

Estructura, diversidad arbórea, y almacenamiento de carbono en áreas verdes de Chetumal, Quintana Roo

Tree structure, diversity and carbon storage in green areas of Chetumal, Quintana Roo, Mexico

Luis Eugenio González-Escalante¹ , Tomás Martínez-Trinidad^{1*} , Patricia Hernández-de la Rosa¹ , Héctor Manuel de los Santos-Posadas¹ , Gregorio Ángeles-Pérez¹ 

¹Posgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, CP. 56264. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: tomtz@colpos.mx

Artículo científico

Recibido: 02 de febrero 2026

Aceptado: 30 de junio 2026

RESUMEN. Las áreas verdes urbanas desempeñan un papel crucial en la provisión de servicios ecosistémicos que contribuyen a la calidad de vida y a la conservación de la diversidad arbórea, especialmente en ciudades con clima húmedo, como Chetumal, Quintana Roo. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la estructura y diversidad de especies de árboles, arbustos y palmas en diferentes áreas verdes de la ciudad, así como el almacenamiento de carbono (C) que estos organismos contienen en áreas verdes urbanas. Se registraron 7 205 individuos pertenecientes a 133 especies y 40 familias, distribuidos en 49 polígonos que abarcan un área total de 141.22 ha. Las familias más representativas fueron Fabaceae (22 especies) y Arecaceae (18 especies). Los parques urbanos presentaron la mayor riqueza de especies (122), seguidos de camellones y banquetas, características típicas del paisaje urbano. Las especies con mayor contribución al almacenamiento de carbono fueron *Swietenia macrophylla* (caoba), *Lysiloma latisiliquum* (tzalam), *Tabebuia rosea* (palo de rosa), *Cedrella odorata* (cedro), y *Ficus benjamina* (Laurel de la India). Este trabajo proporciona información relevante para la planificación urbana, destacando la diversidad arbórea y el potencial de los servicios ecosistémicos en el desarrollo sostenible de la ciudad.

Palabras clave: Arbolado urbano, mitigación, cambio climático, biodiversidad, servicios ecosistémicos.

ABSTRACT. Urban green areas play a crucial role in providing ecosystem services that contribute to human well-being and the conservation of tree diversity, particularly in cities with humid climates, such as Chetumal, Quintana Roo. This study aimed to evaluate the structure and diversity of trees, shrubs, and palms in different urban green areas and to estimate carbon storage (C) of trees in urban green areas. A total of 7 205 individuals belonging to 133 species and 40 families were recorded across 49 polygons covering 141.22 ha. The most representative families were Fabaceae (22 species) and Arecaceae (18 species). Urban parks showed the highest species richness (122), followed by medians and sidewalks, which are characteristic features of the cityscape. The species with the greatest contribution to carbon sequestration were *Swietenia macrophylla* (mahogany), *Lysiloma latisiliquum* (tzalam), *Tabebuia rosea* (pink trumpet tree), *Cedrella odorata* (Spanish cedar), and *Ficus benjamina* (Indian laurel). These findings provide valuable information for urban planning, highlighting tree diversity and the potential of ecosystem services to support sustainable urban development.

Keywords: Urban trees, mitigation, climate change, biodiversity, ecosystem services.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de las zonas urbanas ha transformado los espacios verdes de diversas maneras (Mora-Olivo y Martínez 2012). El arbolado urbano interactúa con los componentes bióticos y abióticos del ecosistema, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de la población y el ambiente. Entre los principales beneficios que proporciona se encuentran la mejora de la calidad del aire, aumento de la humedad ambiental, infiltración de agua, reducción de erosión, absorción de gases tóxicos, retención de partículas suspendidas, disminución de ruido. Asimismo, aporta beneficios paisajísticos, favorece la regulación del clima, promueve el bienestar emocional y ofrece espacios de esparcimiento (Kuchelmeister 2000, Tovar-Rodríguez 2005, Carreiro *et al.* 2008, Suárez y Robles 2008).

La descripción y conocimiento general de la estructura arbórea a partir de inventarios, permite un manejo y conservación eficiente al facilitar la identificación de la composición, la densidad, la diversidad y el estado fitosanitario, así como la definición de programas de manejo y las acciones de mantenimiento (Sacksteder y Gerhold 1979, Hitchings 1981). Las áreas verdes urbanas (AVU) incluyen espacios arbolados, arbustos y vegetación herbácea en banquetas, camellones, jardines, parques y remanentes forestales en terrenos baldíos, cuya gestión depende generalmente de los gobiernos locales (Benavides 1989, Kuchelmeister 2000). A pesar de que algunas AVU son fragmentadas y de tamaño reducido, presentan diversidad y estructura arbórea particulares que justifican su estudio para mejorar la planificación y gestión urbana (Sjöman *et al.* 2018, Canizales *et al.* 2020, Morgenroth *et al.* 2020).

Si bien existen numerosos estudios sobre diversidad y composición del arbolado urbano a nivel mundial (Nagendra y Gopal 2010, Blood *et al.* 2016, Ortíz y Luna 2019, Moussa *et al.* 2020), en México la información es limitada y se centra principalmente en el centro del país y algunas ciudades del noroeste (Alanís-Flores 2005, Benavides y Young 2012, Mora-Olivo y Martínez 2012, Velasco Bautista *et al.* 2013, Alanís *et al.* 2014, Checa-Artasu 2016, Leal *et al.* 2018, Saavedra-Romero *et al.* 2019, Morales-Gallegos *et al.* 2023). En particular, los estudios en el sureste de México siguen siendo escasos, y son aún más limitados aquellos que evalúan el almacenamiento de carbono, lo que resalta la necesidad de evaluar la estructura, composición, diversidad y servicios ecosistémicos del arbolado urbano (carbono) para fortalecer su gestión y planificación. Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la estructura, y diversidad de árboles, arbustos y palmeras en áreas verdes de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, así como estimar el almacenamiento de carbono, con el fin de aportar información útil para estrategias de conservación y manejo de áreas verdes urbanas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La ciudad de Chetumal, municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo, se localiza en las coordenadas 18° 29' 38" LN y 88° 17' 52" LO (Figura 1) (INEGI 2025). Según la clasificación climática de Köppen, modificada por Enriqueta García, la península de Yucatán presenta climas que van de semi-seco muy cálido en la franja costera del estado de Yucatán, hasta tropical lluvioso y húmedo

en la zona de Candelaria, Campeche (OPB 2025). La zona de estudio posee un clima cálido con lluvias en verano (Aw1), específicamente cálido-subhúmedo intermedio (Ax'(w1)(i1)gw'), con temperatura media de 18.8 a 33 °C y precipitación anual entre 1 100 y 1 300 mm, concentrada de mayo a noviembre. Esta región también es afectada por ciclones que incrementan la precipitación pluvial durante el verano.

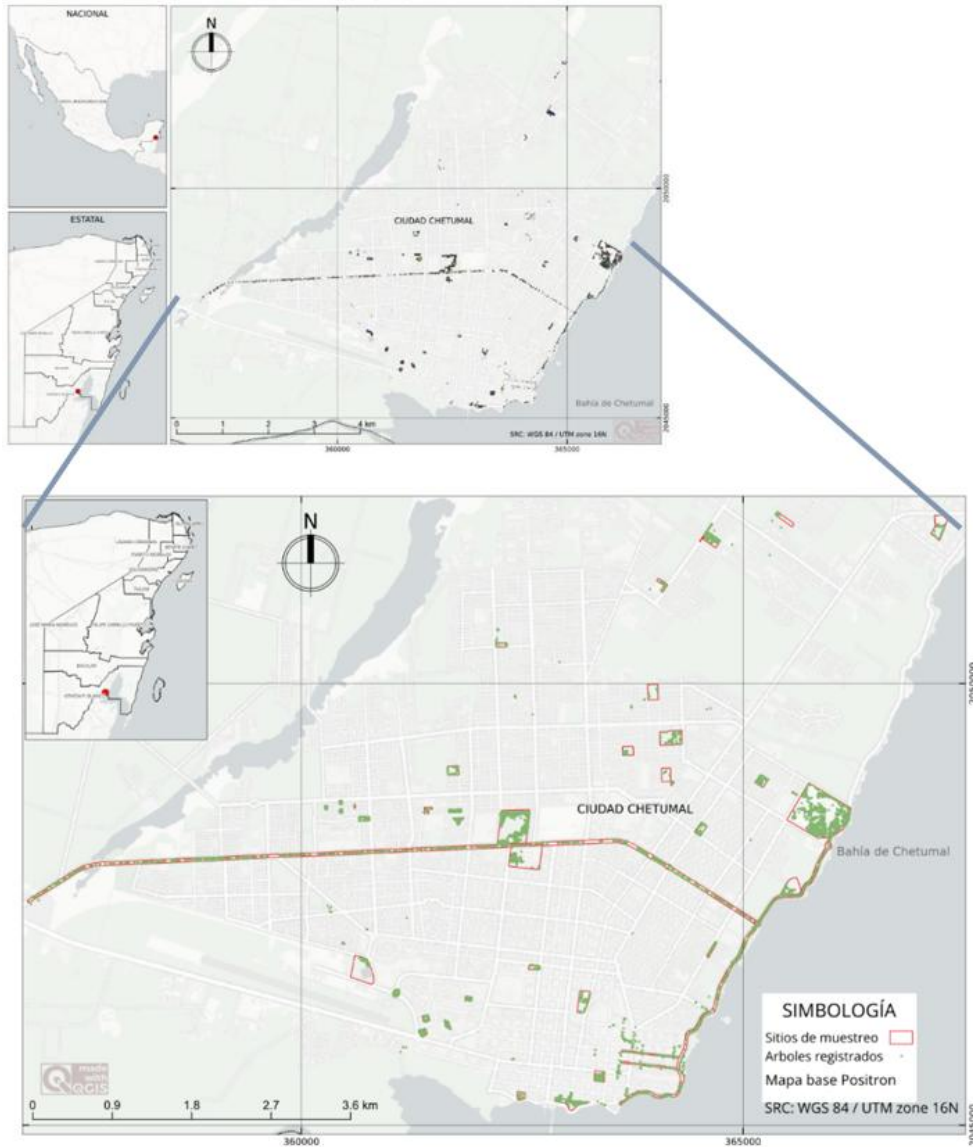


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio, ciudad de Chetumal, Quintana Roo.

La vegetación natural de la región corresponde principalmente a selva mediana subperennifolia y selva baja subperennifolia, con comunidades asociadas a zonas inundables y húmedales en áreas cercanas (OPB 2018). Aunque la ciudad de Chetumal presenta un paisaje altamente urbanizado, aún persisten remanentes de esta vegetación, los cuales influyen en la composición florística del arbolado urbano.

Inventario florístico

El inventario se realizó en el 45% de las áreas verdes reportadas por el Programa de Arbolado Urbano de la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente (SEMA) para la ciudad de Chetumal, porcentaje que representó el avance ejecutivo de dicho programa a la fecha del estudio. El muestreo permitió una cobertura espacial representativa de la matriz urbana al abarcar 82 polígonos distribuidos en 142.03 ha., considerando cinco tipos de áreas verdes: banquetas, camellones, edificios públicos, parques y predios. Los individuos fueron georreferenciados mediante la aplicación móvil (APK) oficial desarrollada por la SEMA, compatible con Android, que permite capturar datos dasométricos y fotografías para validar la identificación taxonómica (SEMA 2022). La toma de datos se llevó a cabo durante 2022-2024. Cada individuo se identificó taxonómicamente y se le midió el diámetro normal (DN) a 1.30 m de altura sobre el suelo, la altura total, y se tomó evidencia fotográfica.

Las palmeras (Arecaceae) se contabilizaron en el inventario general por su abundancia en el paisaje. No obstante, se excluyeron de los análisis de clases diamétricas y almacén de carbono debido a que, como monocotiledóneas arborescentes, carecen de crecimiento diamétrico secundario (madera verdadera), lo que hace a sus estípites incompatibles con las ecuaciones alométricas del arbolado. La identificación general de especies se realizó principalmente en campo con apoyo de ingenieros forestales locales, complementando con fotos almacenadas en la aplicación. Todos los datos de composición se validaron posteriormente en el servidor de la SEMA y con ayuda de personal técnico especializado.

Estructura y diversidad del arbolado

La estructura se describió a través del Índice de Valor de Importancia Ecológica (IVI), considerando: la abundancia de cada especie como el número de individuos registrados, la dominancia con base en su área basal por especie.

Abundancia y dominancia relativa e índice de valor de importancia (IVI)

El área basal de cada especie (A_b) se calculó como:

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

Donde: A_b = Área basal (m^2), π = 3.1416, y d = Diámetro normal (m).

La abundancia relativa $A(\%)$ como:

$$A(\%) = \frac{\text{Número de individuos de la especie } i}{\text{Número total de individuos}} \times 100$$

Para la Dominancia relativa (%) se empleó:

$$Dom(\%) = \frac{A_b \text{ de la especie } i}{AB \text{ total}} \times 100$$

Los valores relativos de los atributos estructurales se combinaron en el índice de valor de importancia (IVI). Debido a la naturaleza del censo urbano, se omitió el componente de frecuencia relativa para evitar sesgos metodológicos. De este modo se empleó un enfoque bivariado adaptado

que considera solo la abundancia relativa y la dominancia relativa en una escala de 0 a 100% (Holguín-Estrada *et al.* 2021):

$$IVI = \frac{A(\%) + Dom(\%)}{2}$$

Índice de Shannon-Wiener

Para conocer la diversidad alfa de las AVU se utilizó la fórmula:

$$H' = - \sum pi \times \ln(pi)$$

Donde: H' = Índice de entropía de Shannon-Wiener, pi = Proporción de individuos de la especie i , y \ln = Logaritmo natural.

Se utilizó también la regla 10-20-30 para evaluar la representación máxima de especies, géneros y familias (Hernández-López *et al.* 2023, Martínez-Trinidad *et al.* 2021). Los cálculos se realizaron en hojas de cálculo de Microsoft Excel.

Estimación de almacenamiento de carbono

Biomasa aérea

La biomasa se estimó mediante la ecuación alométrica propuesta por Chave *et al.* (2005), usando el diámetro a la altura del pecho y la densidad de la madera ρ (g/cm^3) de cada especie, a partir de la información en CONAFOR (2007) y Fisher *et al.* (2026):

$$BA = \rho \times \exp\left(-1.239 + 1.98 \times \ln(Dn) + 0.207 \times (\ln(Dn))^2 - 0.0281 \times (\ln(Dn))^3\right)$$

Donde: BA = Biomasa del árbol (kg), ρ = Densidad de madera (g/cm^3), y Dn = Diámetro normal (m) (medido a 1.30 m de la base del árbol).

Para especies sin valor de densidad de la madera disponible se utilizó $\rho = 0.614 \text{ g/cm}^3$ (Echeverría 2023).

Carbono almacenado y CO₂ equivalente

El carbono almacenado (CA) se calculó como:

$$CA = BA \times 0.5$$

La conversión a CO₂ equivalente se realizó según IPCC (2006):

$$CO_2eq = CA \times 3.67$$

Donde el factor 3.67 corresponde a la relación entre el peso molecular del CO₂ (44) y del carbono (12).

RESULTADOS

Composición florística de la vegetación urbana

En las áreas verdes analizadas de la ciudad de Chetumal se registraron un total de 7 205 individuos, pertenecientes a 133 especies y 40 familias. Las familias con mayor número de especies fueron

Fabaceae (22 taxones) y Arecaceae (18 taxones). El resto de las familias tuvo una representación de menos de 10 especies cada una. Las especies nativas representaron aproximadamente el 61 % de los individuos censados, mientras que las introducidas constituyeron cerca del 38 %, lo que evidencia un predominio de especies nativas en el arbolado urbano de las áreas verdes de Chetumal. La especie más abundante es *Cocos nucifera* con 837 individuos (introducida), seguido de *Adonidia merrillii* con 807 individuos, ambas de origen introducido (Figura 2). De acuerdo con el tipo de área verde, los parques urbanos presentaron la mayor riqueza específica, con 122 especies, seguidos por camellones y banquetas, que constituyen una característica estructural importante de la ciudad. Los edificios públicos y predios mostraron menor riqueza y abundancia específica. Las especies arbóreas más abundantes en el conjunto de áreas verdes fueron *Tabebuia rosea*, *Brosimum alicastrum*, y *Swietenia macrophylla*, las cuales son nativas y concentraron un porcentaje significativo del total de individuos registrados; además de la arbórea introducida *Cocos nucifera*.

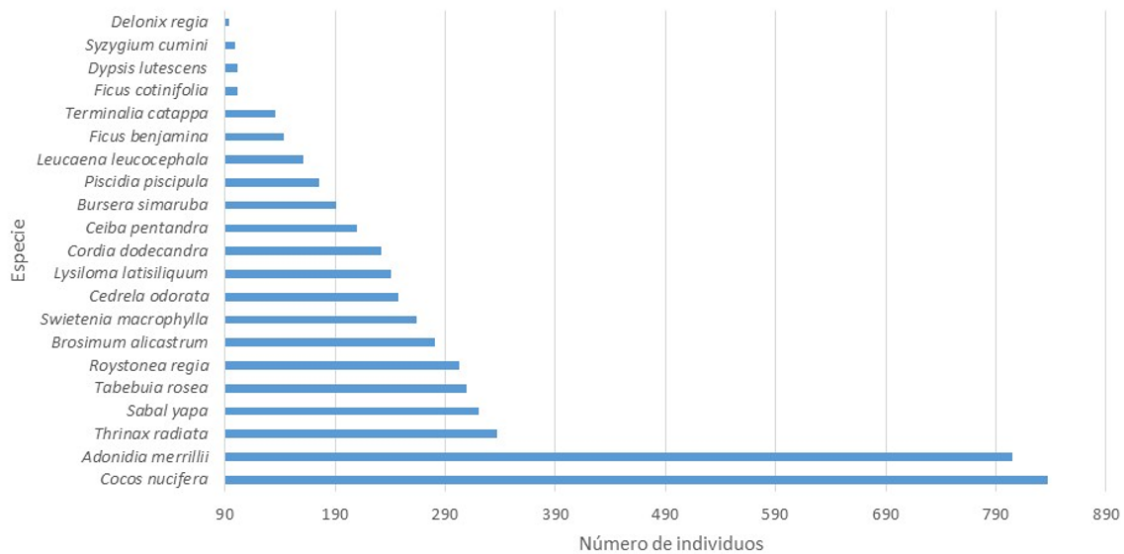


Figura 2. Principales especies vegetales registradas que conforman el arbolado urbano de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo.

Estructura del arbolado urbano

La estructura del arbolado urbano mostró una marcada variación entre especies y tipos de áreas verdes. La abundancia relativa, la dominancia relativa (área basal) y el Índice de Valor de Importancia (IVI) permitieron jerarquizar las especies con mayor relevancia estructural en la ciudad (Tabla 1). Las especies arbóreas con los valores más altos de IVI fueron *Tabebuia rosea*, *Swietenia macrophylla*, *Cedrella odorata* y *Lysiloma latisiliquum*, debido a su combinación de alta abundancia y elevada dominancia. Estas especies se distribuyeron principalmente en parques y camellones, donde se registraron los individuos de mayor diámetro y altura. Cabe indicar que la distribución diamétrica del arbolado urbano mostró una mayor concentración de individuos en las clases de diámetro pequeño y mediano, con una disminución progresiva en la frecuencia de individuos conforme aumentó su tamaño registrando de 1 a 2 individuos en las clases por arriba de los 120 cm (Figura 3).

Tabla 1. Especies arbóreas con mayor valor de importancia ecológica (IVI) del arbolado urbano de Chetumal, Quintana Roo.

Especie	Nº de individuos	Área basal total por especie (m ²)	Abundancia relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	298	27.683	7.385	7.385	11.078
<i>Swietenia macrophylla</i> King	260	42.115	6.444	6.444	9.665
<i>Cedrela odorata</i> L.	239	31.633	5.923	5.923	8.885
<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth.	238	41.702	5.898	5.898	8.848
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	218	3.360	5.403	5.403	8.104
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	205	49.138	5.081	5.081	7.621
<i>Cordia dodecandra</i> DC.	204	10.654	5.056	5.056	7.584
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	189	9.082	4.684	4.684	7.026
<i>Piscidia piscipula</i> (L.) Sarg.	174	20.499	4.312	4.312	6.468
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	161	13.264	3.990	3.990	5.985
<i>Ficus benjamina</i> L.	140	21.670	3.470	3.470	5.204
<i>Terminalia catappa</i> L.	136	23.681	3.371	3.371	5.056
<i>Ficus cotinifolia</i> Kunth	102	15.539	2.528	2.528	3.792
<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	98	2.807	2.429	2.429	3.643
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	93	9.867	2.305	2.305	3.457

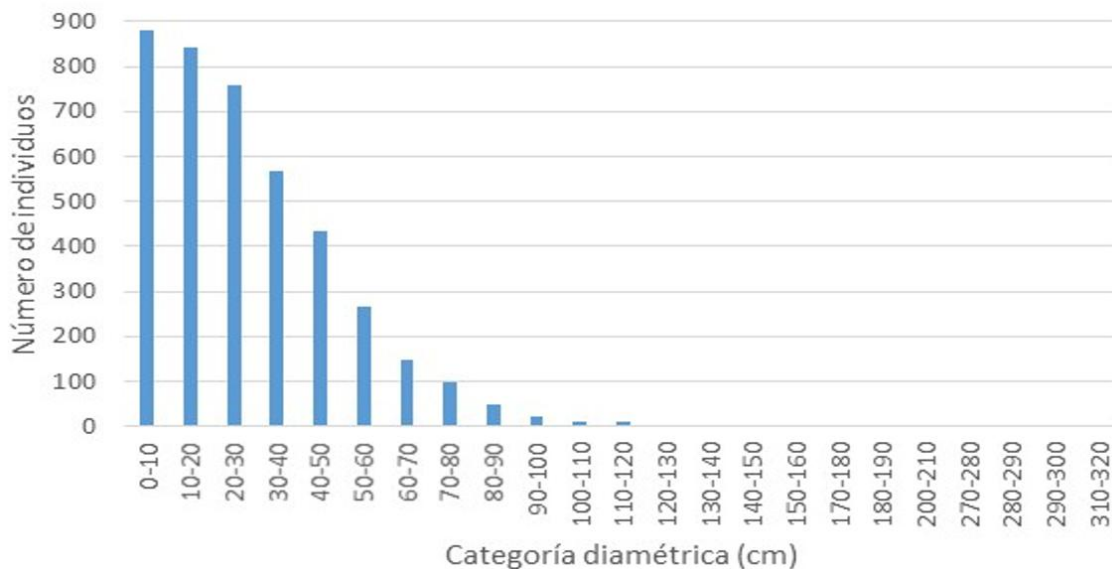


Figura 3. Distribución de los individuos por clases diamétricas del arbolado urbano en Chetumal, Quintana Roo (intervalos de 10 cm).

Diversidad del arbolado urbano

El índice de diversidad de Shannon–Wiener (H') para el conjunto del arbolado urbano de la ciudad de Chetumal fue de $H' = 3.68$, lo que indica una diversidad alta considerando el contexto urbano. Sin embargo, no se consideraron los individuos de la familia *Arecaceae* por no ser considerados

propiamente árboles sino arborescentes en esta etapa del inventario. Por su parte, la aplicación de la regla 10-20-30 mostró que ninguna especie superó el 10% del total de individuos, ningún género excedió el 20%, y ninguna familia rebasó el 30%, lo que sugiere una composición relativamente equilibrada del arbolado urbano.

Almacenamiento de carbono: biomasa, carbono y CO₂ equivalente

La estimación de la biomasa aérea total del arbolado urbano fue de 2 111 ton en los individuos analizados, concentrándose principalmente en especies arbóreas de gran porte como: *Swietenia macrophylla*, *Lysiloma latisiliquum*, *Tabebuia rosea* y *Cedrela odorata* (Figura 4). El carbono almacenado en la biomasa aérea se estimó en 1 055 ton de C, mientras que el CO₂ equivalente alcanzó un total de 3 871 ton de CO₂e. Como era de esperarse, las especies con mayor contribución al almacenamiento de carbono fueron *Swietenia macrophylla* y *Lysiloma latisiliquum*, lo cual se explica por la combinación de una elevada biomasa por individuo y su alta abundancia relativa en el arbolado urbano. Cabe indicar que la contribución de arbustos y palmeras al carbono total fue menor en comparación con los árboles, aunque su presencia fue constante en camellones y banquetas (aceras).

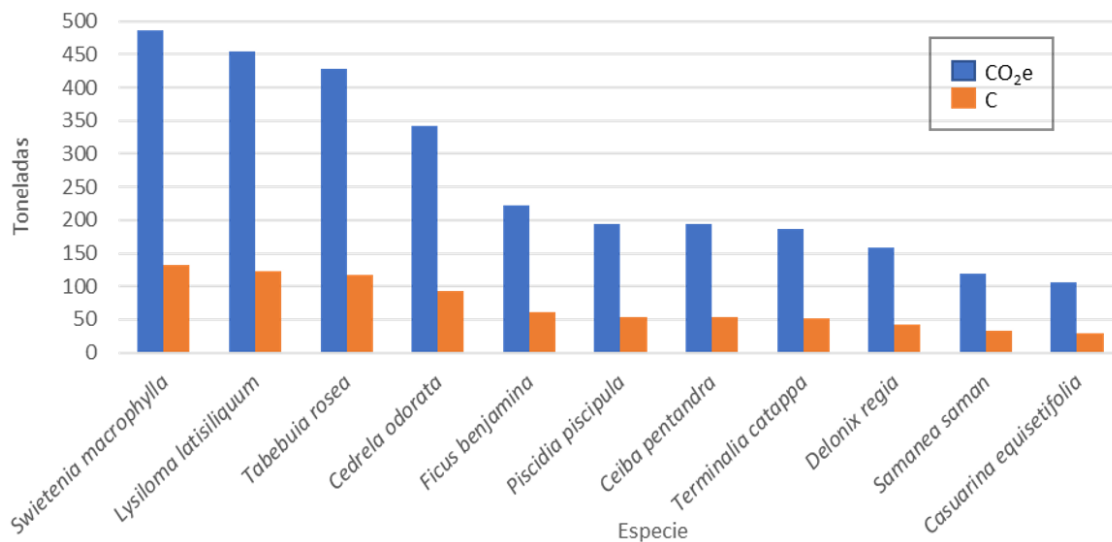


Figura 4. Especies con mayor aportación de servicios ecosistémicos en términos de C y CO₂e del arbolado urbano estudiado en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo.

DISCUSIÓN

La composición y diversidad del arbolado urbano de la ciudad de Chetumal reflejan patrones característicos de ciudades tropicales, donde las áreas verdes urbanas desempeñan un papel clave en la provisión de servicios ecosistémicos y en la conservación de la biodiversidad vegetal (Nagendra y Gopal 2010, Gómez-Baggethum *et al.* 2013). La riqueza de especies registrada es comparable o superior a la documentada en otras ciudades mexicanas, lo que resalta su importancia como reservorios de diversidad en contextos urbanos, particularmente en regiones con clima cálido y subhúmedo como el sureste de México (Mora-Olivo y Martínez 2012).

Adicionalmente, el predominio de especies nativas (71.9% de la riqueza y 61.5% de los individuos) sugiere que las áreas verdes de Chetumal conservan una composición florística estrechamente vinculada con la vegetación regional y es consistente con la permanencia de elementos de la flora regional dentro del paisaje urbano. Esta condición contrasta con lo reportado para muchas ciudades donde los espacios verdes están dominados principalmente por especies introducidas u ornamentales, y podría contribuir a explicar los patrones de estructura, biomasa y almacenamiento de carbono observados en este estudio. Desde una perspectiva funcional, el predominio de especies nativas puede favorecer el mantenimiento de interacciones entre la flora y la fauna local, contribuyendo al funcionamiento ecológico de la infraestructura verde (Gómez-Baggethum *et al.* 2013).

La dominancia de las familias Fabaceae y Arecaceae coincide con lo reportado en estudios de arbolado urbano realizados en diferentes ciudades del país, donde estas familias suelen ser frecuentes debido a su capacidad de adaptación a condiciones urbanas, valor ornamental y funcionalidad ecológica (Alanís *et al.* 2014, Leal *et al.* 2018, Sjöman *et al.* 2018). La mayor riqueza específica observada en parques urbanos concuerda con su función como espacios de mayor extensión y menor grado de fragmentación, en contraste con camellones y banquetas, que suelen presentar limitaciones edáficas y de manejo (Pearlmutter *et al.* 2017, Morgenroth *et al.* 2020). Este patrón ha sido ampliamente documentado en áreas verdes urbanas fragmentadas, donde la reducción del tamaño y la conectividad limita la provisión de servicios ecosistémicos (Canizales *et al.* 2020). En contraste, mientras los parques actúan como espacios que favorecen la conservación de la biodiversidad nativa, la infraestructura lineal, representada por banquetas y camellones, presentó una mayor proporción de especies ornamentales introducidas, particularmente palmeras (Nagendra y Gopal 2010). Esta asimetría espacial en la composición florística sugiere diferencias en la función ecológica de los distintos tipos de áreas verdes urbanas, ya que el predominio de especies introducidas, aunque puede favorecer la tolerancia a condiciones de estrés urbano, podría a la vez reducir la disponibilidad de hábitat para la biota nativa y promover una mayor homogeneización fisonómica del paisaje urbano. En este sentido, la conservación e incorporación de especies nativas en los diferentes componentes de la infraestructura verde podría contribuir a fortalecer la conectividad ecológica y la provisión de servicios ecosistémicos en la ciudad (Gómez-Baggethun *et al.* 2013).

La estructura del arbolado urbano de Chetumal, caracterizada por una mayor proporción de individuos en clases diamétricas pequeñas y medianas, sugiere una población relativamente joven o sujeta a manejo frecuente. Este patrón es consistente con lo observado en otras ciudades mexicanas, donde las prácticas de poda, sustitución y reforestación influyen directamente en la estructura poblacional del arbolado urbano (Flores-Xolocotzi y González-Guillén 2010, Mora-Olivo y Martínez 2012). Las especies con valores altos de IVI, como *Cordia dodecandra*, *Lysiloma latisiliquum* y *Tabebuia rosea*, destacan por su relevancia estructural y funcional, lo que las posiciona como especies clave dentro del sistema urbano y candidatas prioritarias para programas de manejo y conservación. La distribución diamétrica observada sugiere una estructura poblacional con potencial de renovación del arbolado urbano, debido al predominio de individuos en las clases de menor diámetro. No obstante, esta condición debe analizarse conjuntamente con la elevada representación de palmeras en algunos componentes de la infraestructura verde, ya que, aunque

estas especies contribuyen al paisaje urbano y presentan buena adaptación a las condiciones ambientales de la ciudad, su arquitectura y características funcionales difieren de las de los árboles leñosos con mayor desarrollo de copa. En este contexto, la planificación y el manejo del arbolado urbano deberían promover una composición estructural y taxonómica equilibrada que favorezca la permanencia de árboles capaces de proporcionar una mayor cobertura vegetal y una oferta más amplia de servicios ecosistémicos (Nagendra y Gopal 2010, Gómez-Baggethun *et al.* 2013).

Los valores del índice de Shannon-Wiener indican una diversidad relativamente alta para un entorno urbano, lo que coincide con estudios que señalan que las áreas verdes urbanas pueden mantener una composición arbórea diversa a pesar de su fragmentación (Sjöman *et al.* 2018). Asimismo, la aplicación de la regla 10-20-30 mostró una distribución taxonómica equilibrada (especies, géneros y familias), que es una condición deseable para reducir la vulnerabilidad del arbolado urbano ante plagas, enfermedades y eventos climáticos extremos (Santamour 1990, Martínez-Trinidad *et al.* 2021). Esta diversidad estructural adquiere especial relevancia en regiones tropicales expuestas a ciclones, donde la heterogeneidad del arbolado puede incrementar la resiliencia del sistema urbano. Desde una perspectiva funcional, la coexistencia de especies arbóreas leñosas y palmeras incrementa la diversidad estructural del arbolado urbano. La presencia de diferentes formas de crecimiento puede favorecer una mayor complementariedad funcional dentro de la infraestructura verde y contribuir a la provisión de múltiples servicios ecosistémicos en ciudades tropicales (Nagendra y Gopal 2010, Gómez-Baggethun *et al.* 2013).

En cuanto a los servicios ecosistémicos, la estimación de biomasa y carbono almacenado confirma que el arbolado urbano de Chetumal contribuye de manera significativa al servicio de regulación climática, particularmente mediante el almacenamiento de carbono, tal como se ha documentado en otros estudios en bosques urbanos de distintas regiones (Davies *et al.* 2011, Dobbs *et al.* 2014, López-López *et al.* 2018, Schlaepfer *et al.* 2020). Las especies arbóreas de mayor porte concentraron la mayor proporción de biomasa y carbono, lo que coincide con la evidencia de que un número reducido de especies suele aportar la mayor parte de este servicio ecosistémico en ambientes urbanos (Jim y Chen 2009). Este hallazgo pone de manifiesto la necesidad de equilibrar la conservación de la diversidad florística con la provisión de servicios ecosistémicos, particularmente el almacenamiento de carbono (Gómez-Baggethun *et al.* 2013). Aunque las especies introducidas constituyen una proporción importante del arbolado de alineación y del paisaje urbano en determinados sectores de la ciudad, su contribución al almacenamiento de carbono fue menor que la aportada por los árboles leñosos nativos de mayor porte, principalmente especies nativas cuya elevada biomasa representa el principal reservorio de carbono del arbolado urbano de Chetumal. Aunque los arbustos y palmeras presentan una contribución menor al carbono total, su importancia radica en otros servicios complementarios, como la regulación microclimática, soporte al suelo, la estética urbana y la provisión de hábitat para otros organismos.

La información generada aporta elementos técnicos para fortalecer estrategias de conservación y manejo de las áreas verdes urbanas, orientadas a maximizar la provisión de bienes y servicios ecosistémicos, tal como lo proponen Flores-Xolocotzi y González-Guillén (2010). Además, este estudio contribuye a reducir la escasez de información sobre arbolado urbano en el sureste de México, ofreciendo una base de referencia para futuras investigaciones y para la toma de decisiones en el marco del desarrollo urbano sostenible.

CONCLUSIONES

El inventario del arbolado urbano de la ciudad de Chetumal permitió caracterizar la estructura, composición y diversidad de árboles, arbustos y palmas presentes en las áreas verdes urbanas, evidenciando una composición florística diversa y representativa de la zona. Asimismo, el predominio de las especies nativas tanto en riqueza como en abundancia resalta la importancia de las áreas verdes urbanas como reservorios de la flora regional y su potencial para contribuir a la conservación de la biodiversidad en ambientes urbanos. Entre las áreas verdes, los parques concentraron la mayor riqueza de especies, seguidos por camellones y banquetas, los cuales, en conjunto, albergan una proporción significativa de la diversidad vegetal urbana, reflejando su importancia dentro de la infraestructura verde de la ciudad. Por otra parte, la estructura diamétrica del arbolado mostró mayor representación de individuos en categorías de menor diámetro, lo que evidencia una población con potencial de desarrollo y capacidad para incrementar, en el futuro, la provisión de servicios ecosistémicos asociados al arbolado urbano. Los mayores valores de biomasa y almacenamiento de carbono se concentraron principalmente en especies arbóreas dominantes, lo que pone de manifiesto el papel del arbolado urbano en la provisión de servicios ecosistémicos de regulación, particularmente en la captura y almacenamiento de carbono y la contribución del arbolado urbano de Chetumal al funcionamiento ecológico del sistema urbano y a la mitigación de impactos asociados al cambio climático. En conjunto, se aporta información científica relevante sobre la composición, estructura, diversidad y servicios ecosistémicos del arbolado urbano en una ciudad del sureste de México, proporcionando elementos útiles para la planificación, conservación y gestión integral de las áreas verdes urbanas, particularmente en la selección de especies y el fortalecimiento de una infraestructura verde resiliente, en contextos tropicales.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente de Quintana Roo (SEMA), Dirección de Manejo y Productividad Forestal y a la Dirección de Cambio Climático por facilitar los datos para el análisis, en particular al Biól. Luis Antonio Mora Tembre.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

Alanís FG (2005) El arbolado urbano en el área metropolitana de Monterrey. *Ciencia UANL* 8(1): 20-32.
Alanís E, Jiménez J, Mora-Olivo A, Canzales P, Rocha L (2014) Estructura y composición del arbolado urbano de un campus universitario del noreste de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 1(7): 93-101.

- Benavides MH (1989) Bosque urbano: La importancia de su investigación y correcto manejo. En: Memoria del Congreso Forestal Mexicano 1989, Tomo II. Gobierno del Estado de México y Academia Nacional de Ciencias Forestales A.C. Toluca, Estado de México, México. pp. 966-992.
- Benavides MH, Young DF (2012) Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. *Madera y Bosques* 18(2): 51-71.
<https://doi.org/10.21829/myb.2012.182352>
- Blood A, Starr G, Escobedo F, Chappelka A, Staudhammer C (2016) How do urban forests compare? Tree diversity in urban and periurban forests of the southeastern US. *Forests* 7(6): 120.
<https://doi.org/10.3390/f7060120>
- Brown S, Lugo AE (1982) The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica* 14: 161-187.
- Canizales VP, Alanís ER, Holguín VA, García SG, Chávez AC (2020) Caracterización del arbolado urbano de la ciudad de Montemorelos, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11(62): 111-135.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.768>
- Carreiro MM, Song YC, Wu J (2008) Ecology, planning and management of urban forests: international perspectives. Springer. New York, USA. 468p.
- Chave J, Andalo C, Brown SL, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure JP, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Riéra B, Yamakura T (2005) Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145(1): 87-99.
<https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Checa-Artasu MM (2016) Las áreas verdes en la Ciudad de México: Las diversas escalas de una geografía urbana. *Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales* XXI(1159): 1-22.
- CONAFOR (2007) *Fichas técnicas sobre características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México*. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jalisco, México.
<http://www.conafor.gob.mx:8080/biblioteca/ver.aspx?articulo=32>. Fecha de consulta: 12 de enero de 2025.
- Davies ZG, Edmondson JL, Heinemeyer A, Leake JR, Gaston KJ (2011) Mapping an urban ecosystem service: Quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *Journal of Applied Ecology* 48(5): 1125-1134. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02021.x>
- Dobbs C, Kendal D, Nitschke CR (2014) Multiple ecosystem services and disservices of the urban forest establishing their connections with landscape structure and sociodemographics. *Ecological Indicators* 43: 44-55. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.007>
- Fischer FJ, *et al.* (2026) Global Wood Density Database v.2 (GWDD v.2) (v2.2 with metadata). Dataset. Zenodo.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.20815517>
- Flores-Xolocotzi R, González-Guillén MdeJ (2010) Planificación de sistemas de áreas verdes y parques públicos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(1): 17-24. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v1i1.649>
- Gómez-Baggethun E, Gren Å, Barton DN, Langemeyer J, McPhearson T, O'Farrell P, Andersson E, Hamstead Z (2013) Urban ecosystem services. In: Elmqvist T, Fragkias M, Goodness J, Güneralp B, Marcotullio PJ, McDonald RI, Parnell S, Schewenius M, Sendstad M, Seto KC, Wilkinson C (eds) *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities*. Springer. Dordrecht, Netherlands. pp. 175-251. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1_11
- Hernández-López P, Martínez-Trinidad T, Hernández-de la Rosa P, Mohedano-Caballero L, González-Guillén M de J (2023) Ecological characterization of trees at Molino de Flores Netzahualcóyotl National Park. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 29(3).
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2023.01.002>
- Hitchings DR (1981) *Prontuario de dasonomía urbana*. Arizona State Land Department. Forestry Division. University of Arizona. USDA Forest Service. Arizona, USA. 37p.

- Holguín-Estrada VA, Alanís-Rodríguez E, Aguirre-Calderón OA, Yerena-Yamallel JI, Pequeño-Ledezma MA (2021) Estructura y composición florística de un bosque de galería en un gradiente altitudinal en el noroeste de México. *Madera y Bosques* 27(2): e2722123. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722123>
- INEGI (2025) Marco Geoestadístico. Área Geoestadística Estatal y Municipal. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/> Fecha de consulta: 30 de marzo 2025.
- IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K (eds). Intergovernmental Panel on Climate Change. Hayama, Japón. 200 p.
- Jim CY, Chen WY (2009) Ecosystem services and valuation of urban forests in China. *Cities* 26(4): 187-194. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2009.03.003>
- Kuchelmeister G (2000) Árboles y silvicultura en el milenio urbano. *Unasyuva* 51(200): 49-55.
- Leal EC, Leal N, Alanís E, Pequeño M, Mora-Olivo A, Buendía E (2018) Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(48): 252-270. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.129>
- López-López SF, Martínez-Trinidad T, Benavides-Meza HM, García-Nieto M, Ángeles-Pérez G (2018) Reservorios de biomasa y carbono en el arbolado de la primera sección del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México. *Madera y Bosques* 24(3): e2431620. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431620>
- Martínez-Trinidad T, Hernández-de la Rosa P, López-López SF, Mohedano 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>
- Mora-Olivo A, Martínez ÁJG (2012) Plantas silvestres del bosque urbano, Cd. Victoria, Tamaulipas. Editorial Dolores Quintanilla. Saltillo, México. 139p.
- Morgenroth J, Chapman T, Davies H, Melville W (2020) New Zealand's urban forests: monitoring and managing for improved ecosystem services. *Tree Matters* 86: 12-13.
- Moussa S, Kuyah S, Kyereh B, Tougiani A, Mahamane S (2020) Diversity and structure of urban forests of Sahel cities in Niger. *Urban Ecosystems* 23(4): 851-864. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-00984-6>
- Nagendra H, Gopal D (2010) Street trees in Bangalore: density, diversity, composition and distribution. *Urban Forestry & Urban Greening* 9(2): 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.12.005>
- OPB (2018) Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Chetumal. H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco. Chetumal, México.
- OPB (2025) Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Chetumal. H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco. Chetumal, México. 375p.
- Ortiz NL, Luna CV (2019) Diversidad e indicadores de vegetación del arbolado urbano en la ciudad de Resistencia, Chaco, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía UBA* 39(2): 54-68. <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/viewFile/97/93> Fecha de consulta: 12 de marzo de 2025.
- Pearlmutter D, Calfapietra C, Samson R, O'Brien L, Krajter Ostoić S, Sanesi G, Alonso del Amo R (eds.) (2017) *The Urban Forest: Cultivating Green Infrastructure for People and the Environment*. Future City 7. Springer International Publishing. Cham, Switzerland. 309p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9>
- Saavedra-Romero L, Hernández-de la Rosa P, Alvarado-Rosales D, Martínez-Trinidad T, Villa-Castillo J (2019) Diversidad, estructura arbórea e índice de valor de importancia en un bosque urbano de la Ciudad de México. *Polibotánica* 47: 25-37. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.3>
- Sacksteder CJ, Gerhold HD (1979) *A Guide to Urban Tree Inventory Systems*. Research Paper 43. School of Forest Resources, Pennsylvania State University. 52p.

- Schlaepfer MA, Guinaudeau BP, Martin P, Wyler N (2020) Quantifying the contributions of native and non-native trees to a city's biodiversity and ecosystem services. *Urban Forestry & Urban Greening* 56: 126861. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126861>
- SEMA (2022) Programa de Arbolado Urbano del Estado de Quintana Roo. Secretaría de Ecología y Medio Ambiente, Gobierno del Estado de Quintana Roo. Chetumal, México.
- Sjöman H, Hirons AD, Bassuk NL (2018) Improving confidence in tree species selection for challenging urban sites: a role for leaf turgor loss. *Urban Ecosystems* 21(6): 1171-1188. <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0791-5>
- Suárez AS, Robles QEF (2008) Dasonomía urbana del municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*. 97p. <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2008/sarq.htm>. Fecha de consulta: 23 de julio de 2024.
- Tovar-Rodríguez A (2005) Disturbios que afectan el desarrollo de las plantas en áreas urbanas. En: Foroughbakhch R, Alvarado M, Torres T, Marroquín J (eds) *Tópicos selectos de botánica 2: etnobotánica, sistemática, fisiología y plantas en ambientes urbanos*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. pp. 212.
- Velasco Bautista J, López-López S, Rodríguez-Hernández C (2013) Diagnóstico y caracterización del arbolado del bosque de San Juan de Aragón. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(19): 102-112. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i19.382>