



Servicios ecosistémicos del arbolado urbano en la Laguna de San Baltazar, Puebla, mediante el uso del *software* i-Tree

Hernández-Castán, Jesús; Cuesta Mejía, Eduardo; Ortiz Espejel, Benjamín; Rosano Reyes, Enrique
Servicios ecosistémicos del arbolado urbano en la Laguna de San Baltazar, Puebla, mediante el uso del *software* i-Tree
CIENCIA *ergo-sum*, vol. 30, núm. 2, julio-octubre 2023 | e198

Ciencias de la Tierra

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



Hernández-Castán, J., Cuesta Mejía, E., Ortiz Espejel, B. y 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>

Servicios ecosistémicos del arbolado urbano en la Laguna de San Baltazar, Puebla, mediante el uso del *software* i-Tree

Environmental Services of Urban Trees in San Baltazar, Puebla Lagoon using i-Tree software

Jesús Hernández-Castán*

El Colegio de Puebla A.C., México

jesus.hernandez@colpue.edu.mx

 <http://orcid.org/0000-0001-8063-6647>

Recepción: 27 de enero de 2022

Aprobación: 6 de julio de 2022

Eduardo Cuesta Mejía

El Colegio de Puebla A.C., México

eduardo.cuesta@colpue.edu.mx

 <http://orcid.org/0000-0001-6024-2528>

Benjamín Ortiz Espejel

El Colegio de Puebla A.C., México

benjamin.ortiz@colpue.edu.mx

 <http://orcid.org/0000-0001-6201-6452>

Enrique Rosano Reyes

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

enrique.rosano@correo.buap.mx

 <http://orcid.org/0000-0001-5028-3094>

RESUMEN

Se determinan los servicios ecosistémicos del arbolado urbano en la Laguna de San Baltazar, Puebla, México, mediante el uso del *software* i-Tree. Para ello se registraron las especies y medidas alométricas del total del arbolado con diámetro igual o mayor a 5 cm. El monto económico equivalente a la cantidad de los principales contaminantes removidos calculada por el programa se determinó a partir de los datos registrados y de parámetros nativos asociados a la base de datos del mismo. Los servicios ambientales ascienden a 592 200 pesos mexicanos anuales, 73% deriva de la remoción de contaminantes. Se establece una línea base para el sitio y se amplía el conocimiento relativo a la utilización de esta herramienta.

PALABRAS CLAVE: inventario, clase diamétrica, remoción de contaminantes, diversidad, valoración económica.

ABSTRACT

The ecosystem services of urban trees in Laguna de San Baltazar, Puebla, Mexico, are determined using i-Tree software. For that, the species and the allometric measurements of all the trees with a diameter equal or greater 5 cm were registered. The equivalent economic amount of the main pollutants removed calculated by the program was determined using the registered data and the native parameters associated to its data base. Environmental services rise to \$592,200.00 pesos per year, 73% of which are derived from the removal of pollutants. A baseline for this site is established and knowledge of the use of this tool is expanded.

KEYWORDS: inventory, diametric class, pollutant removal, diversity, economic valuation.

AUTOR PARA CORRESPONDENCIA

jesus.hernandez@colpue.edu.mx

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las zonas urbanas en México desde el 2000 ha sido mayor en ciudades costeras, fronterizas y aquellas ubicadas en el corredor industrial del centro del país (Zubicaray *et al.*, 2021), dentro del que se encuentra la ciudad de Puebla. El patrón de urbanización dominante en estas regiones implica una mayor extensión y una menor densidad al incrementarse el uso de suelo a tasas superiores a las del aumento poblacional. Esta forma de crecimiento puede tener efectos negativos en la salud de la población y en el medio ambiente derivado del aumento de la contaminación atmosférica (Zubicaray *et al.*, 2021).

El arbolado urbano aporta beneficios que pueden contrarrestar lo anterior mediante la disminución de contaminantes en el aire, la infiltración de agua y la provisión de entornos estéticos y de espacios para la realización de actividades lúdicas, entre otros (Barreto y Martínez, 2018). En ese sentido, el estudio de las áreas verdes urbanas, cuyo elemento central es la vegetación (Gregorio de Andrade, 2012), se torna necesario a fin de protegerlas (Taborda *et al.*, 2017) y maximizar sus efectos positivos.

En Puebla capital, de acuerdo con diversos autores (Gutiérrez *et al.*, 2015, 2021; Hernández *et al.*, 2016), existen esfuerzos por evaluar el estado de la cobertura arbórea de áreas verdes en las zonas aledañas a monumentos históricos o áreas naturales protegidas insertas en la ciudad, aunque son escasos los estudios que, además, cuantifiquen los beneficios que de ella derivan.

El programa i-Tree^[1] ha sido desarrollado por el Servicio Forestal de Estados Unidos para determinar de manera homologada elementos centrales de la composición y estructura del arbolado urbano en diversas zonas urbanas, además de permitir el cálculo del valor de sus servicios ecosistémicos en términos económicos con el fin de facilitar la comprensión de su importancia para gestores y tomadores de decisiones. Puebla fue incluida entre las ciudades modelo para la adecuación del programa al país (USDA Forest Service & Davey Tree Expert Company, 2018). Si bien otras zonas también incluidas en el proceso ya cuentan con ejemplos de aplicación, como en el caso del estado de México (Martínez *et al.*, 2021), existen pocas publicaciones científicas que referan su uso en áreas verdes urbanas, en particular para Puebla.

Por lo anterior, este artículo está centrado en el análisis de los servicios ecosistémicos del arbolado urbano de la Laguna de San Baltazar, Puebla, además, de determinar su valor en términos económicos mediante el uso del *software* i-Tree. Se estimó también la diversidad de la masa arbórea presente para realizar comparativos con literatura científica disponible al respecto. Se pretende con ello aportar un referente del uso del programa en la entidad y también generar una línea base relativa a la determinación del valor de los servicios ecosistémicos del área de estudio.

1. METODOLOGÍA

La Laguna de San Baltazar es un área verde urbana que se encuentra ubicada en la zona sur de la ciudad de Puebla y cuenta con una superficie aproximada de 14 hectáreas (de las cuales el 50% se encuentra ocupada por agua). Se posiciona en promedio a 2 114 msnm y presenta un clima subhúmedo con lluvias en verano (Almazán-Núñez y Hinterholzer-Rodríguez, 2010).

Durante octubre, noviembre y diciembre del 2021, se hicieron visitas semanales a la Laguna de San Baltazar, Puebla, gracias a las que se recopiló información espacial (geoposicionamiento) y medidas relativas a la altura total (m), altura del fuste (m), el cual se consideró desde la base hasta el inicio de las hojas, área de cobertura a partir del ancho de copa en dos direcciones (norte-sur, este-oeste) y diámetro del total del arbolado que superase los 5 cm de grosor a 1.30 m de altura. Para el geoposicionamiento se empleó un GPS Etrex-20 marca Garmin, así como un distanciómetro láser MESTEK-50 para las evaluaciones de altura y diámetro. Las especies se identificaron con ayuda de la guía de árboles comunes de la Ciudad de México (CONABIO, 2012) y el aplicativo móvil SEEK vinculado a la base de datos de Naturalista que gestiona esa misma institución; se emplearon sólo registros que han alcanzado el grado investigación dentro de ella.

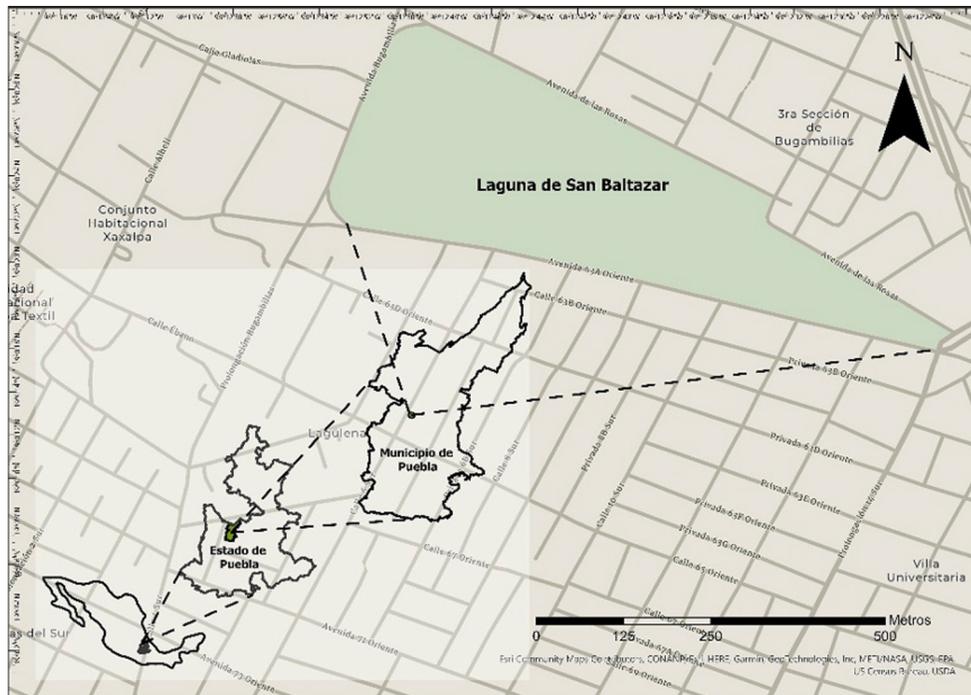


FIGURA 1

Ubicación de la Laguna de San Baltazar

Fuente: elaboración propia.

Todos los datos se sistematizaron en paquetería Microsoft Excel 2019 y después se ingresaron al programa i-Tree Eco versión 6 (USDA Forest Service & Davey Tree Expert Company, 2018) mediante el cual se obtuvo el valor del total de biomasa y se determinó la infiltración de agua al subsuelo, el carbono capturado, el oxígeno producido y los principales contaminantes eliminados por el arbolado evaluado (Martínez *et al.*, 2021). Para estimar la remoción de contaminantes, se emplearon datos de la estación meteorológica 766850-99999, la cual se seleccionó en la paquetería por su proximidad con el área de estudio.

El monto económico^[2] de los servicios ecosistémicos estimados se calculó considerando precios de 32 197 pesos por tonelada métrica de dióxido de carbono, 469 138 pesos por tonelada métrica de ozono, 70 071 pesos por tonelada métrica de dióxido de nitrógeno, 25 529 pesos por tonelada métrica dióxido de sulfuro y 16 284 914 pesos por tonelada métrica de material particulado menor a 2.5 μm . El valor del escurrimiento evitado se determinó con base en el precio de 44.91 pesos por m^3 . Estos referentes se establecieron desde parámetros nativos asociados a las bases de datos más actualizadas del programa.

Con el fin de realizar comparativos con otras áreas verdes urbanas, se determinó el total de abundancias por especies, la densidad del arbolado por hectárea, así como el índice de diversidad de Shannon (H) para la zona de estudio. Este último índice determina la probabilidad de ocurrencia de un individuo de una especie determinada en un evento de muestreo y es ampliamente empleado en la bibliografía con fines similares (Leal *et al.*, 2018). Para estos cálculos se empleó el módulo de diversidad del programa PAST versión 4.1 desarrollado en la Universidad de Oslo, que también reportan otros autores (Ramos *et al.*, 2015).

2. RESULTADOS

El arbolado de la laguna de San Baltazar estudiado está conformado por 3 403 individuos de 23 especies, siendo las más abundantes el cedro blanco (*Hesperocyparis lusitánica* Mill) (41.6%) y el trueno lila (*Ligustrum lucidum* W.T.Aiton) (23.9%), le siguen fresnos (*Fraxinus uhdei* Wenz) (11.7%), sauces (*Salix sp*) (6.6%), casuarinas

(*Casuarina equisetifolia* L.) (3.2%) y ahuehuetes (*Taxodium huegelii* C. Lawson) (3%). En total, estas especies representan el 90% de los individuos analizados (cuadro 1). La densidad general de árboles por hectárea es de 243.03 individuos, lo cual resulta superior a lo reportado por Gutiérrez *et al.* (2015) en relación con diversos parques y jardines del municipio de Puebla en los cuales se encontró un promedio de 160.8 árboles/ha en 25 áreas verdes urbanas evaluadas.

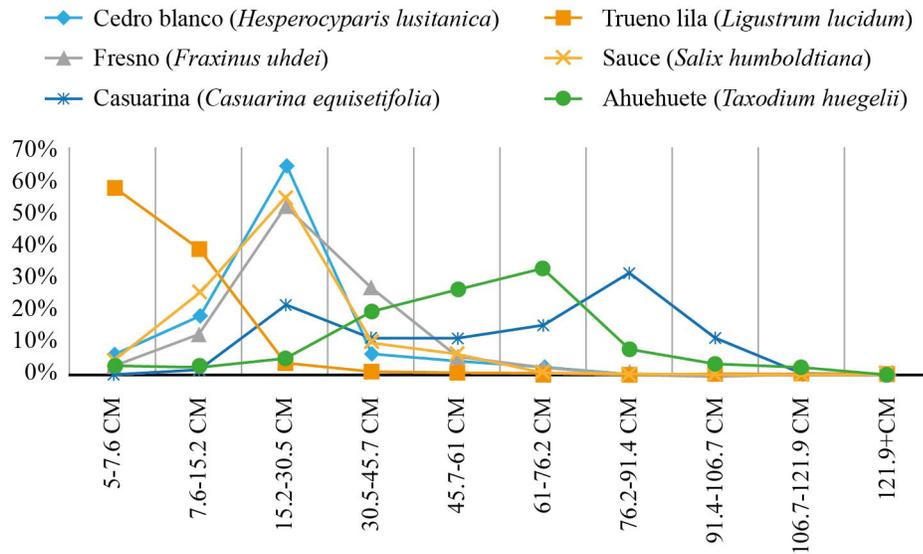
En función de la amplitud de su follaje, las especies más dominantes son el cedro blanco (*H. lusitanica*), el fresno (*F. uhdei*) y el ahuehuete (*T. huegelii*), que constituyen el 69% de 25.7 hectáreas de extensión foliar en el sitio si se considera que el tamaño de la Laguna de San Baltazar es de aproximadamente 14 hectáreas; esto significa una superposición o estratificación entre las especies, que es un aspecto clave al momento de incorporar criterios ecológicos en el diseño y gestión de áreas verdes urbanas (Alvarado *et al.*, 2015).

CUADRO 1
Total de especies y abundancias del arbolado de la Laguna de San Baltazar

| Especie | Número de árboles | Porcentaje de la población |
|---|-------------------|----------------------------|
| <i>Hesperocyparis lusitanica</i> Mill | 1 416 | 41.61% |
| <i>Ligustrum lucidum</i> W. T. Aiton | 815 | 23.95% |
| <i>Fraxinus uhdei</i> Wenz | 398 | 11.70% |
| <i>Salix humboldtiana</i> Willd | 225 | 6.61% |
| <i>Casuarina equisetifolia</i> L. | 110 | 3.23% |
| <i>Taxodium huegelii</i> C. Lawson | 104 | 3.06% |
| <i>Liquidambar styraciflua</i> L. | 91 | 2.67% |
| <i>Ficus benjamina</i> L. | 48 | 1.41% |
| <i>Salix babylonica</i> L. | 43 | 1.26% |
| <i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don | 42 | 1.23% |
| <i>Eucalyptus globulus</i> Labill | 20 | 0.59% |
| <i>Eucalyptus cinerea</i> F.Muell. ex Benth | 16 | 0.47% |
| <i>Populus alba</i> L. | 14 | 0.41% |
| <i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck | 14 | 0.41% |
| <i>Pyracantha coccinea</i> M. Roem | 13 | 0.38% |
| <i>Quercus resinosa</i> Liebm | 11 | 0.32% |
| <i>Pinus montezumae</i> Lamb | 8 | 0.24% |
| <i>Schinus molle</i> L. | 8 | 0.24% |
| <i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl | 2 | 0.06% |
| <i>Yucca guatemalensis</i> Baker | 2 | 0.06% |
| <i>Erythrina coralloides</i> DC. | 1 | 0.03% |
| <i>Annona cherimola</i> Mill | 1 | 0.03% |
| <i>Bauhinia aculeata ssp. grandiflora</i> (Juss.) Wunderlin | 1 | 0.03% |
| Total | 3 403 | 100% |

Fuente: elaboración propia usando el *software* i-Tree con datos de campo.

La distribución de diámetros de troncos se concentra en valores entre los 15 y 30 cm, similar a lo que ocurre en otras áreas verdes urbanas del centro del país para las cuales se han desarrollado estudios empleando i-Tree (Martínez *et al.*, 2021). Especies como los ahuehuetes (*T. huegelii*) y las casuarinas (*C. equisetifolia*) presentan los mayores diámetros reportados; asimismo; el trueno lila (*L. lucidum*) registra los menores valores para este parámetro.

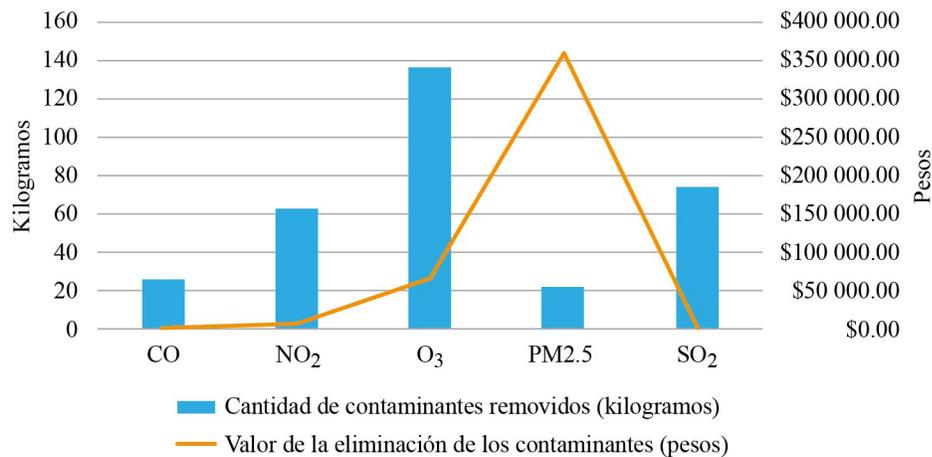


GRÁFICA 1

Distribución de clases diamétricas de las cinco especies más abundantes del arbolado de la Laguna de San Baltazar

Fuente: elaboración propia usando el *software* i-Tree con datos de campo.

De acuerdo con los datos calculados por el programa, se estima que los árboles de la Laguna de San Baltazar eliminan por año 324 kg de la contaminación del aire por ozono (O₃), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), material particulado menor a 2.5 μm (PM_{2.5}) y dióxido de sulfuro (SO₂) con un valor asociado de 432 000 pesos. Esto representa el 73% del total del valor económico de los servicios ecosistémicos determinados.

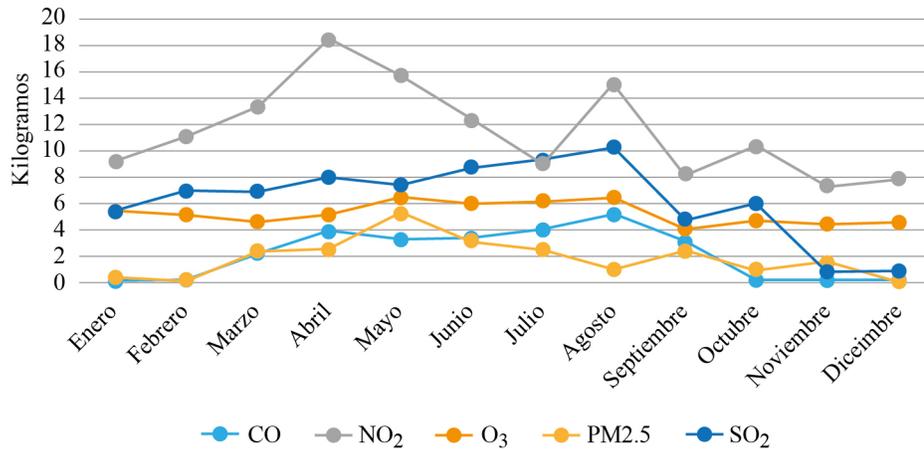


GRÁFICA 2

Eliminación de contaminantes por el arbolado de la Laguna de San Baltazar

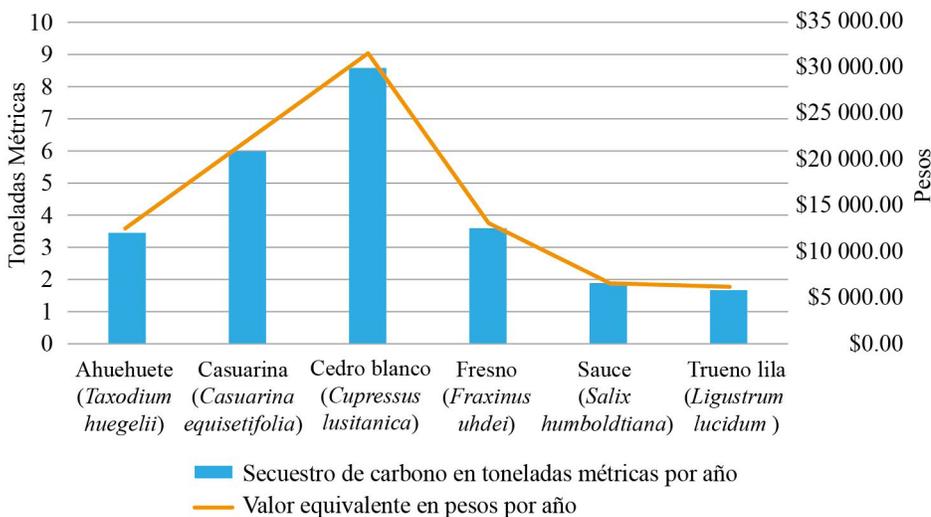
Fuente: elaboración propia usando el *software* i-Tree con datos de campo.

El aporte para la eliminación de los contaminantes calculados es diferenciado a lo largo del tiempo; en cuanto a esto, el ozono es el contaminante que presenta los valores más altos de remoción durante todos los meses del año; en específico, en febrero se registra su pico más alto, lo que coincide con una de las temporadas de mayor concentración de este contaminante, donde incluso se le encuentra en magnitudes 40% superiores a los límites permisibles de acuerdo con datos generados por la SMADSOT (2021).



GRÁFICA 3
 Eliminación mensual de contaminantes por el arbolado
 Fuente: elaboración propia usando el software i-Tree con datos de campo.

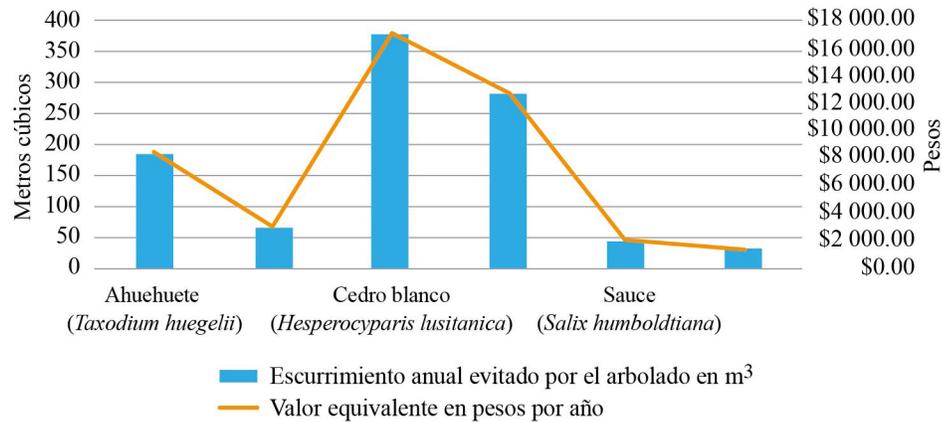
El secuestro bruto de carbono provocado por el arbolado de Laguna de San Baltazar es de 28.47 toneladas métricas por año con un valor asociado de 105 000 pesos; al respecto, las especies que más contribuyen a ello son el cedro blanco (*H. lusitanica*), la casuarina (*C. equisetifolia*) y el fresno (*F. uhdei*). Calculado en toneladas por hectárea al año, el valor de carbono secuestrado en el área de estudio es de 2.03, resultado que es superior a lo registrado en otras áreas verdes urbanas del centro del país en las que se ha empleado i-Tree (Navarro, 2017), incluso en áreas donde la densidad del arbolado es mayor (Martínez *et al.*, 2021). Este diferencial puede deberse, entre otros aspectos, al clima, especies presentes y calidad general del sitio (Ordóñez *et al.*, 2015).



GRÁFICA 4
 Secuestro anual de carbono por el arbolado de la Laguna de San Baltazar
 Fuente: elaboración propia con datos de campo.

El escurrimiento reducido por la infiltración al subsuelo provocada por los árboles de la Laguna de San Baltazar es de 1 230 m³ al año, con un valor asociado de 55 000 pesos. Las especies que más contribuyen a ello son el cedro blanco (*H. lusitanica*), el fresno (*F. uhdei*) y el ahuehuete (*T. huegelii*), ya que los bosques urbanos funcionan como un componente fundamental para el control de inundaciones (Zuñiga *et al.*, 2021) y, dado que la Laguna

de San Baltazar ha sido considerada parte de un conjunto de espacios óptimos para desarrollar infraestructura verde con el fin de mitigar esta problemática en la ciudad de Puebla (Bolaños, 2020). A partir de estos datos base, será crucial desarrollar estudios complementarios que permitan determinar la importancia del escurrimiento que en la actualidad se evita en relación con otros sitios.



GRÁFICA 5
 Ecurrimiento anual reducido por el arbolado de la Laguna de San Baltazar
 Fuente: elaboración propia con datos de campo.

Los árboles de la Laguna de San Baltazar generan 75.92 toneladas de oxígeno al año. A continuación, se muestran ordenadas de mayor a menor las 10 principales especies que aportan a este resultado (cuadro 2).

CUADRO 2
 Principales especies productoras de oxígeno en la Laguna de San Baltazar

| Especie | Oxígeno (tonelada métrica) |
|---------------------------------------|----------------------------|
| <i>Hesperocyparis lusitanica</i> Mill | 22.88 |
| <i>Casuarina equisetifolia</i> L. | 16.06 |
| <i>Fraxinus uhdei</i> Wenz | 9.62 |
| <i>Taxodium huegelii</i> C. Lawson | 9.23 |
| <i>Salix humboldtiana</i> Willd. | 5.03 |
| <i>Ligustrum lucidum</i> W.C. Aiton. | 4.54 |
| <i>Salix babylonica</i> L. | 4.13 |
| <i>Liquidambar styraciflua</i> L. | 1.06 |
| <i>Ficus benamina</i> L. | 0.98 |
| <i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don | 0.76 |

Fuente: elaboración propia usando el *software* i-Tree con datos de campo.

La diversidad del arbolado urbano presente en la laguna, estimada mediante el índice de Shannon, es de 1.8. Este valor se considera bajo (Margalef, 1972, citado en en Medrano *et al.*, 2020); no obstante, es superior al de otras áreas verdes urbanas como lo son el zócalo de Puebla, el jardín del Barrio del Artista, el parque de San José, entre otros (Gutiérrez *et al.*, 2015), ya que la citada diversidad juega un papel determinante en la provisión de hábitat para aves y mamíferos que residen en las ciudades (Zuñiga *et al.*, 2021). Al respecto, es necesario analizar de forma integral el efecto que variaciones de este índice tienen sobre estas otras formas de vida. Cabe destacar que se desarrollan ya estudios de la ornitofauna de la Laguna de San Baltazar, por lo que con los datos presentados se podrán complementar.

ANÁLISIS PROSPECTIVO

Si bien no es el único aspecto por considerarse, la valoración de los servicios ecosistémicos forma parte de múltiples esfuerzos para visibilizar el aporte de la naturaleza al mantenimiento de las condiciones de vida de la población. También es un elemento fundamental para orientar una toma de decisiones adecuada, lo que contribuye a la construcción de políticas públicas que estimulen el desarrollo sustentable y climáticamente inteligente (INECC, 2020).

Artículos como el que aquí se presenta construyen referentes que amplían la información comparativa ante la cual es posible evidenciar el efecto de una futura toma de decisiones en Puebla u otras ciudades. Los resultados aquí mostrados se constituyen en información valiosa para el planeamiento de nuevas evaluaciones de áreas verdes urbanas y para incrementar el conocimiento respecto a los aportes de estos entornos en relación con el bienestar de los habitantes de las ciudades. Aunado a lo anterior, generan una línea base que permitirá evaluar el efecto de acciones de manejo del área de estudio y las implicaciones que puedan tener sobre los servicios ecosistémicos que el arbolado aporta.

CONCLUSIONES

El arbolado urbano de la Laguna de San Baltazar presenta una densidad y diversidad superior a la reportada en otros espacios verdes del municipio de Puebla. El secuestro de carbono por parte del arbolado evaluado se destaca en relación con datos bibliográficos de otros espacios del centro del país donde se han realizado análisis similares con el programa i-Tree. Incluso, supera el de áreas donde la densidad es mayor, lo que revela el valor de las paletas vegetales en el diseño de este tipo de espacios, ya que se ha considerado al sitio como un espacio clave para la regulación de inundaciones. En este sentido, los 1 230 m³ calculados de escurrimiento reducido al año permitirán determinar de mejor manera el valor que el área tiene para este fin mediante comparativos con trabajos con este mismo tópico se desarrollen en otros sitios. La estimación de la remoción de contaminantes, en particular la del ozono, abre la posibilidad de reflexionar sobre el papel que pueden jugar las zonas verdes urbanas de Puebla en la mejora de la calidad del aire, especialmente en los meses de máximas concentraciones de partículas contaminantes.

El valor económico de los servicios ecosistémicos del arbolado de la Laguna de San Baltazar, es de 592 200 pesos anuales; esta cifra sirve como una línea base que permitirá evaluar cambios derivados, entre otros aspectos, de acciones de manejo. Resulta necesario estimar el efecto que la diversidad de la masa arbórea respecto a sus beneficios que pudiera tener en otras formas de vida como las aves y mamíferos que habitan la zona para tener una visión más integral.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a los árbitros que aportaron una mejora a la estructura del artículo y a Puebla Verde A. C. por su aportes para la realización del proyecto.

REFERENCIAS

- Almazán-Núñez, R. C., y Hinterholzer-Rodríguez, A. (2010). Dinámica temporal de la avifauna en un parque urbano de la ciudad de Puebla, México. *Huitzil*, 11(1), 26-32. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-74592010000100007&lng=es&tlng=es
- Almanza-Marroquín, V., Figueroa, R., Parra, O., Fernández, X., Baeza, C., Yañez, J., & Urrutia, R. (2016). Bases limnológicas para la gestión de los lagos urbanos de Concepción, Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(2), 313-326.

- Alvarado, N., De la Barrera, F. y Steiniger, S. (2015). Evaluación ecológica rápida de las plazas del norte de Chile: una técnica de teledetección para identificar arbolado urbano. *Chloris Chilensis. Revista Chilena de Flora y Vegetación*, 18(2).
- Barreto, M. y Martínez, F. (2018). *Beneficios del arbolado urbano*. México: Universidad Autónoma Metropolitana. Disponible en http://evaluacion.azc.uam.mx/assets/importancia_del_arbolado_urbano.pdf
- Bolaños, E. (2020). *Infraestructura verde, método para la mitigación de inundaciones en zonas urbanas. Caso microcuenca río Chinguñoso, Puebla* (tesis de grado). México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2012). *Guía de Árboles Comunes de la Ciudad de México*. México. Disponible en https://www.biodiversidad.gob.mx/Difusion/cienciaCiudadana/aurbanos/pdf/GuiaArboles_v3.pdf
- Gregorio de Andrade, R. de C. (2012). Urbanismo y planificación: Áreas Verdes Urbanas. *Summa Humanitatis*, 6(1). Disponible en https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/summa_humanitatis/article/view/3729
- Gutiérrez, V., Gómez, S., Silva, S., Toxtle, J. y Hernández, J. (2015). El arbolado de los espacios públicos abiertos de la zona de monumentos del centro histórico de la Ciudad de Puebla. *Estudios en Biodiversidad*, 15. Disponible en <http://digitalcommons.unl.edu/biodiversidad/15>
- Gutiérrez, V., Silva, S. y Varela, L. (2021). Flora del bosque de encino (*Quercus*: Fagaceae) de dos barrancas de la ciudad de Puebla, México. *Madera y bosques*, 27(1), e2712113. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712113>
- Hernández, F., López, J., Medina, J., Aguilar, J. y Valencia, V. (2016). Diagnóstico del arbolado de la reserva ecológica “Cerro de Amalucan”, ciudad de Puebla, México. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 4(2), 141-148.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). (2020). *Revisión y análisis de documentos sobre valoración económica de los servicios ecosistémicos de México de 1990 a 2019*. México. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/579760/Revisio_n_y_analisis_valoracion.pdf
- Leal, C., Leal, N., Alanís, E., Pequeño, M., Mora, A. y 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>
- Martínez, T., Hernández, P., López, S. y 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>
- Medrano, A., Enríquez, P., Zuria, I. y Castellanos, J. (2020). Riqueza y abundancia de aves en áreas verdes en la ciudad de San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. *Revista Peruana de Biología*, 27(2), 169-182. <https://doi.org/10.15381/rpb.v27i2.17883>
- Navarro, N. M. (2017). *Assessment of ecosystem services and perceived benefits of street trees: a case study of Coyoacan, Mexico City (T)*. University of British Columbia. Retrieved from <https://open.library.ubc.ca/collections/ubctheses/24/items/1.0361760>
- Ordóñez, J. A., Rivera, R., Tapia, M. E. y Ahedo, L. R. (2015). Contenido y captura potencial de carbono en la biomasa forestal de San Pedro Jacuaro, Michoacán. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(32), 7-16. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322015000600007&lng=es&tlng=es
- Ramos, D., Castro, V. y Sánchez, E. (2015). Caracterización de la vegetación a lo largo de una gradiente altitudinal en la comunidad de Cochahuayco, cuenca media del río Lurín, Lima. *Ecología Aplicada*, 14(1), 11-25. Disponible en http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162015000100002&lng=es&tlng=es

- SMADSOT (Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial). (2021). *Informe 2020 de Calidad del Aire: Zona Metropolitana del Valle de Puebla ZMVP*. Gobierno del Estado. Disponible en https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/Documents/Reporte_Anuual_2020.pdf
- Taborda, V. J., Gianello, D., Aguer, I. y Crettaz, M. C. (2017). Importancia de la conservación de las Lagunas Urbanas Pampeanas, en Filippini María, Pinto Mauricio y Rébora Cecilia, *Congreso Internacional Aguas, Ambiente y Energía de la Asociación de Universidades Grupo Montevideo: resúmenes de trabajos*. Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo. Disponible en <https://www.uncuyo.edu.ar/congresoaae2017/upload/libro-congreso-final-1.pdf>
- USDA Forest Service & Davey Tree Expert Company. (2018). *i-Tree ECO Mex handout Davey. i-Tree Development Team*. Washington. Retrieved from https://www.itreetools.org/resources/lang/es/iTree_Eco_Mexico_Adaptation_Description_15Sep2018.pdf
- Zubicaray, G., Brito, M., Ramírez Reyes, L., García, N. y Macías, J. (2021). *Las ciudades mexicanas: tendencias de expansión y sus impactos*. London: Coalition for Urban Transitions. <https://urbantransitions.global/publications/>
- Zuñiga, A. V., Farnum, F. y Murillo, V. (2021). Comparación del estrato arbóreo en fragmentos de bosques urbanos de Margarita, Espinar y Davis, Provincia De Colón, República De Panamá. *Scientia*, 31(1), 17-37. <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v31n1a2>

NOTAS

[1] Disponible en <https://www.itreetools.org>

[2] Precios en moneda nacional de México

CC BY-NC-ND