

Tlamati Sabiduría



Censo comunitario del arbolado urbano y su estimación de almacenamiento de carbono: un ejercicio de ciencia ciudadana en Guadalupe Victoria, Durango, México

Víctor Samir Jaik-Morán¹
Susana María Lorena Marceleno-Flores^{2*}
Oyolsi Nájera-González²
Areli Nájera-González³

¹Instituto Tecnológico Superior de la Región de los Llanos. Calle Tecnológico No. 200, 34700, Guadalupe Victoria, Durango, México.

²Cuerpo Académico Recursos Naturales, Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura "Amado Nervo" Boulevard Tepic-Xalisco No. 325, 63155, Tepic, Nayarit, México.

³Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura "Amado Nervo" Boulevard Tepic-Xalisco No. 325, 63155, Tepic, Nayarit, México.

*Autor de correspondencia
susana.marceleno@uan.edu.mx

Resumen

El arbolado urbano desempeña un papel crucial en la sostenibilidad ambiental, contribuyendo a la mitigación del cambio climático, la mejora de la calidad del aire y la promoción de la biodiversidad. Sin embargo, la falta de información detallada sobre las especies arbóreas presentes en las ciudades dificulta la gestión y conservación adecuada de estos recursos. La obtención de esta información requiere de mucho capital humano para la recolección de datos en campo. Para abordar esta problemática, la investigación presenta un ejercicio de ciencia ciudadana para el censo del arbolado urbano y la estimación de su servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono, tomando como caso de estudio la ciudad de Guadalupe Victoria, Durango, México. La urbe fue muestreada por zonas, realizando un conteo de los árboles y arbustos arbóreos presentes en las áreas verdes urbanas, y registrando su nombre común y especie. Posteriormente, con esta información se estimó el almacenamiento de carbono en superficie arbolada utilizando el software i-Tree Canopy. Como resultado se censaron un total de 4,503 ejemplares. Las especies de árboles de mayor presencia fueron los huizaches (*Vachellia farnesiana*), jacarandas (*Jacaranda mimosifolia*), truenos (*Ligustrum lucidum*), mezquites (*Prosopis juliflora*) y especies de las familias *Pinaceae* y *Casuarina*. El almacenamiento de carbono en la superficie arbolada fue estimado en 5,678.9 toneladas de carbono. Se espera que este ejercicio sea un ejemplo útil y replicable para generar información que oriente acciones de conservación y manejo del arbolado urbano, así como para fomentar la participación ciudadana.

Palabras clave: Inventario arbóreo, Biodiversidad urbana, Sustentabilidad urbana, Reservas de carbono, Servicios ecosistémicos, Ciencia ciudadana.

Información del Artículo

Cómo citar el artículo:

Jaik-Morán, V.J., Marceleno-Flores, S.M.L., Nájera-González, O., Nájera-González, A. (2025). Censo comunitario del arbolado urbano y su estimación de almacenamiento de carbono: un ejercicio de ciencia ciudadana en Guadalupe Victoria, Durango, México. *Tlamati Sabiduría*, 21, 5-16.

Editor Asociado: Dr. José Luis Rosas-Acevedo



Abstract

Urban trees play a crucial role in environmental sustainability, contributing to climate change mitigation, air quality improvement, and biodiversity promotion. However, the lack of detailed information on tree species in urban areas complicates the effective management and conservation of these resources. Often, gathering this information requires considerable human resources for field data collection. To address this issue, this research presents a citizen science exercise for urban tree census and the estimation of its ecosystem service of carbon storage, using the city of Guadalupe Victoria, Durango, Mexico, as a case study. The city was sampled by zones, conducting a count of trees and arboreal shrubs in urban green areas and recording their common and scientific names. Subsequently, carbon storage in the tree-covered area was estimated using the i-Tree Canopy software. As a result, a total of 4,503 specimens were surveyed. The most prevalent tree species were huizaches (*Vachellia farnesiana*), jacarandas (*Jacaranda mimosifolia*), truenos (*Ligustrum lucidum*), mezquites (*Prosopis juliflora*) and species from the Pinaceae family and Casuarina. Carbon storage in the tree-covered area was estimated at 5,678.9 tons of carbon. This exercise is expected to serve as a useful and replicable example for generating information that guides conservation and management actions for urban trees, as well as fostering citizen participation.

Keywords: Tree inventory, Urban biodiversity, Urban sustainability, Carbon stock, Ecosystem services, Citizen science.

Introducción

La biodiversidad, en sus múltiples formas y manifestaciones, constituye una de las principales riquezas del planeta. Su conservación y estudio son de importancia en la era contemporánea, en la que el cambio climático y la degradación ambiental amenazan la sostenibilidad de los ecosistemas (Pérez-Miranda *et al.*, 2018). Dentro de esta biodiversidad, el componente arbóreo ocupa un lugar destacado. Como ha sido declarado en el Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, conocido como ONU-Habitat, los árboles, más allá de su aparente inmovilidad, son verdaderos actores dinámicos en el equilibrio ecológico y en la configuración de paisajes, tanto rurales como urbanos (ONU, 2019). En este sentido, las zonas urbanas, a menudo vistas como epicentros de contaminación y deterioro ambiental, presentan oportunidades únicas para explorar la interacción entre el componente arbóreo y la sustentabilidad en ciudades (Mancha-Gálvez y Venegas-Sahagún, 2023). Generar información sobre la diversidad arbórea en espacios urbanos puede tener múltiples beneficios para la planeación de las urbes. Según los estudios de Pérez-Miranda *et al.* (2018), una inadecuada gestión del arbolado urbano puede conducir a la pérdida de especies, alteración de hábitats y una reducida capacidad de estos sistemas para ofrecer servicios ecosistémicos. Algunos estudios han subrayado la importancia de los árboles en la regulación de la temperatura y la mejora de la calidad del aire, en especial por su capacidad de absorción de dióxido de carbono (CO₂), un gas de efecto invernadero (GEI), responsable del cambio climático (Rosas-Lusett y Bartorila, 2017). Además, la diversidad arbórea en zonas urbanas contribuye a mejorar la calidad de vida, ofreciendo espacios de recreación, reduciendo el estrés y fortaleciendo el vínculo entre los ciudadanos y su entorno (ONU, 2019).

Es desafiante cuantificar los beneficios que los ecosistemas urbanos y periurbanos aportan; no obstante, los progresos en la inclusión de variables cada vez más

detalladas en los modelos de software facilitan la incorporación de componentes previamente excluidos en la comprensión de los sistemas y sus interacciones (González-Hernández *et al.*, 2023).

Software como i-Tree Canopy que se sustenta de modelos estandarizados como el UFORE (Urban Forest Effects Model) del Servicio Forestal de los Estados Unidos, proporcionan la estimación de los servicios ecosistémicos del arbolado urbano, particularmente el almacenamiento y secuestro de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEI), la regulación de la calidad del aire y beneficios para el sistema hidrológico (Ghorbankhani *et al.*, 2024). Estas herramientas emergen como una alternativa para acercar al público a la comprensión de los servicios ecosistémicos en un contexto urbano. Se caracterizan por ser gratuitas, accesibles y fáciles de usar y analizar para cualquier persona, independientemente de su formación académica, profesión o rol como tomador de decisiones (Boukili *et al.*, 2017).

Por ejemplo, en cuanto al almacenamiento de carbono, estos softwares han permitido realizar diversos estudios para estimar los beneficios del arbolado urbano en este servicio ecosistémico. Nyelele *et al.* (2019), encontraron que los árboles del Bronx, Nueva York, almacenan 195,500 toneladas de carbono, lo equivalente a 79.3 toneladas de carbono por hectárea. En la región Latinoamérica, destaca el estudio de Matías *et al.* (2019) donde estimaron que los árboles en un parque urbano de Villavicencio, Colombia, almacenan más de 580 toneladas de carbono, es decir 55.9 toneladas por hectárea.

En México existen estudios como los de Morales-Inocente *et al.* (2020) y Mancilla-Morales *et al.* (2024). El primero situado en Durango, se enfoca en un entorno forestal de especies de coníferas, estimando el almacenamiento de carbono en 66.4 toneladas por ha. Mientras que el segundo, en el Estado de México, se centra en un contexto urbano estimando el almacenamiento de carbono en parques de Texcoco en 16.8 toneladas por ha.

Ambos estudios coinciden en que las especies, densidad arbórea, tamaño, antigüedad y condiciones físicas de los árboles determinan la cantidad de carbono almacenado. En este caso el almacenamiento de carbono en una plantación forestal dominada por la especie de pino duranguense (*Pinus durangensis*), es cuatro veces mayor al almacenamiento de parques urbanos en donde las especies que prevalecen son Eucaliptos, Jacarandas, Casuarinas y Ficus. Además, mencionan que las especies involucradas varían debido a las diferencias en el entorno, clima y biodiversidad.

Cabe mencionar también la investigación de [Santoyo-Gómez et al. \(2014\)](#) sobre un parque urbano de la Ciudad de México, en donde se calcula que se mantienen almacenadas 63.6 toneladas de carbono por hectárea. Y el estudio de [García \(2023\)](#), respecto a una ciudad en crecimiento al oeste de México, la ciudad de Tepic, en donde se estimó que las áreas verdes almacenan alrededor de 78.05 toneladas de carbono por hectárea.

La facilidad de uso de estos softwares para la estimación de los servicios ecosistémicos del arbolado urbano abre nuevas posibilidades para el diseño de proyectos de ciencia ciudadana. Estas herramientas permiten a los ciudadanos recopilar información de manera sencilla y eficiente, contribuyendo así a la generación de datos científicos valiosos.

La ciencia ciudadana se refiere al esfuerzo colaborativo entre el público y los científicos para recopilar y analizar datos para la investigación científica. Como lo explican [Finquelievich y Fischnaller \(2014\)](#), implica la participación voluntaria de individuos de todos los ámbitos, quienes aportan su tiempo, habilidades y recursos para avanzar en el conocimiento científico. En este contexto, el trabajo científico no se limita a la actividad intelectual, sino que también abarca la realización de tareas físicas que generen información o datos útiles para proyectos de investigación.

La participación voluntaria de la sociedad en actividades científicas ofrece múltiples beneficios tanto para la comunidad científica como para la sociedad en general. La ciencia ciudadana empodera a las personas para convertirse en agentes activos en la generación de conocimiento, fomentando la participación ciudadana en la toma de decisiones y la resolución de problemas; en las nuevas generaciones despierta el interés por la ciencia y la tecnología, inspirando vocaciones científicas y estimulando la innovación ([Anglada y Abadal, 2018](#)).

La participación en proyectos de ciencia ciudadana relacionados con el medio ambiente, por ejemplo, el monitoreo de la calidad del aire o la biodiversidad, fomenta la sensibilización y la educación ambiental en la población ([Blasco-Ejarque et al., 2021](#)). Esta sinergia permite avanzar hacia una ciencia más abierta, transparente y relevante, capaz de abordar los desafíos del presente y construir un futuro más sostenible y justo para todos.

En el caso de la estimación de los servicios ecosistémicos del arbolado urbano, la ciencia ciudadana permite optimizar la recolección y el muestreo de datos en campo, a la vez que genera conocimiento y conciencia sobre la importancia de los árboles y zonas verdes entre los ciudadanos participantes ([Fernández-Álvarez y Fernández-Nava, 2020](#)).

En respuesta a la carencia de información detallada sobre las especies arbóreas presentes en las ciudades, este estudio propone un ejercicio de ciencia ciudadana para el censo del arbolado urbano y la estimación de su servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono.

La ciudad de Guadalupe Victoria, Durango, México, fue seleccionada como caso de estudio para esta investigación, con el objetivo de abordar tres preguntas fundamentales: ¿Cuáles son las especies arbóreas predominantes, en qué áreas de la ciudad se distribuyen, y cuál su contribución del almacenamiento carbono? Las áreas urbanas en crecimiento, como Guadalupe Victoria, enfrentan el desafío de equilibrar el desarrollo con la conservación ambiental. La conveniencia de realizar un censo de árboles en esta localidad radica en la necesidad de comprender y gestionar mejor el entorno natural en medio del desarrollo urbano.

Materiales y métodos

Área de estudio

La ciudad de Guadalupe Victoria se encuentra situada en la región de la Sierra Madre Occidental, del estado de Durango en México. Como lo describe la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), es la cabecera municipal del municipio del mismo nombre, y se localiza en las coordenadas 23°28'N y 105°35'O, a una altitud de 1880 metros sobre el nivel del mar; se caracteriza por su clima semiseco templado, con veranos cálidos de escasas lluvias e inviernos fríos y sub-húmedos ([CONAGUA, 2014](#)). Según el censo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el municipio tiene una población de aproximadamente 36,695 habitantes, y la ciudad 18,784 habitantes; su economía se basa en la minería, la industria forestal y las maquiladoras ([INEGI, 2020](#)).

De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), si bien presenta una baja densidad poblacional, Guadalupe Victoria es una ciudad en rápido crecimiento. En 2010, su densidad poblacional era de 26,1 hab/m², cifra que para el 2020 aumentó a 28,1 hab/m²; este ritmo de expansión también incrementa su vulnerabilidad a diversos riesgos climáticos, principalmente sequías, escasez de recursos hídricos, erosión y olas de calor ([SEDATU, 2014](#)). En este contexto, las coberturas vegetales desempeñan un papel fundamental como mitigadores de los efectos del cambio climático, contribuyendo a la regulación del microclima urbano ([CONAGUA, 2014](#)).

Censado del arbolado urbano

El arbolado urbano comprende los árboles y arbustos de tipo arbóreo presentes en áreas urbanas, ya sea en parques, calles, patios privados o espacios no desarrollados (Núñez, 2022). En esta investigación se censaron los árboles ubicados exclusivamente en el área verde urbana de uso público, es decir, los ubicados en parques, plazas, jardines, deportivos, canales, banquetas y camellones.

Para realizar el censo, se implementó una técnica de muestreo por conglomerados. La ciudad de Guadalupe Victoria fue dividida en seis zonas que corresponden con los barrios tradicionales existentes desde la fundación de la ciudad: Loma Verde, Ejidal, La Estación, Centro, La Hacienda y Mi Ranchito/El Hormiguero. Se excluyeron las colonias ubicadas en la periferia, como Las Flores y La Noria, debido al desarrollo reciente y características distintas a los barrios del resto de la urbe.

La decisión de utilizar los barrios tradicionales como base para la zonificación radica en la importancia que estos representan en la identidad cultural y social de la ciudad. Además, esta estrategia facilitó la comunicación y colaboración con los residentes locales durante el proceso de recolección de datos. El muestreo por conglomerados, en combinación con la zonificación por barrios, permitió obtener una distribución espacial representativa de los árboles en la ciudad.

La adquisición de la información sobre el arbolado urbano en cada zona fue conducida a través de la participación ciudadana de los residentes. En este sentido, se capacitaron brigadas de estudiantes, padres de familia, y ciudadanos voluntarios para identificar y registrar las características de los árboles y arbustos arbóreos. Cada brigada fue asignada a una zona. Se solicitó que para cada ejemplar arbóreo se recolectaron los siguientes datos:

- Nombre común: Se registró el nombre común del árbol o arbusto arbóreo, el cual es utilizado habitualmente por la población local para referirse a la especie.
- Nombre científico: Para determinar el nombre científico de cada árbol o arbusto arbóreo, se empleó la aplicación móvil PictureThis. Esta herramienta permite identificar la especie del árbol a partir de una fotografía tomada con la cámara del teléfono celular, proporcionando tanto el nombre común como el científico. Algunas especies fueron identificadas únicamente hasta familia o género.
- Localización: La ubicación geográfica de cada árbol o arbusto arbóreo se registró utilizando la herramienta Google Maps. Esto permitió mostrar la distribución espacial de las especies arbóreas en la ciudad y estimar la densidad arbórea por zonas.

Procesamiento de la información

Una vez recolectados, los datos fueron sometidos a un proceso de verificación general, realizado por el comité responsable de la investigación. Posteriormente, los datos verificados fueron organizados y almacenados en una base

de datos digital, a partir de la cual se realizaron análisis estadísticos para obtener información de cada zona de la ciudad:

- Total de árboles y arbustos arbóreos: Se determinó el número total de árboles presentes en cada zona de la ciudad.
- Densidad arbórea: Se calculó la densidad arbórea para cada zona, expresada como el número de árboles y arbustos arbóreos por hectárea de extensión. Este indicador permite evaluar la cobertura arbórea en diferentes áreas y comparar la ciudad con otras ciudades o regiones.

Estimación del almacenamiento de carbono

La estimación se llevó a cabo utilizando el software i-Tree Canopy. Este software emplea la ubicación del arbolado como puntos de entrenamiento para identificar y caracterizar áreas verdes sobre la imagen satelital de un área urbana. El modelo se basa en datos recopilados mediante métodos de campo estandarizados para estimar los servicios ecosistémicos de almacenamiento de carbono en áreas verdes (Nowak *et al.*, 2008).

En el software, el proceso consistió en establecer clases de cobertura superficial y asignar puntos de entrenamiento para cada clase. Estos puntos de entrenamiento fueron previamente verificados en campo. En este caso, se definieron tres clases de coberturas:

1. Suelos desnudos: áreas de tierra sin vegetación.
2. Superficies impermeables: casas, edificios, caminos, calles.
3. Superficie arbolada: árboles, arbolado de tipo arbustivo y palmas.

Los puntos de entrenamiento representan una muestra de lo que se observa en el terreno. Para las clases de suelos desnudos y superficies impermeables, se decidió ingresar 250 puntos de entrenamiento de cada una, y de cada zona de la ciudad. Estos puntos fueron seleccionados y verificados en campo para garantizar precisión. En el caso de la clase superficie arbolada, se utilizaron los resultados del censo del arbolado en cada zona como puntos de entrenamiento. Esto pensando en obtener una representación precisa de la distribución de los árboles en la ciudad.

Con esta información, el software estima el área superficial de las clases definidas, y estima la cantidad de carbono almacenado en la clase superficie arbolada, entre otros servicios ecosistémicos.

Resultados

En total se censaron 4,503 ejemplares de árboles y arbustos arbóreos de seis zonas de la ciudad de Guadalupe Victoria, Durango. Estas zonas abarcan una superficie de 365.2 hectáreas, lo que representa aproximadamente el 60% de la mancha urbana. Con base en esta información, se

Tabla 1. Censado de arbolado urbano por zonas de la ciudad de Guadalupe Victoria, Durango.

Zona	Número de ejemplares	Especies de árboles	Especies de arbustos arbóreos
Loma Verde	1490	Árbol De Júpiter (<i>Lagerstroemia indica</i>), Pino Torrey (<i>Pinus torreyana</i>), Morera (<i>Morus sp.</i>), Eucalipto (<i>Eucalyptus sp.</i>), Peral de Flor (<i>Pyrus calleryana</i>), Pino insigne (<i>Pinus radiata</i>), Árbol de hierro (<i>Parrotia persica</i>), Fresno silvestre mexicano (<i>Fraxinus americana</i>), Pino salado mediterráneo (<i>Pinus halepensis</i>), Tuya occidental (<i>Thuja occidentalis</i>), Ciprés (<i>Cupressus lusitanica</i>), Acacia negra (<i>Acacia melanoxylon</i>), Pino australiano (<i>Casuarina stricta</i>), Huizache (<i>Acacia farnesiana</i>), Fresno de Arizona (<i>Fraxinus velutina</i>), Cedro americano (<i>Cedrela odorata</i>), Paraíso sombrilla (<i>Melia azedarach</i>), Magnolio (<i>Magnolia sp.</i>) y Jacaranda (<i>Jacaranda mimosifolia</i>).	Pie De Elefante (<i>Yuca gigantea</i>), Yuca (<i>Manihot esculenta</i>), Palmera Canaria (<i>Phoenix canariensis</i>) Aligustre (<i>Ligustrum vulgare</i>) Palma Coco Plumoso (<i>Areca triandra</i>)
La Hacienda	300	Pirúl (<i>Schinus molle</i>), Pino (<i>Pinus sp.</i>), Árbol de Pimienta (<i>Schinus terebinthifolius</i>), Mezquite (<i>Prosopis juliflora</i>), Huizache (<i>Acacia farnesiana</i>), Jacaranda (<i>Jacaranda mimosifolia</i>) y Cedro (<i>Cedrus sp.</i>).	Bananeros (<i>Musa acuminata</i>), Yuca (<i>Manihot esculenta</i>).
Centro	355	Tuya occidental (<i>Thuja occidentalis</i>), Sauce llorón (<i>Salix babylonica</i>), Fresno silvestre mexicano (<i>Fraxinus americana</i>), Huizache (<i>Acacia farnesiana</i>) y Pirúl (<i>Schinus molle</i>).	Buganvillas (<i>Bougainvillea sp.</i>)
Mi Ranchito /El Hormiguero	300	Trueno (<i>Ligustrum lucidum</i>), Jacaranda (<i>Jacaranda mimosifolia</i>), Pirúl (<i>Schinus molle</i>), Pinabete (<i>Abies religiosa</i>), Huizache (<i>Acacia farnesiana</i>), Pinos (<i>Pinus sp.</i>), Picea (<i>Picea sp.</i>).	Buganvillas (<i>Bougainvillea sp.</i>) y Palmas de la familia <i>Arecaceae</i> .
Ejidal	1046	Truenos (<i>Ligustrum lucidum</i>), Durazno (<i>Prunus persica</i>), Mezquite (<i>Prosopis juliflora</i>), Huizache (<i>Acacia farnesiana</i>), Higuera (<i>Acacia farnesiana</i>), Jacaranda (<i>Jacaranda mimosifolia</i>), Álamo blanco (<i>Populus alba</i>), Tuya occidental (<i>Thuja occidentalis</i>), Fresno silvestre mexicano (<i>Fraxinus americana</i>), Picea (<i>Picea sp.</i>), Benjamín (<i>Ficus benjamina</i>), Manzanillo (<i>Hippomane mancinella</i>), Ciprés (<i>Cupressus lusitanica</i>), Sauce llorón (<i>Salix babylonica</i>), Peral de flor (<i>Pyrus calleryana</i>), Nogal (<i>Juglans regia</i>), Castaño (<i>Castanea sativa</i>), Eucalipto (<i>Eucalyptus sp.</i>), Ciruelo (<i>Prunus domestica</i>), Olivo (<i>Olea europaea</i>), Morera (<i>Morus sp.</i>), Laurel (<i>Laurus nobilis</i>), Magnolio (<i>Magnolia sp.</i>), Pinos (<i>Pinus sp.</i>).	Buganvillas (<i>Bougainvillea sp.</i>) y Palmas de la familia <i>Arecaceae</i> .
La Estación	1012	Truenos (<i>Ligustrum lucidum</i>), Jacaranda (<i>Jacaranda mimosifolia</i>), Eucaliptos (<i>Eucalyptus sp.</i>), Mezquites (<i>Prosopis juliflora</i>), Duraznos (<i>Prunus persica</i>), Pinos (<i>Pinus sp.</i>).	

estima una densidad arbórea de 12.3 árboles por hectárea. Considerando la población del municipio en el año 2020, se calcula una proporción de 0.12 árboles por habitante.

Se identificaron 34 especies de árboles y ocho especies de arbustos arbóreos. Las especies de árboles de mayor presencia fueron los huizaches (*Vachellia farnesiana*), jacarandas (*Jacaranda mimosifolia*), truenos (*Ligustrum lucidum*) y mezquites (*Prosopis juliflora*) en cinco de las seis zonas muestreadas, y especies de la familia *Pinaceae* y *Casuarina* conocidos como pino insigne, pino torrey,

pino australiano, pinabete, cedros, oyamel, pino salado mediterráneo, picea, entre otros, observados en todas las zonas.

Por su parte, las especies arbustivas arbóreas más representativas fueron las bugambillas (*Bougainvillea sp.*), Palmas de la familia *Arecaceae* y arbustos de ornato como los aligustres (*Ligustrum vulgare*).

La Tabla 1 presenta el conteo de ejemplares y las especies identificadas en el censo del arbolado urbano, mientras que la Figura 1 muestra la zonificación de

muestreo de la ciudad e ilustra algunos de los ejemplares mediante fotografías.

Referente a la distribución del arbolado urbano, resultado de los datos recopilados se clasificaron las zonas de la ciudad en función de su cantidad de árboles,

diversidad de especies y densidad arbórea (Tabla 2). La zona Loma Verde tiene mayor riqueza arbórea, destacándose por poseer la mayor cantidad de ejemplares (1490), el mayor número de especies identificadas (24) y densidad arbórea más alta (39,5 árboles/ha).

Tabla 2. Distribución arbórea por zonas de la ciudad de Guadalupe Victoria, Durango.

Zona	Total de árboles	Especies	Área (ha)	Densidad (árboles/ha)
Loma verde	1490	24	37.7	39.5
La Hacienda	300	9	24.2	12.4
Centro	355	6	23.6	15.1
Mi Ranchito / El Hormiguero	300	9	81.3	8.7
Ejidal	1046	26	108.1	8.9
La Estación	1012	8	90.3	11.2
Total del área censada	4503	42	365.2	12.3



Figura 1. Delimitación de las zonas censadas.

En segundo lugar, la zona Ejidal tiene una cantidad considerable de árboles (1046 ejemplares) y una amplia diversidad de especies (26 especies), pero una de las densidades arbóreas más bajas (8.9 árboles/ha).

La zona La Estación ocupó el tercer lugar en cuanto a la cantidad de ejemplares identificados (1012) y densidad arbórea (11.2 árboles/ha). No obstante, en términos de diversidad de especies, presentó una cantidad relativamente baja, con solo ocho diferentes especies registradas.

Las zonas Centro y La Hacienda resultaron en el cuarto y quinto lugar, respectivamente, mostrando características similares en cuanto a la cantidad de árboles. En la zona Centro se contabilizaron 355 ejemplares y seis especies diferentes, mientras que en La Hacienda se registraron 300 ejemplares y nueve especies diferentes. Ambas zonas

presentaron densidades arbóreas moderadas (15.1 y 12.4 árboles/ha, respectivamente).

Finalmente, la zona Mi Ranchito /El Hormiguero se ubicó en el último lugar en cuanto a distribución del arbolado urbano. Esta zona presentó el menor número de ejemplares identificados (300), la menor diversidad de especies (sólo nueve especies) y la densidad arbórea más baja (8.7 árboles/ha). La comparación entre la cantidad de árboles por zona y la densidad arbórea se puede observar en la Figura 2.

En la Figura 3 se grafican las zonas según la diversidad de especies, en donde se puede apreciar que la zona Ejidal es la más diversa, mientras que el Centro presenta la menor diversidad de especies arbóreas.



Figura 2. Distribución y densidad arbórea por zona. Elaboración propia.

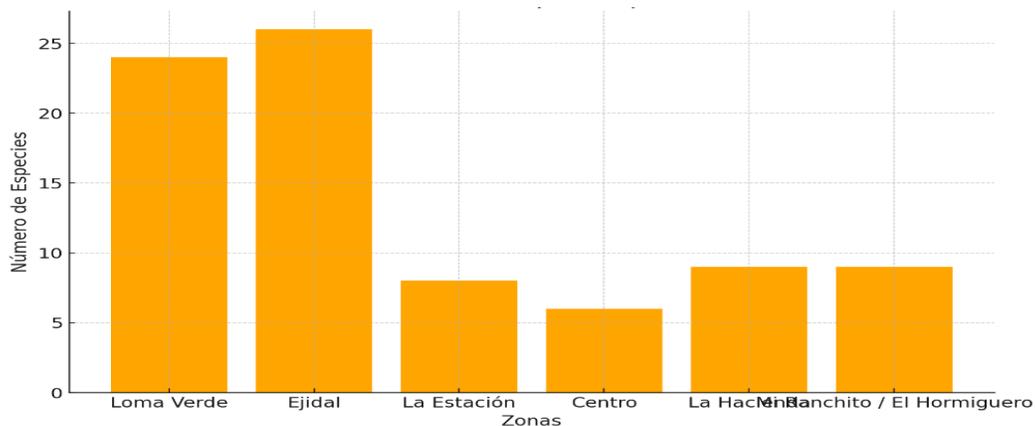


Figura 3. Diversidad de especies por zona. Elaboración propia.

Acerca del almacenamiento de carbono, como resultado de la estimación en el software i-Tree Canopy, la superficie arbolada del área de estudio abarcó 171.2 hectáreas, lo que representa 46.8% del polígono urbano que comprende las seis zonas muestreadas. En esta superficie arbolada, se estima un almacenamiento de carbono de 5,678.9 toneladas, equivalente a 33.2 toneladas de carbono por hectárea.

El área de la clase suelos desnudos fue estimada en 203.7 ha y la clase superficies impermeables en 251.5 ha, es decir, 23.8% y 29.3% del área del polígono estudiado. La proporción entre estas clases de suelos se ilustra en la Figura 4.

Discusión

Ciencia ciudadana e implicaciones en el censo arbóreo

Como ha sido mencionado por distintos autores, la ciencia ciudadana ha emergido como una herramienta valiosa para la investigación científica, particularmente en el ámbito de la ecología y la gestión ambiental. Sin embargo, la participación de voluntarios con diferentes niveles de experiencia y capacidades puede introducir variabilidad en la calidad de los datos recolectados (Finquelievich y Fischnaller, 2014; Blasco-Ejarque *et al.* 2021).

La ciencia ciudadana fue fundamental en este ejercicio, debido a que es la comunidad quien participó activamente en la recolección de datos, lo que permitió abarcar una extensión significativa del área urbana con recursos limitados. Los participantes, entre los que se incluyeron estudiantes y voluntarios, fueron capacitados brevemente en la identificación de especies y el registro de datos en campo, utilizando para este fin herramientas como aplicaciones móviles y mapas de referencia. Esta colaboración tuvo un impacto directo en la cantidad de datos recolectados y en la cobertura espacial del censo arbóreo.

Con todo, la variabilidad en la experiencia y la formación de los voluntarios introdujo limitaciones en la precisión de los datos. Mientras algunas zonas, como Loma Verde, contaron con participantes más capacitados que lograron identificar ejemplares hasta el nivel especie, en otras áreas el muestreo se limitó al nivel de familia o género. Este aspecto de la ciencia ciudadana, aunque enriquecedor por el involucramiento de la comunidad, requiere de protocolos de capacitación más exhaustivos y de mecanismos de verificación y control de calidad para mejorar la precisión en los próximos censos.

En este ejercicio se especula que la falta de capacidades de los participantes para hacer el muestreo fue la principal limitante, resultando en algunas zonas muestreadas con mayor exactitud que otras. Por ejemplo, nuevamente la zona Loma Verde destaca por haber identificado una mayor cantidad de individuos hasta el nivel de especie, mientras que en otras zonas el muestreo solo alcanzó el nivel de género o familia.

Esta discrepancia puede atribuirse a diversos factores relacionados con las capacidades y el esfuerzo de los participantes en cada zona. Participantes con mayor capacitación y experiencia tenderán a identificar un mayor número de individuos hasta el nivel de especie. La cantidad de tiempo y esfuerzo invertido por cada participante en el muestreo también juega un papel importante. Aquellos que dedican más tiempo y esfuerzo tendrán mayor probabilidad de encontrar y registrar un mayor número de individuos, incluyendo aquellos de menor abundancia o más difíciles de identificar. Las características del área muestreada, como la accesibilidad, pueden influir en la dificultad del muestreo y, por ende, en la calidad de los datos recolectados. Zonas con mayor complejidad o con mayor diversidad de especies pueden requerir mayor experiencia y esfuerzo para un muestreo preciso.

Esto demuestra que, al ser un proyecto de ciencia ciudadana, los datos recolectados en esta investigación pueden tener un rango de variabilidad, y en consecuencia implicaciones significativas para la interpretación de los resultados y las conclusiones derivadas del estudio. Es importante considerar este aspecto al interpretar los resultados de esta investigación.

Como aprendizajes del ejercicio, primeramente, se puntualiza a la sensibilización y compromiso como el eje fundamental para guiar un proyecto de ciencia ciudadana. Se debe concientizar a los participantes sobre la importancia de su rol en la generación de datos precisos y fomentar un sentido de responsabilidad compartida con la academia, toda vez que los datos recopilados contribuyen a la generación de información científica. En segundo grado de importancia es necesario brindar una capacitación integral, brindar una formación completa en la identificación de especies arbóreas y técnicas de muestreo, incluyendo el uso de herramientas digitales como aplicaciones móviles, guías taxonómicas físicas y GPS para smartphone. Cabe destacar que se tuvo

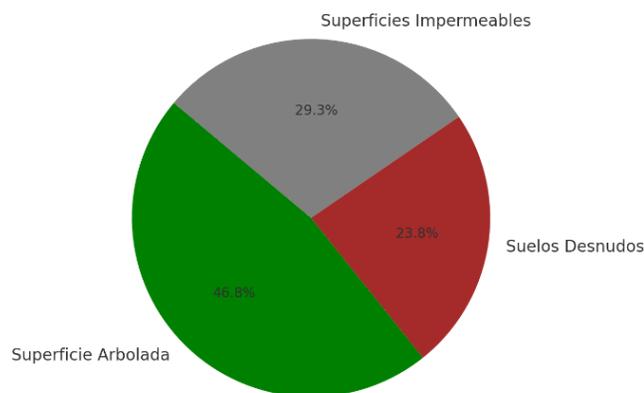


Figura 4. Proporciones de tipos de cobertura del suelo. Elaboración propia.

dificultad y datos no recolectados sobre la ubicación exacta de cada individuo. Algunos de los participantes optaron por colocar de forma gráfica la ubicación sobre un mapa o croquis y no georreferenciados de forma digital como se solicitó originalmente.

También, se sugiere pensar en un diseño de muestreo adecuado que divida el área de estudio en subáreas de menor extensión, delimitadas a través de cartografía para un mejor manejo por parte de los participantes. Y establecer mecanismos rigurosos de supervisión y control de calidad para detectar y corregir errores o inconsistencias en los datos recopilados, incluyendo la asignación de personal capacitado y experto a cada brigada de participantes.

Especies y densidad arbórea de la ciudad

El estudio reveló que la mayoría de las especies presentes son nativas de la región, adaptadas a climas cálidos y zonas áridas. Entre ellas destacan los huizaches y el mezquite, caracterizados por sus troncos delgados, altura baja y dosel arbóreo limitado. En contraste, las especies de jacarandas y truenos son introducidas, valoradas por su función ornamental gracias a sus vistosas flores. Estas especies presentan una altura baja a media y también troncos delgados.

Según investigaciones previas (Matías *et al.*, 2019; Morales-Inocente *et al.*, 2020), las especies pertenecientes a la familia Pinaceae y Casuarina podrían ser las que mayor cantidad de carbono almacenan, mientras que las especies ornamentales, como jacarandas y truenos, podrían presentar un menor almacenamiento.

Comparando los resultados con otras investigaciones, la densidad arbórea de Guadalupe Victoria presenta una densidad arbórea significativamente menor. En un estudio realizado por Gutiérrez-Pacheco *et al.* (2015), se evaluó la densidad arbórea en diversos parques y jardines del municipio de Puebla, encontrando un promedio de 160.8 árboles/ha, en contraste, Guadalupe Victoria presenta una densidad arbórea de apenas 12.3 árboles/ha.

Esta baja densidad arbórea en Guadalupe Victoria se encuentra por debajo de los estándares internacionales recomendados para ciudades sostenibles. La Organización Mundial de las Naciones Unidas (ONU) sugiere un mínimo de un árbol por cada tres habitantes para garantizar una mejor calidad del aire en las ciudades, lo que equivale a 0.33 árboles por habitante (ONU, 2015). Sin embargo, en Guadalupe Victoria, la proporción es de 0.24 árboles por habitante, indicando una deficiencia en este aspecto.

No obstante, en cuanto al espacio verde por habitante, Guadalupe Victoria supera las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), que establece un mínimo de 9 m² de espacio verde por habitante (ONU, 2015), mientras que presenta un promedio de 90 m² por habitante. Aunque era un dato esperado por tratarse de una ciudad en desarrollo, vale la pena hacer la comparación

con los niveles de grandes urbes como la Ciudad de México, donde el área verde por habitante se estima en 8.4 m² (Núñez, 2022).

Almacenamiento de carbono en la superficie arbolada de la ciudad

Guadalupe Victoria presentó un almacenamiento de carbono de 33.2 toneladas por hectárea, este valor se encuentra por debajo de los encontrados en parques urbanos donde predominan especies nativas como el caso de Bronx, Nueva York, Villavicencio en Colombia, la Ciudad de México u otras ciudades en desarrollo del país como Tepic, en Nayarit, con valores de almacenamiento entre 55.9 y 79.3 toneladas de carbono por hectárea (Santoyo-Gómez *et al.* 2014; Matías *et al.*, 2019; Nyelele *et al.*, 2019; García, 2023).

Pero similar a los resultados del estudio de Matías *et al.* (2019), quienes calcularon 34.9 toneladas de carbono por hectárea en un parque urbano con predominancia de las especies Jacaranda y Ficus. Y superior a los obtenidos en Mancilla-Morales *et al.* (2024), de 16.8 toneladas de carbono por hectárea en áreas verdes donde prevalecen especies introducidas o de ornato. En la Figura 5 se comparan los datos de almacenamiento de carbono recopilados en otros estudios llevados a cabo en otras ciudades.

El contraste de los resultados de almacenamiento de carbono se debe en gran medida a las diferentes técnicas de estimación utilizadas en las investigaciones comparadas. Los softwares especializados como i-Tree Eco, que consideran información detallada por ejemplar, como nombre de la especie, altura, diámetro de tronco y copa, proporcionan estimaciones más precisas. Incluso las estimaciones manuales, cuando se realizan con precisión y considerando datos específicos por especie, estado de salud y edad de los árboles, pueden ofrecer resultados confiables.

En vista de lo expuesto, es importante reconocer el carácter exploratorio de esta investigación y considerar la estimación actual del almacenamiento de carbono como un punto de partida que debe ser reevaluado mediante un muestreo más robusto de los ejemplares arbóreos en la ciudad. El software i-Tree Canopy utilizado en este estudio basa sus estimaciones en el área superficial arbolada, lo que limita la precisión al no considerar la cantidad y diversidad de especies arbóreas. Para obtener resultados más precisos, se recomienda un mejor muestreo que incluya la toma de datos adicionales como el diámetro del tronco y la altura de los árboles. La implementación de software como myTree o i-Tree Eco, que calculan el almacenamiento de carbono por cada árbol, permitiría una estimación más detallada y confiable. Además de posibilitar la estimación de otros servicios ecosistémicos como el secuestro de carbono anual, purificación del aire por contaminantes, regulación de la infiltración hídrica, entre otros.

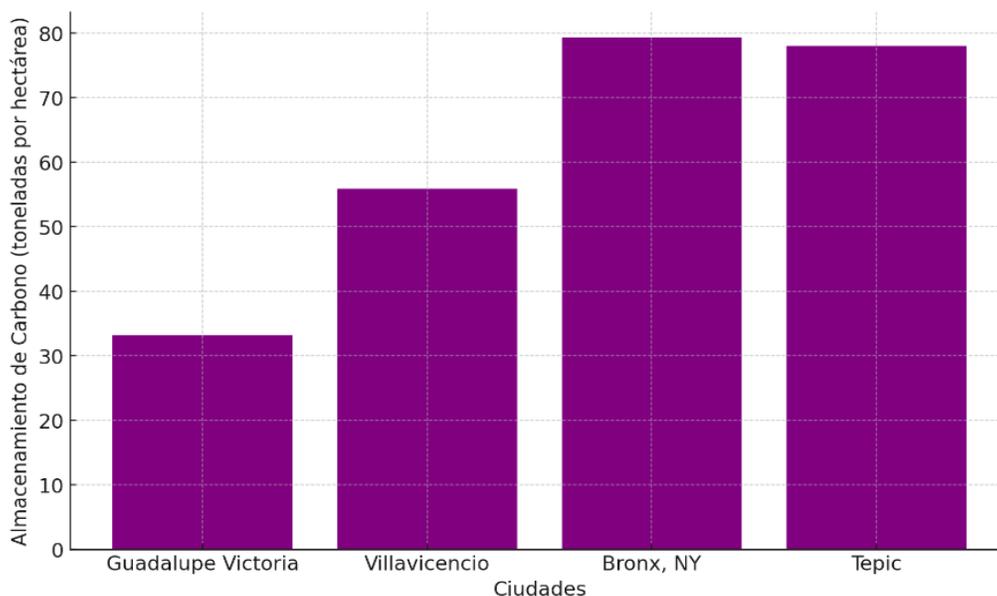


Figura 5. Comparación de almacenamiento de carbono con otras ciudades. Elaboración propia.

Comparación con estudios similares de almacenamiento de carbono usando i-Tree Canopy y herramientas relacionadas

La estimación del almacenamiento de carbono en la superficie arbolada de Guadalupe Victoria, de 33.2 toneladas de carbono por hectárea, es consistente con estudios previos que han empleado i-Tree Canopy en contextos urbanos, aun cuando los valores pueden variar según la composición de especies y las características del arbolado. En el estudio realizado en Villavicencio, Colombia, por ejemplo, se estimó un almacenamiento de 55.9 toneladas de carbono por hectárea utilizando i-Tree Canopy, en un área dominada por especies nativas con un crecimiento significativo (Matías *et al.*, 2019). En contraste, en Texcoco, México, se estimaron 16.8 toneladas de carbono por hectárea en un área predominantemente de especies ornamentales y de crecimiento limitado (Mancilla-Morales *et al.*, 2024). Estas diferencias subrayan la importancia de factores como el tipo de especies, su antigüedad y la densidad del arbolado en las estimaciones de carbono.

La precisión de i-Tree Canopy depende en gran medida de la cantidad y calidad de puntos de entrenamiento seleccionados para la definición de las clases de cobertura, así como de las especies presentes en el área de estudio (Nowak *et al.*, 2008). A diferencia de herramientas como i-Tree Eco, que permite ingresar datos detallados para cada árbol (e.g., altura, diámetro del tronco), i-Tree Canopy estima el almacenamiento de carbono a partir de

la cobertura superficial de vegetación. Esta metodología es útil en proyectos de ciencia ciudadana. Sin embargo, puede generar estimaciones menos precisas al no considerar las características específicas de cada ejemplar. Las futuras investigaciones en Guadalupe Victoria podrían beneficiarse de una combinación de herramientas como i-Tree Eco para obtener datos más detallados y específicos por especie.

Recomendaciones para futuros estudios

A partir de este ejercicio, se sugiere que los estudios posteriores, donde utilicen ciencia ciudadana y herramientas de estimación de servicios ecosistémicos, consideren la implementación de capacitaciones más intensivas y la asignación de supervisores expertos en cada brigada de participantes. Además, el uso de i-Tree Eco o myTree podría aportar datos más precisos al nivel de ejemplares individuales, permitiendo así una comprensión más detallada del papel de cada especie en el almacenamiento de carbono y en otros servicios ecosistémicos.

Conclusiones

El censo comunitario del arbolado urbano en Guadalupe Victoria, Durango, proporcionó una visión detallada de la biodiversidad arbórea y el potencial de almacenamiento de carbono en un contexto de ciencia ciudadana. La investigación destaca la importancia de contar con datos locales sobre el arbolado urbano, no sólo para comprender

su contribución a la sostenibilidad ambiental, sino también para promover prácticas de gestión adecuadas en ciudades en crecimiento, como la descrita en esta investigación.

La participación ciudadana fue clave para alcanzar una cobertura amplia en el área de estudio y sensibilizar a la comunidad sobre la relevancia del arbolado en el entorno urbano. No obstante, la variabilidad en la precisión de los datos, atribuida a las diferencias en la capacitación y experiencia de los voluntarios, subraya la necesidad de protocolos de formación más exhaustivos y mecanismos de verificación en proyectos venideros.

Aunado a lo anterior, este estudio resalta las oportunidades y limitaciones del uso de herramientas tecnológicas como i-Tree Canopy. Si bien, estas herramientas ofrecen una forma accesible y rápida de estimar servicios ecosistémicos, investigaciones futuras podrían beneficiarse del uso de tecnologías adicionales que consideren características específicas de cada árbol para obtener estimaciones más precisas y detalladas.

Finalmente, el censo comunitario de Guadalupe Victoria se presenta como un ejemplo replicable que puede adaptarse a otras localidades con necesidades similares, incentivando tanto la participación comunitaria como la generación de datos científicos que orienten acciones de conservación urbana. Para maximizar los beneficios del arbolado urbano, se recomienda realizar estudios continuos que fortalezcan el vínculo entre la ciencia ciudadana y la gestión ambiental local.

Referencias

- Anglada, L., Abadal, E. (2018). ¿Qué es la ciencia abierta?. Anuario ThinkEPI, 12, 292-298.
<https://doi.org/10.3145/thinkepi.2018.43>
- Blasco-Ejarque, J.L., Tirado, F., Rovira-Martorell, J. (2021). Ciencia ciudadana y nuevas relaciones de poder y control. Nómadas, 55, 95-109.
<https://doi.org/10.30578/nomadas.n55a6>
- Boukili, V.K.S., Bebbler, D.P., Mortimer, T., Venicx, G., Lefcourt, D., Chandler, M., Eisenberg, C. (2017). Assessing the performance of urban forest carbon sequestration models using direct measurements of tree growth. Urban Forestry & Urban Greening, 24, 212-221.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.03.015>
- CONAGUA (2014). Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía 2014 para la ciudad de Victoria, Durango. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99854/PMPMS_Victoria_de_Durango_Dgo.pdf
- Fernández-Álvarez, R., Fernández-Nava, R. (2020). Adaptive comanagement of urban forests: monitoring reforestation programs in Mexico City. Polibotánica, 49, 243-258.
<https://doi.org/10.18387/polibotanica.49.15>
- Finquelievich, S., Fischnaller, C. (2014). Ciencia ciudadana en la Sociedad de la Información: nuevas tendencias a nivel mundial. Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad, 9, 11-31.
<https://www.redalyc.org/pdf/924/92431880001.pdf>
- García, C.L. (2023). Huella de carbono del parque vehicular de la zona metropolitana Tepic-Xalisco, Nayarit. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nayarit.
- Ghorbankhani, Z., Zarrabi, M.M., Ghorbankhani, M. (2024). The significance and benefits of green infrastructures using i-Tree canopy software with a sustainable approach. Environment, Development and Sustainability, 26, 14893-14913.
<https://doi.org/10.1007/s10668-023-03226-9>
- González-Hernández, L., Romo-Lozano, J.L., Cristóbal-Acevedo, D., Martínez-Damian, M.Á., Mohedano-Caballero, L. (2023). Valoración económica de los servicios ecosistémicos de cuatro sistemas forestales periurbanos a través de i-Tree Eco. Madera y Bosques, 29, e2932588.
<https://doi.org/10.21829/myb.2023.2932588>
- Gutiérrez-Pacheco, V., Silva-Gómez, S.E., Toxtle-Tlamani, J.S., Hernández-Zepeda, J.S. (2015). El arbolado de los espacios públicos abiertos de la zona de monumentos del centro histórico de la Ciudad de Puebla. In: G. Pulido-Flores, S. Monks, M. López-Herrera (Eds.). Estudios en Biodiversidad. Zea Books, 161-172.
<http://digitalcommons.unl.edu/biodiversidad/15>
- INEGI (2020). México en cifras. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática.
<https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=07000010000/#collapse-Resumen>
- Mancha-Gálvez, E.E., Venegas-Sahagún, B.A. (2023). Percepción del riesgo de habitar en las inmediaciones de un sitio de disposición final, El Salto, México. Revista de Ciencias Ambientales, 57, 1-18.
<https://doi.org/10.15359/RCA.57-2.5>
- Matías, E.V., Cortés, J.H., Bustamante, A.M. (2019). Fixation of CO₂ and production of O₂ by the trees of an urban park in Villavicencio - Meta (Colombia). 2019 Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública (CASP), Barranquilla, Colombia, pp. 1-5.
<https://doi.org/10.1109/CASAP48673.2019.9364075>
- Mancilla-Morales, M., Mohedano-Caballero, L., Granados-Victorino, R.L., Granados-Sánchez, D., Corona-Ambriz, A. (2024). Servicios ambientales de la vegetación arbórea de los parques de Texcoco de Mora, Estado de México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 15, 69-88.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i82.1452>
- Morales-Inocente, M.A., Nájera-Luna, J.A., Escobedo-Bretado, M.A., Cruz-Cobos, F., Hernández, F.J., Vargas-Larreta, B. (2020). Carbono retenido en biomasa y suelo en bosques de El Salto, Durango, México. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 28, 5-13.
<https://doi.org/10.33064/iycuaa2020802997>

- Núñez, J.M. (2022) Análisis espacial de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 21, 803-833.
[Análisis espacial de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México](#)
- Nowak, D., Crane, D.E., Stevens, J.C., Hoehn, R.E., Walton, J.T., Bond, J. (2008). A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. *Arboriculture & Urban Forestry*, 34, 347-358.
<https://www.itreetools.org/documents/13/08%20UFOR E.pdf>
- Nyelele, C., Kroll, C.N., Nowak, D.J. (2019). Present and future ecosystem services of trees in the Bronx, NY. *Urban Forestry & Urban Greening*, 42, 10-20.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.04.018>
- ONU (2015). Temas Hábitat III. Espacio Público. Organización de las Naciones Unidas.
https://habitat3.org/wp-content/uploads/Issue-Paper-11_Public_Space-SP.pdf
- ONU (2019). Siete grandes beneficios de los árboles urbanos. ONU-Habitat. Organización de las Naciones Unidas.
<https://onuhabitat.org.mx/index.php/siete-grandes-beneficios-de-los-arboles-urbanos>
- Pérez-Miranda, R., Santillán-Fernández, A., Narváez-Álvarez, F.D., Leyva, B.G., Vázquez-Bautista, N. (2018). Riesgo del arbolado urbano: Estudio de caso en el Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9, 208-228.
<https://doi.org/10.29298/RMCF.V9I45.143>
- Rosas-Lusett, M.A., Bartorila, M.A. (2017). Aportaciones de la forestación a la sostenibilidad urbana en ciudades tropicales. *Humedal Nuevo Amanecer*, Ciudad Madero, México. *Nova scientia*, 9, 528-550.
<https://doi.org/10.21640/NS.V9I19.980>
- Santoyo-Gómez, G.H., Rojas-García, F., Benavides-Meza, H.M. (2014). Contenido de Carbono en el bosque urbano de la Ciudad de México: Delegación Miguel Hidalgo. *In: F. Paz-Pellat & J. Wong (Eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco*, 176-182.
https://www.researchgate.net/publication/293817496_Contentenido_de_Carbono_en_el_bosque_urbano_de_la_Ciudad_de_Mexico_Delegacion_Miguel_Hidalgo
- SEDATU (2014). Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Guadalupe Victoria 2014. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano.
http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/10008_Guadalupe_Victoria.pdf