RAU + TAYPI

Servicios ambientales del bosque urbano: pauta para optimizar las áreas verdes del TecNM Campus Colima.
Vázquez Arceo S. E., et al.
Revista de Arquitectura y Urbanismo Taypi Vol. 2, N° 3 / Pag. 24 – 37
Doi: 10.5281/zenodo.10607113

Recibido 10/05/2023
Aceptado 25/11/2023
Articulo Original

SERVICIOS AMBIENTALES DEL BOSQUE URBANO: PAUTA PARA OPTIMIZAR LAS ÁREAS VERDES DEL TECNM CAMPUS COLIMA.

ECOSYSTEM SERVICES OF URBAN FORESTS: PATTERN FOR OPTIMIZING GREEN AREAS OF THE TECNM CAMPUS. COLIMA.

Vázquez Arceo S. E.
Tecnológico Nacional de México Campus Colima, México.
https://orcid.org/0000-0001-6630-7978
sunashi.vazquez@gmail.com

Ramírez Rivera M. P.
Tecnológico Nacional de México Campus Colima, México.
https://orcid.org/0000-0001-9978-819X
pilar.ramirez@colima.tecnm.mx

Romero Márquez G. A.
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
https://orcid.org/0000-0003-1065-2005
gtvor6@gmail.com

Licón Portillo J.A.
Tecnológico Nacional de México Campus Chihuahua II, México.
https://orcid.org/0000-0003-2091-1103
jesus.lp@chihuahua2.tecnm.mx

Arceo Díaz S.
Tecnológico Nacional de México Campus Colima, México.
https://orcid.org/0000-0002-7085-3653
santiago.arceo@colima.tecnm.mx

Covarrubias Ruesga M. S. R.
Tecnológico Nacional de México Campus Colima, México.
https://orcid.org/0000-0001-9120-7098
maria.covarrubias@colima.tecnm.mx

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar los servicios ambientales de almacenamiento y secuestro bruto de carbono, así como la eliminación de la contaminación y emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) por parte del bosque urbano presente en el TecNM campus Colima (centro de educación superior y de posgrado) con el propósito de optimizar las áreas verdes de la universidad y guiar la toma de decisiones en su gestión. Se registraron un total de 628 ejemplares pertenecientes a 25 familias, 44 géneros y 53 especies. Entre las especies más comunes se encuentran la palma cocotera (Cocos nucifera), rosamorada (Tabebuia rosea) y neem (Azadirachta indica). Se determinó que la parota (Enterolobium cyclocarpum) almacena la mayor cantidad de carbono, seguida de cerca por la palma cocotera. Además, se identificó que esta especie, junto con el mango (Mangifera indica), son las principales fuentes de emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV). El estudio revela que el arbolado de origen nativo es responsable de la eliminación de aproximadamente el 77.54% de la contaminación, destacando especies como la guanábana (Annona muricata) y el fresno (Fraxinus uhdei) por su capacidad para no emitir COV. Los resultados obtenidos son relevantes para la selección de especies principalmente nativas en futuras arborizaciones y destacan la necesidad de promover la conservación y el manejo adecuado de los espacios verdes en áreas urbanas.

Palabras clave
Áreas verdes, bosque urbano, servicios ambientales y valoración.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the environmental services of gross carbon storage and sequestration, as well as the elimination of pollution and emission of volatile organic compounds (VOC) by the urban forest present in the TecNM campus Colima (higher education and graduate school) to optimize the green areas of the university and guide decision-making in their management. A total of 628 specimens belonging to 25 families, 44 genera, and 53 species were recorded. Among the most common species are the coconut palm (Cocos nucifera), rosamorada (Tabebuia rosea), and neem (Azadirachta indica). It was determined that the parota (Enterolobium cyclocarpum) stores the greatest amount of carbon, followed closely by the coconut palm. In addition, it was identified that this species, together with the mango (Mangifera indica), are the main sources of volatile organic compound (VOC) emissions. The study reveals that native trees are responsible for the elimination of approximately 77.54% of the contamination, with species such as soursop (Annona muricata) and ash (Fraxinus uhdei) standing out for their ability to not emit VOCs. The results obtained are relevant for the selection of mainly native species in future tree plantings and highlight the need to promote the conservation and adequate management of green spaces in urban areas.

Keywords
Environmental services and valuation, green areas, urban forest.

Cita este artículo
Vázquez Arceo S. E., Ramírez Rivera M. P., Romero Márquez G. A., Licón Portillo J.A., Arceo Díaz S. & Covarrubias Ruesga M. S. R. (2022). Servicios ambientales del bosque urbano: pauta para optimizar las áreas verdes del TecNM Campus Colima. *Revista de Arquitectura y Urbanismo Taypi, 2*(3), 24 - 37. Doi: 10.5281/zenodo.10607113

Introducción

La gestión ambiental de las áreas verdes urbanas es un tema de gran relevancia en la actualidad. "Bosque urbano" es un término utilizado para describir al conjunto de árboles y otras plantas leñosas en áreas urbanas, junto con los seres vivos y no vivos que interactúan con ellos (Brooke et al., 2023). Dentro de este término se incluye la vegetación que crece en los terrenos de la ciudad o sus alrededores (McLean et al., 2020), aportando beneficios al medio ambiente, la salud y la sociedad (Lei, 2022). El estudio de los bosques urbanos tiene sus raíces en la ecología, ya que estos ecosistemas están influenciados por las actividades humanas y la infraestructura construida, haciendo que estos bosques se consideren sistemas socioecológicos con dimensiones económicas y técnicas (Johnson et al., 2021; Brooke et al., 2023). Hacer un inventario es el primer paso para conocer los elementos que conforman el bosque urbano, el cual proporciona una variedad de beneficios. En primer lugar, permite tomar decisiones de gestión sostenible al proporcionar valiosos datos sobre bosques urbanos (Karafilov, 2020). Además, el inventario de los bosques urbanos ayuda a comprender su composición espacial, su estado de nacimiento, su biodiversidad y su salud, aspectos cruciales para diseñar ecosistemas ricos y biodiversos en las ciudades (McLean et al., 2020). Estos datos auxilian en la identificación de los espacios de plantación disponibles, permiten establecer objetivos de diversidad de árboles y proteger el dosel del bosque (Toledo Garibaldi, Puric Mladenovic y Smith, 2023). Los inventarios forestales también pueden apoyar la integración de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad no proporcionados en la planificación forestal mediante la cuantificación de los atributos forestales relacionados con la recreación, la promoción de la biodiversidad y el almacenamiento de carbono (Coutinho Meneguzzi, Fernandes da Silva, Regis Mauri, Ribeiro de Mendonça y Almeida de Barros Junior, 2020).

El rápido proceso de urbanización y el cambio climático amenazan la provisión de servicios ecosistémicos que brindan los espacios verdes (Nesbitt, Meitner, Girling, Sheppard y Lu, 2019; Bille, Jensen y Buitenwerf, 2023; Li, Jia, Li y Feng, 2023). De hecho, la cobertura arbórea en algunas ciudades ha mostrado una tendencia descendente en los últimos años (Doick, Buckland y Clarke, 2020; Li y Ping, 2023). En este contexto, es fundamental profundizar en el conocimiento de los beneficios socioambientales de las áreas verdes y desarrollar estrategias efectivas para su conservación y manejo sostenible (Vargas Hernández, Pallagst y Zdunek Wielgołaska, 2018). Los bosques urbanos cumplen un rol vital en las ciudades al proporcionar múltiples servicios ecosistémicos que benefician directamente la calidad de vida de los habitantes (Núñez y Romero, 2016; Nowak & Greenfield, 2018; Deutsche Gesellschaft für. Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH., 2019). Estos beneficios son particularmente relevantes ante el creciente impacto humano sobre el cambio climático y la degradación ambiental (Palmer, 2021). La vegetación urbana puede mitigar emisiones de gases de efecto invernadero al actuar como sumidero de carbono, además de eliminar contaminantes atmosféricos que afectan la salud humana (Skole, Mbow, Mugabowindekwe, Brandt y Samek, 2021; Wolf, Lam, McKeen, Richardson y Bardekjian, 2020).

Si bien inicialmente los bosques urbanos eran estudiados con relación a la emisión de partículas contaminantes (Konijnendijk, Nilsson, Randrup y Schipperijn, 2005), investigaciones recientes han enfatizado su potencial para la mitigación y adaptación climática. Los bosques urbanos almacenan carbono en su biomasa, contribuyendo a reducir las concentraciones atmosféricas de este gas de efecto invernadero (Davies et al., 2011). Además, la vegetación influye en la eliminación de contaminantes criterio como ozono (O3), dióxido de nitrógeno (NO2), dióxido de azufre (SO2) y material particulado (PM10 y PM2.5), mejorando así la calidad del aire (Nowak D., 2019). Sin embargo, la vegetación urbana también puede emitir compuestos orgánicos volátiles (COV) como isoprenoides, algunos de los cuales son precursores en la formación de ozono a nivel del suelo (Churkina et al., 2017). Por lo tanto, al planificar la arborización urbana se debe considerar el balance entre beneficios de secuestro de carbono y eliminación de

contaminantes, versus potenciales emisiones de COV por distintas especies (Morani, Nowak, Hirabayashi y Calfapietra, 2011).

En América Latina, estudios recientes han evaluado los servicios ecosistémicos provistos por bosques urbanos en ciudades como Santo Domingo (Ortiz Nuñez, 2020), Puebla (Hernández Castán, Cuesta Mejía, Ortiz Espejel y Rosano Reyes, 2023) y en áreas metropolitanas de Colombia (Suarez et al., 2021). Sin embargo, se requieren más investigaciones para generar información específica sobre los beneficios de calidad del aire, adaptadas a las características de diferentes entornos urbanos (Ordóñez y Duinker, 2015). En este contexto, cuantificar los servicios ambientales provistos por bosques urbanos resulta clave para orientar estrategias efectivas de manejo y conservación, adaptadas a contextos urbanos específicos (Nitoslawski, Galle, Van Den Bosch y Steenberg, 2019). Es por ello que, en el presente estudio, se evaluaron los beneficios de mitigación climática y potencial en la mejora de la calidad del aire generados por el bosque urbano presente en el TecNM campus Colima. Los resultados de esta investigación aportan a las áreas temáticas de planificación urbana y parques y jardines, ya que la comparación de los servicios ecosistémicos de emisión de COV y eliminación de contaminación permite identificar especies con potenciales destacados, siempre haciendo énfasis en las de origen nativo. Como resultado, se podría planificar de forma más sostenible las áreas verdes de este centro educativo y que, además, contribuyan a la conservación del Área Natural Protegida de carácter estatal "La Campana" con la que el campus comparte territorio. Otro de los resultados que contribuyen al área temática del urbanismo y el transporte es el valor relativo de los beneficios de los árboles, en el que se estiman las hectáreas de cubierta vegetal que serían necesarias para contrarrestar las emisiones anuales de carbono (C), dióxido de nitrógeno (NO2) y dióxido de sulfuro (SO2) resultado de la movilidad en vehículo particular calculada con relación a la cantidad de estudiantes y personal del centro universitario.

Metodología

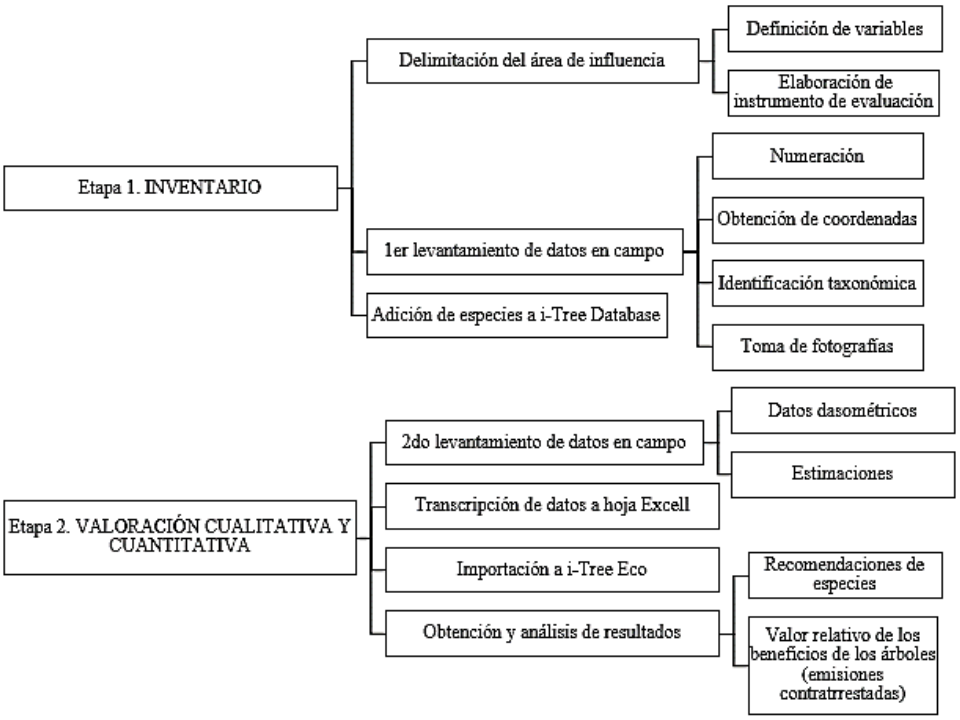
El levantamiento de información del bosque urbano se llevó a cabo entre los meses de febrero a junio de 2022. Se siguió la metodología del software i-Tree Eco, desarrollado por el US Forest Service y The Davey Institute, y adaptado para su uso en México (i-Tree, 2018). El estudio se centró en la Educación Superior y posgrado del TecNM Campus Colima, ubicado al noreste de la ciudad de Villa de Álvarez, Colima, México. La extensión aproximada del campus es de 20.12 ha, de las cuales se consideraron 9.17 ha como área de influencia (Figura 1). El centro universitario está delimitado al sur por la Av. Tecnológico; al este por la calle Amado Nervo y al noroeste con el Área Natural Protegida de carácter estatal “La Campana”.

Figura 1.
Comparativa del área de estudio.

Nota: (polígono blanco) con relación al área de influencia (polígono amarillo) en la que se realizó el inventario.

El estudio se dividió en dos etapas: Inventario y valoración cualitativa y cuantitativa (Figura 2).
La primera etapa consta de tres fases. Para iniciar, se delimitó el área de influencia, con lo cual se definieron las variables de estudio. A continuación, se elaboró el instrumento de evaluación para la recolección de datos en campo (Figura 3). Durante el primer levantamiento de datos en campo, los ejemplares fueron enumerados, y se obtuvieron las coordenadas de ubicación. Además, se tomaron fotografías de elementos como tronco, hoja, fruto, flor y semilla para la identificación taxonómica de árboles desconocidos, las cuales se importaron en la aplicación iNaturalist para obtener sugerencias de especies similares.
El levantamiento de la información en dos etapas tuvo dos motivos. El primero es que permite añadir especies nativas no incluidas en la lista de "i-Tree Database"; proceso que puede reflejarse hasta tres meses después del envío de la solicitud, que en el caso de este estudio aplicó para la especie Coliguana (Cordia seleriana). El segundo es la presencia de hojas, que es indispensable para la toma de datos dasométricos; ya que parte de la vegetación nativa del bosque urbano en el campus corresponde a la selva baja caducifolia (SBC) que pierde su follaje en tiempo de estiaje (invierno – primavera); razón por la que se esperó al reverdecimiento de los árboles con la llegada de las lluvias (Instituto para el Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Estado de Colima y Jardín Botánico de Colima, A. C., 2021).

Figura 2.
Metodología aplicada, etapas y fases para la investigación.



Una vez recopilados los datos restantes, la información fue transcrita a una hoja de Excel e importada al software i-Tree Eco para analizar los resultados obtenidos por el bosque urbano y por especie en los servicios de secuestro y almacenamiento de carbono, eliminación de contaminantes y emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV).
El manual de usuario del software i-Tree Eco (i-Tree, 2021) indica que, para obtener el resultado del almacenamiento de carbono, se calcula la biomasa de cada árbol utilizando ecuaciones de la literatura y los datos de los árboles medidos. Para determinar la cantidad bruta de carbono secuestrado anualmente, se suma el crecimiento promedio del diámetro del género correspondiente y la clase de diámetro y condición del árbol al diámetro existente del mismo

(año x) para calcular el diámetro del árbol y el almacenamiento de carbono en el año x+1. En el caso de la eliminación de la contaminación, esta se calculó utilizando datos de campo, la contaminación y el estado del tiempo disponibles.

Figura 3.
Instrumento para el levantamiento de información de campo y posterior evaluación con descripciones de variables, unidades de medida y herramientas necesarias.

BOSQUE URBANO TECNM CAMPUS COLIMA

1. DATOS DEL EJEMPLAR

ESPECIE Nombre de especie y género; indispensable para procesar la información		**ID** Clave de identificación del árbol; único e irrepetible para inventarios completos sin estratificar.	Se marca con tiza o pintura en un lugar visible y procurando la misma orientación.
Notas			

REFERENCIAS	**Tramo** (Si aplica)					
	Emplazamiento	Alineación	Cajete	Estacionamiento	Área verde	Otro

COORDENADAS
Longitud y latitud del ejemplar en sistema UTM (Universal Transverse Mercator) obtenidas por medio de una estación total o GPS

X	Y

ALTURAS Distancias en metros obtenidas con un clinómetro Porcentual Suunto Pm-5			**COPA** Distancia en metros de la copa en dos direcciones, medidas con una cinta métrica TRUPER fibra de vidrio (50 m)	
Altura total	**Altura de la copa viva**	**Altura de la base a la copa**	**Norte - Sur**	**Este - Oeste**
Distancia del suelo a la parte superior del ejemplar ya sea vivo o muerto.	Distancia del suelo a la parte superior viva del ejemplar.	Distancia ente el suelo y la parte más baja de la copa viva.		

DIÁMETRO A LA ALTURA DEL PECHO (DAP)
Diámetro normal del fuste en centímetros estimado a 1.30 m sobre el suelo (4.5 pies), medido con Forestry Suppliers 283d Cinta Métrica de Tela 10 m.

DAP 1	DAP 2	DAP 3	DAP 4	DAP 5	DAP 6

EXPOSICIÓN A LA LUZ DE LA COPA
Estimación del número de lados del árbol que reciben luz (máximo 5).

-1	0	1	2	3	4	5
Muerto	No recibe luz	Recibe luz en un cuadrante	Recibe luz en dos cuadrantes	Recibe luz en tres cuadrantes	Recibe luz en cuatro cuadrantes	Recibe luz en cinco cuadrantes

%

COPA FALTANTE
Estimación del follaje ausente debido a la poda, muerte regresiva, defoliación, copa desbalanceada, u hojas enanas o escasas; tomando en cuenta la forma natural de la copa para la especie en particular.

0	3	8	13	18	23	28	33	38	43	48	53	58	63	68	73	78	83	88	93	98	100

MUERTE REGRESIVA
Estimación de las ramas muertas laterales y en el ápice de la copa debido a sombra de un edificio u otro ejemplar, sin incluir la muerte de ramas naturales o auto poda debido a competencia de corona o el sombreado en la parte inferior de la corona.

Excelente	Buena	Aceptable	Mala	Crítica	Muriendo	Muerto
0	10	25	50	75	99	100

Uno de los resultados obtenidos mediante el uso del software i-Tree Eco fue el valor relativo de los beneficios de los árboles. Este valor, incluido en el Apéndice II de los informes, permite cuantificar la equivalencia del almacenamiento y secuestro de carbono, así como la eliminación de contaminantes atmosféricos, en términos de emisiones de carbono municipal, emisiones de automóviles y emisiones de viviendas. En este estudio, se hizo énfasis en las emisiones de los automóviles.

Las emisiones de carbono municipal se basaron en las emisiones de carbono per cápita de los Estados Unidos en 2010 (Carbon Dioxide Information Analysis Center, 2010). Para obtener el total, estas emisiones se multiplicaron por la población de la ciudad de Villa de Álvarez. Este resultado permitirá estimar las hectáreas de cubierta vegetal que se necesitarían para contrarrestar las emisiones anuales de carbono (C), dióxido de nitrógeno (NO2) y dióxido de sulfuro (SO2) de los automóviles, calculadas en relación con la matrícula de estudiantes y el personal del TecNM campus Colima. Para ello, se consideró como referencia el número de 0.2062 automóviles por habitante en la ciudad de Villa de Álvarez (INEGI, 2021).

Resultados

El estudio reveló que el bosque urbano del TecNM campus Colima alberga un total de 628 ejemplares, pertenecientes a 25 familias, 44 géneros y 53 especies (Tabla 2), resultando en una diversidad similar a la encontrada en Puebla con 54 especies (Instituto Municipal de Planeación Puebla [Implan], 2018); superior a la reportada en la Laguna de San Baltazar, Puebla (23 especies) (Hernández Castán et al., 2023) y Texcoco (34 especies) (Martínez Trinidad, Hernández López, López Lopez, & Mohedano Caballero, 2021); e inferior a la reportada en Guanajuato (58 especies) (de la Concha-Duprat, 2020), Mérida (134 especies) (de la Concha Duprat, Roche Cano y García Burgos, 2017). Cabe destacar que las especies del bosque urbano del TecNM campus Colima representarían el 38.11% de las 220 especies señaladas en el Plan de Manejo del Arbolado Urbano de la Ciudad de Colima (Instituto de Planeación para el Municipio de Colima [IPCO], 2021), siendo este estudio el más próximo al de esta investigación. Las tres especies más comunes fueron palma cocotera (Cocos nucifera) con un 13.69%, rosamorada (Tabebuia rosea) con un 12.42% y neem (Azadirachta indica) con un 9.24%. Al comparar con inventarios forestales urbanos previos en ciudades mexicanas (de la Concha Duprat et al., 2017; Instituto de Planeación para el Municipio de Colima [IPCO], 2021), solo 4 de las 10 especies más abundantes coincidieron. De estas, la rosamorada (Tabebuia rosea) fue la única especie nativa y de distribución natural en el territorio del Estado de Colima (Vázquez Yañes, Batis Muñoz, Alcocer Silva, Gual Díaz, & Sánchez Dirzo, 1999). La presencia de 3 especies introducidas entre las más comunes (palma cocotera (Cocos nucifera), neem (Azadirachta indica) y mango (Mangifera indica) evidencia su capacidad de adaptación al clima cálido subhúmedo (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 1997), además de la influencia de factores sociales en la composición local del bosque urbano del campus.

Por otro lado, la densidad de árboles por hectárea fue de 68.48, ubicándose por debajo de los valores reportados en Texcoco (167.22 árboles/ha) (Martínez Trinidad et al., 2021) y Puebla (243.03 árboles/ha) (Hernández Castán et al., 2023); pero siendo casi 3 veces mayor en comparación con el estudio del municipio de Colima, a pesar de que este último abarcó un área 20 veces mayor (Instituto de Planeación para el Municipio de Colima [IPCO], 2021). En cuanto al área foliar, las 7,119 ha estimadas también resultaron inferiores a las de Mérida (13,530 ha) (de la Concha Duprat et al., 2017) y Puebla (150.34 ha) (Instituto Municipal de Planeación Puebla [Implan], 2018). El estudio local del municipio de Colima no reportó resultados para este apartado.

En cuanto a su origen, se encontró que 33 taxones son nativos, lo que representa el 56.21% del total. De estos, el 14.16% corresponde a regeneración natural, mientras que el resto de los ejemplares son plantados. Aunque la representatividad de la flora original sería menor a la reportada para Mérida con un 60% (de la Concha Duprat et al., 2017), sigue siendo mayor que la de otros entornos urbanos del centro de México, como Texcoco (Martínez Trinidad et al., 2021). Considerando la ubicación contigua del ANP La Campana, la presencia de estas especies nativas contribuiría al intercambio biológico con esta área protegida. Resalta la presencia de 14 ejemplares de cedro rojo (Cedrela odorata), una especie maderable tropical de alto valor comercial (Gálvez López, Vallejo Reyna, Méndez Espinoza y López Upton, 2020), categorizada como amenazada en México (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2010).

Entre las especies muestreadas, la parota (Enterolobium cyclocarpum) fue la que almacenó la mayor cantidad de carbono, representando aproximadamente el 28.75% del total, mientras que la palma cocotera (Cocos nucifera) secuestró el 18.22% del carbono total.

En cuanto a la eliminación de contaminantes, el resultado más destacado se observó para el material particulado PM10 (Figura 4). Según los datos calculados, los árboles y plantas leñosas eliminan anualmente 396.05 kg de contaminación atmosférica. A pesar de contar solo con 628 ejemplares, la capacidad de eliminación por superficie (0.043 ton/ha) supera lo reportado para

Colima (0.037 ton/ha) (Instituto de Planeación para el Municipio de Colima [IPCO], 2021), Texcoco (0.026 ton/ha) (Martínez Trinidad et al., 2021) y Laguna de San Baltazar, Puebla (0.023 ton/ha) (Hernández Castán et al., 2023); siendo estos estudios de mayor densidad arbórea. Lo anterior resalta el potencial de las especies presentes en el bosque urbano del TecNM campus Colima para la depuración del aire.

Figura 4.
Eliminación anual de la contaminación (CO, O3, NO2, entre otros) por el bosque urbano del TecNM campus Colima medido en g/año, obtenida mediante el uso de i-Tree Eco.

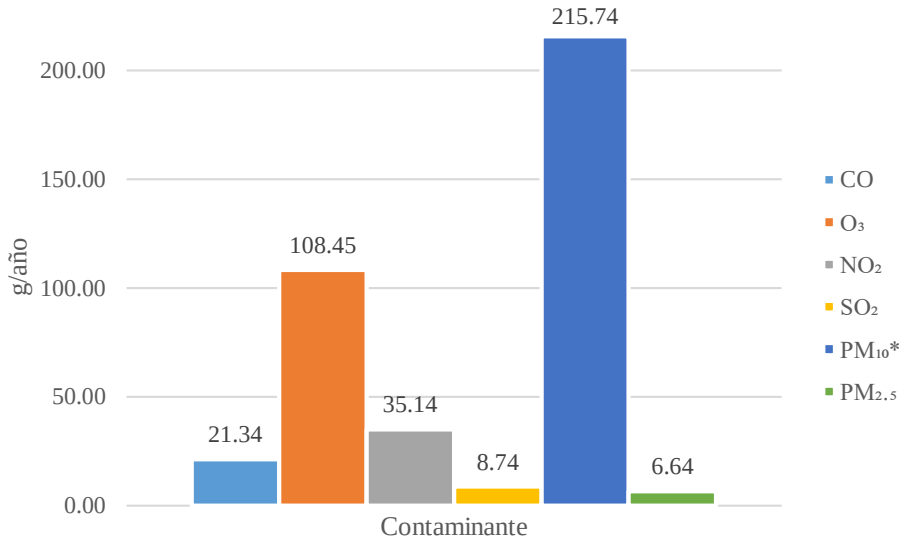


Tabla 1.
Resumen de resultados para los servicios ecosistémicos: Almacenamiento de carbono (kg), secuestro bruto de carbono (kg/año), contaminación eliminada (kg/año) y emisión de COV (g/año).

Elemento Constructivo Ejemplares Especie	Origen*	Cantidad	Almacenamiento de carbono (kg)	Secuestro bruto de carbono (kg/año)	Contaminación eliminada (kg/año)	Emisión de COV (g/año)
Huizache (Acacia sp.)	N	3	131.60	31.50	2.12	1,499.40
Palma de Manila (Adonidia merrillii)	I	9	254.60	74.10	0.23	4.50
Guanábana (Annona muricata)	N	7	142.60	24.70	1.18	0.00
Anona (Annona reticulata)	N	1	38.40	0.00	0.00	0.00
Araucaria (Araucaria sp.)	I	1	522.50	66.40	0.83	180.90
Yaca (Artocarpus heterophyllus)	I	1	131.90	8.70	0.41	108.30
Neem (Azadirachta indica)	I	58	3,972.40	541.60	17.00	189.10
Ramón (Brosimum alicastrum)	N	1	320.40	27.00	2.03	534.30
Olivo negro (Bucida buceras)	N	17	1,259.30	245.40	6.96	1,906.50
Copal (Bursera sp.)	N	1	33.80	10.30	0.11	18.70
Papelillo (Bursera simaruba)	N	1	65.90	12.70	0.85	146.60
Nance (Byrsonima crassifolia)	N	12	1,235.30	82.20	8.58	10.20

Lluvia de oro (Cassia fistula)	I	5	291.40	45.60	1.25	126.60
Carao (Cassia grandis)	N	1	600.90	35.70	2.00	203.20
Cedro rojo (Cedrela odorata)	N	14	3,561.90	312.20	14.88	165.70
Ceiba (Ceiba sp.)	N	1	52.00	7.90	1.02	0.00
Naranjo agrio (Citrus aurantium)	I	1	24.10	3.30	0.06	7.20
Palma cocotera (Cocos nucifera)	I	86	11,884.00	1,428.60	14.95	15,760.70
Barcino (Cordia elaeagnoides)	N	41	4,361.70	283.80	15.57	0.00
Coliguana (Cordia seleriana)	N	2	68.40	9.80	0.89	0.00
Tabachín (Delonix regia)	I	2	131.90	27.10	1.38	28.10
Palma areca (Dypsis lutescens)	I	21	770.50	127.60	1.35	1,426.40
Mandimbo (Ehretia tinifolia)	N	20	3,399.50	145.50	8.96	0.00
Parota (Enterolobium cyclocarpum)	N	20	36,504.10	345.00	102.44	3,395.00
Higueras (Ficus spp.)	N	2	9,045.50	49.10	13.43	3,786.50
Ficus (Ficus benjamina)	I	18	4,721.30	199.30	12.37	3,485.80
Fresno (Fraxinus uhdei)	N	4	766.10	68.50	2.98	0.00
Guásima (Guazuma ulmifolia)	N	3	349.40	38.10	2.01	0.00
Arcoíris (Hibiscus tiliaceus)	N	7	496.40	51.80	2.45	377.90
Jacaranda (Jacaranda mimosifolia)	I	17	983.80	148.10	6.98	0.00
Huaje (Leucaena leucocephala)	N	2	400.30	25.00	2.46	110.20
Mango (Mangifera indica)	I	23	5,327.50	426.20	23.92	6,316.70
Moringa (Moringa oleifera)	I	1	1.00	1.00	0.05	8.40
Plátano (Musa x paradisiaca)	I	2	35.50	15.30	0.07	0.80
Aguacate (Persea americana)	N	7	1,947.80	15.30	8.54	639.80
Guamúchil (Pithecellobium dulce)	N	8	2,480.90	248.10	7.98	2,597.40
Flor de mayo (Plumeria rubra)	N	7	51.40	11.00	0.31	16.40
Mamey (Pouteria sapota)	N	1	261.90	12.90	0.89	0.00
Guayaba (Psidium guajava)	N	15	570.70	56.30	3.78	5,388.70
Guayabillo (Psidium sartorianum)	N	2	111.40	17.70	0.84	1,200.20
Aceituno (Simarouba glauca)	N	23	1,047.10	184.80	5.65	0.00
Galeana (Spathodea campanulata)	I	2	82.30	11.90	0.35	4.10
Ciruelo (Spondias purpurea)	N	3	26.70	7.70	0.20	51.60
Cóbano (Swietenia humilis)	N	34	15,434.80	1,061.20	43.85	488.00
Palmera pindó (Syagrus romanzoffiana)	I	11	414.60	47.80	1.30	1,370.50
Jambolán (Syzygium cumini)	I	2	351.60	36.40	1.76	1,022.10

Pomarrosa (Syzygium jambos)	I	4	410.60	24.60	1.81	1,052.00
Primavera (Tabebuia donnell-smithii)	N	12	1,672.10	187.80	11.06	1,628.00
Rosamorada (Tabebuia rosea)	N	78	9,243.80	841.00	32.98	0.00
Tamarindo (Tamarindus indica)	I	1	26.70	3.40	0.08	26.60
Almendro (Terminalia catappa)	I	10	848.60	131.00	2.83	774.50
Ayoyote (Thevetia peruviana)	N	1	2.90	2.90	0.01	0.50
Yuca (Yucca sp.)	N	2	86.10	18.80	0.09	1.10
Total		628	126,957.90	7,839.70	396.05	56,059.20

Nota: Origen: (N) Nativo, (I) Introducido

En cuanto a la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV), se determinó un total de 56.06 kg, de los cuales 39.31 kg fueron isoprenoides y 16.75 kg, monoterpenos. La reacción obtenida por la fotodescomposición (ruptura química por efecto de la luz) de estos dos compuestos contribuye a la formación de ozono (O3) y monóxido de carbono (CO), contaminantes que afectan la salud respiratoria (Nowak D., 2019).

La cantidad de emisiones depende de variables como la especie, hojas, biomasa, temperatura del aire y otros factores atmosféricos (de la Concha Duprat et al., 2017).

Las especies palma cocotera (Cocos nucifera) y mango (Mangifera indica) emitieron el 39.38% del total de COV. Similarmente, la palma cocotera (Cocos nucifera) también figura entre las principales fuentes en el estudio de Colima (Instituto de Planeación para el Municipio de Colima [IPCO], 2021). Los resultados obtenidos de emisiones anuales sobre superficie de 0.006 ton/ha hablan sobre una baja emisión de COV a pesar de una densidad de árboles/ha mayor a la reportada en Colima (0.008 ton/ha) y Puebla (0.009 ton/ha) (Instituto Municipal de Planeación Puebla [Implan], 2018). Por otra parte, el bosque urbano de Guanajuato (de la Concha-Duprat, 2020) emite una gran cantidad de COV a pesar de tener una baja densidad de árboles/ha (0.005 ton/ha). Este estudio identificó a las casuarinas, eucaliptos, ficus benjamina, syagrus o cola de zorra como las principales especies responsables de este fenómeno. Con estos resultados, se puede inferir que la cantidad de COV emitidos es resultado de las especies que componen cada bosque urbano.

Conclusiones

Una función clave del bosque urbano es proporcionar servicios ecosistémicos, tales como la reducción de carbono y la eliminación de contaminantes atmosféricos. El objetivo de este estudio fue identificar especies con potenciales destacados en estos aspectos, considerando también sus emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), algunos de los cuales son precursores de la formación de ozono (O3).

Por un lado, el hecho de que el 43.88% de las especies sean de origen introducido habla del potencial que posee la zona para permitir el desarrollo de estas especies. No obstante, las especies nativas muestran un mayor potencial de servicios ambientales: eliminan el 77.54% de la contaminación y emiten solo el 43.11% de los COV totales.

Se identificó que los ejemplares de palma cocotera (Cocos nucifera), mango (Mangifera indica) y guayabo (Psidium guajava) representan el 19.74% de la población, pero contribuyen con casi la mitad (48.99%) de las emisiones de COV. A pesar del origen introducido de las dos primeras, ambas proveen alimento a la fauna nativa.

Algunas especies nativas como higueras (Ficus spp.), parota (Enterolobium cyclocarpum), guamúchil (Pithecellobium dulce), primavera (Tabebuia donnell-smithii), huizache (Acacia sp.) y ramón (Brosimum alicastrum) obtuvieron valores significativos en emisión de COV, pero son

propias de la vegetación de selva baja caducifolia (SBC) que está presente en el Campus debido a la regeneración natural. Por otro lado, se identificó que especies nativas como guanábana (Annona muricata), chirimoya corazón de buey (A. reticulata), ceiba (Ceiba sp.), barcino (Cordia elaeagnoides), coliguana (C. seleriana), mandimbo (Ehretia tinifolia), fresno (Fraxinus uhdei), guásima (Guazuma ulmifolia), mamey (Pouteria sapota), aceituno (Simarouba glauca) y rosamorada (Tabebuia rosea) no emiten compuestos orgánicos volátiles, lo que las convierte en especies prometedoras para mejorar la calidad del aire local. Entre las especies introducidas, solo la jacaranda (Jacaranda mimosifolia) presenta esta condición.

La introducción de nuevas especies en el bosque urbano del TecNM campus Colima, especialmente aquellas de origen no nativo, debe llevarse a cabo solo si su adición maximiza el potencial de servicios ecosistémicos, como la eliminación de la contaminación del aire y la reducción de carbono. Asimismo, el uso de especies introducidas debe limitarse en número, dando siempre prioridad a las alternativas presentes en la región.

En conclusión, este estudio resalta la importancia del bosque urbano del TecNM campus Colima en la reducción de carbono y la mejora de la calidad del aire. Los resultados obtenidos orientan la selección de especies en futuras arborizaciones, teniendo en cuenta tanto su capacidad para eliminar contaminantes como su potencial de emisión de compuestos orgánicos volátiles, destacando la necesidad de conservar y manejar adecuadamente este recurso estratégico.

Referencia Bibliográficas

Bille, R. A., Jensen, K. E., & Buitenwerf, R. (2023). Global patterns in urban green space are strongly linked to human development and population density. Urban Forestry & Urban Greening, 86(127980). https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127980

Brooke, A., Koeser, A. K., Salisbury, A. B., Hilbert, D. R., Thorn, H., & Hauer, R. J. (2023). Frontiers for Young Minds. Seeing the Forest Through the Trees (and People)—Urban Forest Ecosystems, 11. https://doi.org/10.3389/frym.2023.987946

Carbon Dioxide Information Analysis Center. (2010). CO2 Emissions (metric tons per capita). Washington, DC: The World Bank.

Churkina, G., Kuik, F., Bonn, B., Lauer, A., Grote, R., Tomiak, K., & Butler, T. M. (2017). Effect of VOC Emissions from Vegetation on Air Quality in Berlin during a Heatwave. Environmental Science & Technology, 6120-6130. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06514

Civeira, G. (2016). Servicios ecosistémicos en ambientes urbanos: su relación con la estructura, la planificación y el diseño del paisaje (Tesis doctoral). Recuperada de: https://core.ac.uk/download/pdf/61919516.pdf

Coutinho Meneguzzi, C., Fernandes da Silva, G., Regis Mauri, G., Ribeiro de Mendonça, A., & Almeida de Barros Junior, A. (2020). Routing model applied to forest inventory vehicles planning. Computers and Electronics in Agriculture, 175. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105544

de la Concha Duprat, H., Roche Cano, L., & García Burgos, A. (2017). Inventario del arbolado urbano de la Ciudad de Mérida. Ayuntamiento de Mérida 2018-2021. Obtenido de http://www.merida.gob.mx/sustentable/contenidos/doc/inventario_arbolado_merida.pdf

de la Concha Duprat, H. (2020). Inventario del arbolado urbano León, Gto. León Ayuntamiento 2016 - 2020. Obtenido de https://www.itreetools.org/documents/669/Inventario_de_Parques_y_Vialidades_de_LeonGto_V04.pdf

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. (2019). Integración de los servicios ecosistémicos en la planificación y gestión urbana. Un enfoque sistemático en pasos para profesionales. Recuperado de: https://iki-alliance.mx/wp-

content/uploads/Manual-de-Integraci%C3%B3n-delosServiciosEcosist%C3%A9micos-en-la-Planificaci%C3%B3n-y-Gesti%C3%B3n-Urbana.pdf

Doick, K. J., Buckland, A., & Clarke, T. (2020). Historic Urban Tree Canopy Cover of Great Britain. Forests, 10(11). https://doi.org/10.3390/f11101049

Gálvez López, L., Vallejo Reyna, M. Á., Méndez Espinoza, C., & López Upton, J. (2020). Cedrela odorata L.: oportunidades para su conservación y mejoramiento genético. Revista mexicana de ciencias forestales, 11(58), 4-25. https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.622

Hernández Castán, J., Cuesta Mejía, E., Ortiz Espejel, B., & Rosano Reyes, E. (2023). Servicios ecosistémicos del arbolado urbano en la Laguna de San Baltazar, Puebla, mediante el uso del software i-Tree. CIENCIA ergo-sum, 30(2). http://doi.org/10.30878/ces.v30n2a5

Instituto de Planeación para el Municipio de Colima [IPCO]. (2021). Plan de manejo del arbolado urbano de la ciudad de Colima. Colima. Obtenido de http://ipco.gob.mx/ipco/proyectos/proyectos/ambiental/PMAU.pdf

Instituto Municipal de Planeación Puebla [Implan]. (2018). Inventario del arbolado urbano en vialidades principales del municipio de Puebla. Obtenido de https://www.itreetools.org/documents/487/190409_Vialidades_Puebla_Rev_4.11_reduced_file_size.pdf

Instituto para el Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Estado de Colima [IMADES] y Jardín Botánico de Colima, A. C. (2021). Guía de naturaleza. Jardín Etnobiológico La Campana. Villa de Álvarez, Colima.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (1997). Información por entidad federativa. Recuperado el 2023, de Clima: https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/col/territorio/clima.aspx?tema=me&e=06#:~:text=La%20temperatura%20media%20anual%20es,es%20de%20aproximadamente%20900%20mm.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Censo de Población y Vivienda 2020. Principales resultados por AGEB y manzana urbana 2020. Villa de Álvarez, Colima, México.

i-Tree. (2018). Documentos. Adaptación del programa i-Tree eco a México. Recuperado de https://www.itreetools.org/documents/212/iTree_Eco_Mexico_Adaptation_Description_15Sep2018.pdf

i-Tree. (2021). Manual de Campo V6.0. Recuperado de: https://www.itreetools.org/documents/195/EcoV6_Manual_de_Campo_Espa%C3%B1ol_Julio_2021.pdf

Johnson, L., Johnson, M., Aronson, M., Campbell, L. K., Carr, M. E., Clarke, M., . . . Sonti, N. (2021). Conceptualizing social-ecological drivers of change in urban forest patches. Urban Ecosyst, 24, 633–648. https://doi.org/10.1007/s11252-020-00977-5

Karafilov, J. (2020). Best Practices for Using Citizen Science in Urban Forest Inventorying (Thesis for the degree of Master in Landscape Architecture). The University of Guelph. Retrieved from http://hdl.handle.net/10214/17977

Konijnendijk, C., Nilsson, K., Randrup, T., y Schipperijn, J. (2005). Urban Forest and Trees. Springer Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-27684-X

Lei, S. (2022). Research on the Concept of Landscape Design -- Taking Beijing Olympic Forest Park as an example. BCP Social Sciences & Humanities,, 15, 11-16. https://doi.org/10.54691/bcpssh.v15i.356

Li, C., y Ping, D. (2023). Changes in tree canopy coverage and inequality in the contiguous United States between 2010 and 2020. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 50(6). https://doi.org/10.1177/23998083231177315

Li, X., Jia, B., Li, T., y Feng, F. (2023). Studying the spatial evolutionary behavior of urban forest patches from the perspective of pattern-process relationships. Urban Forestry & Urban Greening, 81(127861). https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127861

Martínez Trinidad, T., Hernández López, P., López Lopez, S. F., y Mohedano Caballero, L. (2021). Diversidad, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado en cuatro parques de Texcoco mediante i-Tree Eco. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 12(67), 202-223. https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.880

McLean, D. C., Koeser, A., Hilbert, D. R., Landry, S., Abd-Elrahman, A., Britt, K., Northrop, R. (2020). Florida's Urban Forest: A Valuation of Benefits: ENH1331/EP595, 11/2020 (Vol. 6). UF/IFAS Environmental Horticulture Department. https://doi.org/10.32473/edis-ep595-2020

Morani, A., Nowak, D. J., Hirabayashi, S., & Calfapietra, C. (2011). How to select the best tree planting locations to enhance air pollution removal in the MillionTreesNYC initiative. Environmental Pollution, 159(5), 1040-1047. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.11.022

Nesbitt, L., Meitner, M. J., Girling, C., Sheppard, S. R., y Lu, Y. (2019). Who has access to urban vegetation? A spatial analysis of distributional green equity in 10 US cities. Landscape and Urban Planning, 51-79. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.08.007

Nitoslawski, S. A., Galle, N. J., Van Den Bosch, C. K., y Steenberg, J. W. (2019). Smarter ecosystems for smarter cities? A review of trends, technologies, and turning points for smart urban forestry. Sustainable Cities and Society, 51. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101770

Nowak, D. (2019). The Atmospheric System: Air Quality and Greenhouse Gases. Understanding Urban Ecology. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11259-2_8

Nowak, D. J., & Greenfield, E. J. (2018). Declining urban and community tree cover in the United States. Urban Forestry & Urban Greening, 32-55. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.006

Núñez, J. M., & Romero, M. (2016). Imperativos para una ciudad sustentable: áreas arboladas y planeación territorial. En Tendencias territoriales determinantes del futuro de la Ciudad de México (pp. 311-339). Ciudad de México: Consejo Económico y Social de la Ciudad de México.

Ordóñez, C., & Duinker, P. (2015). Climate change vulnerability assessment of the urban forest in three Canadian cities. Climatic Change, 131, 531-543. https://doi.org/10.1007/s10584-015-1394-2

Ortiz Nuñez, F. A. (2020). Servicios ecosistémicos y gestión del arbolado urbano en Santo Domingo, República Dominicana (Tesis de Maestría). Repositorio Institucional del CATIE. Recuperado de https://www.studocu.com/latam/document/universidad-isa/biologia/servicios-ecosistemicos-y-gestion-del-arbolado-urbano-en-santo-domingo-republica-dominicana/51153582

Palmer, L. (2021). How trees and forests reduce risks from climate change. Nature Climate Change, 11(5), 374-377. https://doi.org/10.1038/s41558-021-01041-6

Simon, H., Fallmann, J., Kropp, T., Tost, H., & Bruse, M. (2019). Urban Trees and Their Impact on Local Ozone Concentration—A Microclimate Modeling Study. Atmosphere, 10(3). https://doi.org/10.3390/atmos10030154

Skole, D. L., Mbow, C., Mugabowindekwe, M., Brandt, M. S., & Samek, J. H. (2021). Trees outside of forests as natural climate solutions. Nature Climate Change, 11(12), 1013-1016. https://doi.org/10.1038/s41558-021-01230-3

Suarez, A., Ruiz Agudelo, C., Castro Escobar, E., Flórez Yepes, G., & Vargas Marín, L. A. (2021). On the Mismatches between the Monetary and Social Values of Air

Purification in the Colombian Andean Region: A Case Study. Forests, 12(9). https://doi.org/10.3390/f12091274

Toledo Garibaldi, M., Puric Mladenovic, D., & Smith, S. M. (2023). Urban biotope classification incorporates urban forest and green infrastructure for improved environmental land-use planning in Mexico City. Urban Ecosystems. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2076225/v1

Vargas Hernández, J., Pallagst, K., & Zdunek Wielgołaska, J. (2018). Urban Green Spaces as a Component of an Ecosystem. Handbook of Engaged Sustainbility, 885-916. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71312-0_49

Vázquez Yañes, C., Batis Muñoz, A., Alcocer Silva, M., Gual Díaz, M., & Sánchez Dirzo, C. (1999). Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Informe final SNIB-CONABIO. Recuperado de http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/11-bigno7m.pdf

Wolf, K. L., Lam, S. T., McKeen, J. K., Richardson, G. R., & Bardekjian, A. C. (2020). Urban Trees and Human Health: A Scoping Review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(12). https://doi.org/10.3390/ijerph17124371