representó el 3 % de los individuos en la avenida, pero almacenó el 9 % del carbono total.

Esto demuestra que, para incrementar los servicios ecosistémicos en el ámbito urbano, deben considerarse ciertas características de las especies para su selección (Liang y Huang, 2023). Por ejemplo, las plantas leñosas de gran porte minimizan la erosión del suelo al evitar el golpe directo del agua de lluvia sobre éste gracias a su follaje. También lo hacen incrementando los aportes de materia orgánica con ramas y hojarasca, que además de representar obstáculos físicos para el desprendimiento y arrastre del suelo, le da una mejor estructura e incrementa su permeabilidad (Burylo et al., 2012). Por ende, las características de la copa y de las hojas, así como la altura del árbol, pueden ser características clave para una selección de especies enfocada en minimizar la erosión (Liang y Huang, 2023). Si el interés es el almacenamiento y secuestro de carbono, sería deseable seleccionar especies con una mayor densidad de madera y alto contenido seco de las hojas, y con una alta densidad del follaje, características asociadas a una larga durabilidad de los tejidos y baja descomponibilidad, lo que hace que el carbono sea retenido por mucho tiempo en los tejidos y en el suelo (De Deyn et al., 2008). Si el interés es contribuir a la calidad del aire, el área foliar, el tamaño y grosor de la copa y la densidad del follaje serían características más importantes (Liang y Huang, 2023).

Sin embargo, además de los rasgos asociados a los servicios ambientales, es importante considerar otras características de las especies que pueden tener implicaciones económicas, como el daño que las raíces pueden causar en la infraestructura urbana (Shi et al., 2023). En el caso que nos ocupa, se registró que entre las especies más ampliamente utilizadas en la ciudad, se encuentran el framboyán, el tulipán africano, la ceiba y varias especies de ficus (sobresaliendo *Ficus elástica* y *Ficus benjamina*), las cuales pueden proporcionar una alta cantidad de servicios ambientales por las características de su follaje y acumulación de biomasa. Sin embargo, estas especies tienen raíces altamente invasivas, masivas y superficiales que pueden romper las banquetas y tuberías (Vargas-Garzón y Molina-Prieto, 2012). Por esta razón, aunque no son recomendables para avenidas y calles, es posible su uso en áreas extensas, como los parques urbanos.

Conclusiones

El arbolado urbano es de gran importancia no solo por su belleza estética y por su valor recreativo, sino también porque cumple con diversas funciones biológicas que resultan en la provisión de servicios ecosistémicos para la población. Cada especie de árbol provee de beneficios diferentes de acuerdo con sus características morfológicas, fisiológicas, de tamaño y arquitectura, por lo que las especies más adecuadas dependerán del lugar urbano de que se trate (camellón, banqueta, parque), y de los servicios ecosistémicos que se deseen maximizar.

Es importante promover una alta diversidad de especies nativas en las ciudades, ya que esto no solo incrementa la resiliencia del arbolado urbano, sino que también contribuye a la protección de la biodiversidad. A pesar de que el mantenimiento del arbolado urbano tiene un costo económico, éste es compensado por los beneficios económicos que proveen, y por los servicios de soporte, regulación, provisión y culturales que brindan a la población.

Referencias

- Adams, M. A., Turnbull, T. L., Sprent, J. I., y Buchmann, N. (2016). Legumes are different: Leaf nitrogen, photosynthesis, and water use efficiency. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(15), 4098–4103. <https://doi.org/10.1073/pnas.1523936113>
- Balvanera, P., Quijas, S., Karp, D. S., Ash, N., Bennett, E. M., Boumans, R., Brown, C., Chan, K. M. A., Chaplin-Kramer, R., Halpern, B. S., Honey-Rosés, J., Kim, C. K., Cramer, W., Martínez-Harms, M. J., Mooney, H., Mwampamba, T., Nel, J., Polasky, S., Reyers, B., y Walz, A. (2017). Ecosystem Services. En M. Walters y R. J. Scholes (Eds.), *The GEO Handbook on Biodiversity Observation Networks* (pp. 39-78). Springer International Publishing. http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-27288-7_3
- Berland, A., Shiflett, S. A., Shuster, W. D., Garmestani, A. S., Goddard, H. C., Herrmann, D. L., y Hopton, M. E. (2017). The role of trees in urban stormwater management. *Land-scape and Urban Planning*, 162, 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.017>
- Bowler, D. E. (2021). Complex causes of insect declines. *Nature Ecology & Evolution*, 5(10), 1334–1335. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01508-x>
- Brashares, J. S., y Gaynor, K. M. (2017). Eating ecosystems. *Science*, 356(6334), 136–137. <https://doi.org/10.1126/science.aan0499>

- Burylo, M., Rey, F., Bochet, E., y Dutoit, T. (2012). Plant functional traits and species ability for sediment retention during concentrated flow erosion. *Plant and Soil*, 353(1), 135–144. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1017-2>
- Butchart, S. H. M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J. P. W., Almond, R. E. A., Baillie, J. E. M., Bomhard, B., Brown, C., Bruno, J., Carpenter, K. E., Carr, G.M., Chanson, J., Chenery, A. M., Csirke, J., Davidson, N. C., Dentener, F., Foster, M., Galli, A., Watson, R. (2010). Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines. *Science*, 328(5982), 1164–1168. <https://doi.org/10.1126/science.1187512>
- Cardinae, B. J., Emmett Duffy, J., Kinzig, A.P., Daily, G. C., Loreau, M., Grace, J. B., Larigauderie, A., Srivastava, D. S., Naeem, S., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G. M., Tilman, D., y Wardle, D. A. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity: RIO+20 - Second Chance for the Planet. *Nature*, 486(7401), 59–67.
- Cherif, N., Lasram, A., Lopes, H. S., y Silva, L. (2024). The extent of the impact of green spaces on urban heat islands: a meta-analysis of research using remote sensing between 2010 and 2023. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4534390/v1>
- Clavel, J., Julliard, R., y Devictor, V. (2011). Worldwide decline of specialist species: Toward a global functional homogenization? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(4), 222–228. <https://doi.org/10.1890/080216>
- Core Writing Team IPCC, Pachauri, R. K., y Meyer, L. A. (Eds.). (2014). IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.
- De Deyn, G. B., Cornelissen, J. H. C., y Bardgett, R. D. (2008). Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. *Ecology Letters*, 11(5), 516–531. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01164.x>
- De la Concha Dupret H. (2020). Inventario del arbolado urbano, León, Gto. Gobierno del Municipio de León y Agrinet Sa de CV. Guanajuato, México. 61 p.
- De la Concha H. (2022). *Plan para el manejo integral del arbolado urbano del municipio de Oaxaca de Juárez* (pp. 206). Oaxaca, México: Secretaría de Medio Ambiente y Cambio Climático del Municipio de Oaxaca de Juárez, y Agrinet SA de CV.
- De la Concha, H. (2016). *Inventario del arbolado urbano de la ciudad de Mérida* (pp. 62). Yucatán, México: Ayuntamiento de Mérida y Agrinet S. A. de C. V.
- De la Concha, H., Sánchez, E., y Pech, C. (2017). Resultados del censo del arbolado de Parque La Ceiba 2017 (pp. 91). Playa del Carmen, Quintana Roo, México.
- Hao, H., Qin, J., Sun, Z., Guo, Z., y Wang, J. (2021). Erosion-reducing effects of plant roots during concentrated flow under contrasting textured soils. *CATENA*, 203, 105378. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105378>
- Liang, D., y Huang, G. (2023). Influence of Urban Tree Traits on Their Ecosystem Services: A Literature Review. *Land*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/land12091699>
- Livesley, S. J., McPherson, E. G., y Calfapietra, C. (2016). The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 119–124. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567>

- Luederitz, C., Brink, E., Gralla, F., Hermelingmeier, V., Meyer, M., Niven, L., Panzer, L., Partelow, S., Rau, A.-L., Sasaki, R., Abson, D. J., Lang, D. J., Wamsler, C., y von Wehrden, H. (2015). A review of urban ecosystem services: Six key challenges for future research. *Ecosystem Services*, 14, 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.05.001>
- Maldonado-Sánchez, E. A., Ochoa-Gaona, S., Ramos-Reyes, R., Guadarrama-Olivera, M. de los Á., González-Valdivia, N., y de Jong, B. H. J. (2016). La selva inundable de canacoite en Tabasco, México, una comunidad vegetal amenazada. *Acta Botánica Mexicana*, 115, 75–101.
- Maxwell, S. L., Fuller, R. A., Brooks, T. M., y Watson, J. E. M. (2016). Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature*, 536(7615), 143–145. <https://doi.org/10.1038/536143a>
- McKinney, M. L. (2006). Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 127(3), 247–260. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island Press.
- Nowak, D. J. (2021). Understanding i-Tree: 2021 Summary of programs and methods (NRS-GTR-200-2021; p. NRS-GTR-200-2021). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-200-2021>
- Nowak, D. J. (1994). Air pollution removal by Chicago's urban forest. En E. G. McPherson, D. J. Nowak y R. A. Rowntree (Eds.), *Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project. Gen. Tech. Rep. NE-186* (63–81). Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station.
- Owen DF. (1975). Lessons from a Caterpillar Plague in London's Berkeley Square. *Environmental Conservation*, 2(3), 171–177.
- Pacheco, P., Mo, K., Dudley, N., Shapiro, A., Aguilar-Amuchastegui, N., Ling, P. Y., Anderson, C., y Marx, A. (2021). Deforestation Fronts. Drivers and responses in a changing world (p. 12). WWF.
- Reddy, C. S., Manaswini, G., Satish, K. V., Singh, S., Jha, C. S., y Dadhwal, V. K. (2016). Conservation priorities of forest ecosystems: Evaluation of deforestation and degradation hotspots using geospatial techniques. *Ecological Engineering*, 91, 333–342. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.03.007>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S.I., Lambin, E., Lenton, T., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P., Costanza, R., Svedin, U., y Foley, J. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2). <https://doi.org/10.5751/ES-03180-140232>
- Roloff A. (2015). Chapter 1: Urban trees- Importance, benefits, problems. En *Urban tree management for the sustainable development of green cities*. Roloff A., Ed. Wiley Blackwell.
- Shi, F., Meng, Q., Pan, L., y Wang, J. (2023). Root damage of street trees in urban environments: An overview of its hazards, causes, and prevention and control measures. *Science of The Total Environment*, 904, 166728. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166728>

- Singh, O., Kar, S. K., y Reddy, N. M. (2023). Impact of forestry interventions on ground-water recharge and sediment control in the ganga river basin. *Open Journal of Forestry*, 13(01), 13-31. <https://doi.org/10.4236/ojf.2023.131002>
- Sun, J. (2024). Uncovering the nexus between urban heat islands and material stocks of built environment in 335 chinese cities. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c04739>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2019). World Urbanization. Prospects 2018: Highlights (ST/ESA/SER.A/421).
- Vargas Garzón, B., y Molina Prieto, L. F. (2012). *Ficus benjamina* L. in the cities: High number of individuals, severe damages to infrastructure and expensive economic losses. Nodo: Arquitectura. Ciudad. *Medio Ambiente*, 7(13), 93–101.