

Cuando los árboles se estresan, ayudan menos

El arbolado de la ciudad puede mejorar el ambiente, la sensación térmica y ser el hogar para muchas especies. Pero, la vida de los árboles en la ciudad puede ser muy estresante, ya que se enfrentan a temperaturas elevadas y una baja humedad del suelo por efecto de la pavimentación. La ecofisiología vegetal puede ser utilizada para estudiar cómo los árboles urbanos funcionan, qué beneficios nos proveen y cómo la urbanización afecta la calidad de estos. Además de la temperatura y la humedad, la radiación es otro factor que afecta los procesos de los árboles, y juntos determinan su capacidad para mejorar el ambiente.

Palabras clave: arbolado urbano, ecofisiología, ambiente urbano.

GERARDO A. CARRILLO-NIQUETE *, AARÓN R. CASANOVA-DOMÍNGUEZ Y ROBERTH A. US-SANTAMARÍA

Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Colonia Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México.

*gecani91@gmail.com

No cabe duda de que los árboles son los organismos más visibles al interior de los parques y jardines. Por otro lado, aunque hayan sido intencionalmente plantados, o que se encuentren en terrenos baldíos, su presencia es relevante debido principalmente a dos procesos que contribuyen a mejorar la calidad ambiental en las ciudades y consecuentemente, la salud humana: la fotosíntesis y la transpiración vegetal.

La fotosíntesis es un proceso fisiológico donde las plantas toman dióxido de carbono del aire, energía solar, y el agua del suelo para fabricar sus propios alimentos. Durante este proceso, se mejora la calidad del aire de las ciudades, ya que se disminuye la concentración del dióxido de carbono, que es un contaminante. El poder de la fotosíntesis de árboles urbanos es tan grande que se ha estimado que en la ciudad de Chicago los árboles urbanos consumen cerca de 2.5 millones de toneladas de dióxido de carbono al año (Nowak *et al.* 2013). Otro proceso igual de poderoso es la transpiración, que es la evaporación del agua en las hojas y la liberación de vapor de agua a través de ellas. Cuando ocurre, las hojas se refrescan, por lo que bajan su temperatura y también la del aire cercano a ellas. La sensación de frescura ha sido medida en áreas metropolitanas como la ciudad de México, en donde los árboles de liquidámbar (*Liquidambar styraciflua* L.) y de haya (*Fagus sylvatica* L.) ayudan a reducir entre 1° y 2° C la temperatura del aire, siempre y cuando la densidad de estos árboles sea adecuada (Ballinas y Barradas 2015). Por otro lado, investigadores de Suecia midieron la temperatura en sitios con diferente cobertura arbórea dentro de una

@CICYoficial    

 GOBIERNO DE
MÉXICO

    gob.mx

ciudad, y encontraron que el aire se enfría a un ritmo de 0.25 °C por hora en sitios arbolados poco tiempo después de la puesta de sol, lo cual se relaciona con la transpiración de estos árboles, ya que en sitios sin arbolado este efecto no ocurrió (Konarska *et al.* 2015).

Los árboles proporcionan otros bienes y servicios que contribuyen al bienestar de la población (Figura 1), por lo que el arbolado urbano se incluye en las acciones basadas en el funcionamiento de los ecosistemas y en los servicios ambientales que estos proveen (soluciones basadas en la naturaleza) para responder a problemas que amenazan el bienestar, tales como el cambio climático, la seguridad alimentaria o el riesgo ante desastres naturales (IUCN 2017). Debido a sus grandes beneficios para las personas y para el mantenimiento de la biodiversidad, se han vinculado con los Objetivos del Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 (CityAdapt 2022).

Los servicios ambientales del arbolado ¿Qué pasa cuando se rompe el equilibrio?

Los servicios ambientales del arbolado urbano son el resultado del correcto funcionamiento de los árboles y de la densidad de árboles en una zona; este funcionamiento depende de las condiciones ambientales (luz, el agua, la temperatura y el viento), su entorno, así como de las interacciones con especies animales (insectos, mamíferos, reptiles y aves), vegetales (otras plantas que viven sobre ellos) e incluso con microbios (Espenshade *et al.* 2019).

Para conocer el efecto del ambiente y de las interacciones sobre el funcionamiento de los árboles, se recurre a la ecofisiología vegetal, esta es una ciencia que analiza cómo las plantas viven, y cómo modifican sus procesos vitales dependiendo de su hábitat (Lambers *et al.* 2008). La ecofisiología vegetal ha permitido saber por qué existen plantas capaces de sobrevivir en ambientes secos como los desiertos, o



Figura 1. Beneficios del arbolado urbano para las personas y la biodiversidad. Modificado y traducido de The Nature Conservancy (<https://www.cnu.org/>).

muy salinos como en el manglar y las costas, gracias a que esta ciencia integra conocimientos de otras ciencias como la biología, la ecología, la física y la agronomía.

Los árboles de las ciudades se enfrentan a condiciones que muchas veces no son favorables para su sano desarrollo y permanencia (Figura 2). Estas condiciones rompen su equilibrio con el ambiente y provocan que la planta se estrese. Al igual que las personas, el funcionamiento de los árboles cambia en muchas formas. Por ejemplo, un árbol plantado en un agujero rodeado por cemento tiene muy poca superficie por donde el riego o el agua de lluvia puede infiltrarse, lo que puede provocar la escasez de agua durante tiempo prolongado. Además, la alta capacidad del cemento para almacenar calor ocasiona en el entorno un aumento de la temperatura que puede detener la fotosíntesis por el calentamiento excesivo de las hojas (Figura 3). Lo ideal es proporcionar una mayor superficie de infiltración para incrementar el volumen de agua disponible para las raíces. La falta de agua es muy común en parques y jardines, y la respuesta de los árboles ante esta condición es que la copa sea muy escasa y la sombra disminuya. De hecho, la mayoría de los servicios ambientales dependen de la existencia de una copa arbolada saludable (Calfapietra *et al.* 2015), por lo que cualquier factor que afecte a las hojas podría afectar los servicios ambientales que se esperan de un árbol.

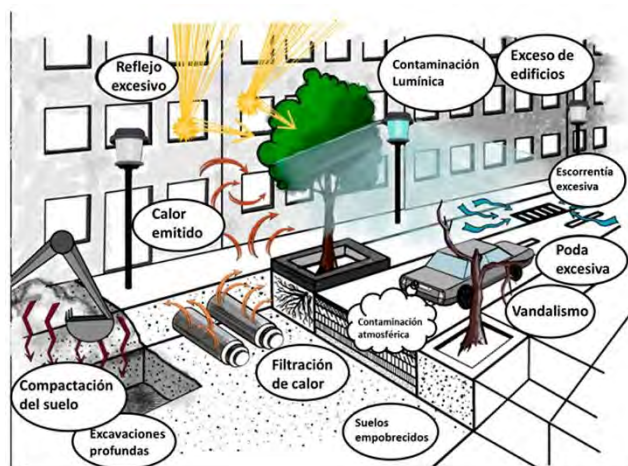


Figura 2. Factores abióticos que afectan a los árboles urbanos. Modificado y traducido de Czaja *et al.* 2020.



Figura 3. Situación común de un árbol mal plantado. El área de suelo permeable es muy pequeña. Además, el árbol (*Albizia lebbbeck* (L.) Benth.) es muy grande para el espacio destinado, por lo que presenta riesgo de caerse.

Lo que la ecofisiología del árbol dice acerca de sus servicios ambientales

Existe la idea de que los árboles urbanos para sobrevivir en un entorno citadino han tenido que desarrollar adaptaciones de una forma diferente a los árboles que viven en la naturaleza, (Calfapietra *et al.* 2015). Para ilustrar esta situación, en Boston se encontró que su arbolado urbano “vive más rápido, pero muere más joven”; algunas especies de su arbolado urbano crecen hasta cuatro veces más rápido en comparación con árboles del campo, pero la mortalidad de los árboles urbanos fue hasta dos veces más grande que la encontrada en árboles del campo (Smith *et al.* 2019). Al igual que la medición de signos clínicos empleados en el diagnóstico de las enfermedades humanas, las mediciones de las respuestas fisiológicas de los árboles permiten conocer si éstos se encuentran funcionando adecuadamente. Estas respuestas se estudian desde las hojas hasta las

raíces, y se registran mediante diversos instrumentos que ayudan a responder preguntas específicas.

En el caso de las hojas de los árboles, el cálculo del balance de energía es un aspecto fisiológico que se refiere a la entrada y salida de energía. La energía que proviene de la radiación solar se relaciona con la temperatura de los alrededores (aire) y de las hojas. Las hojas absorben, reflejan o dejan pasar parte de esa radiación, y por lo tanto las hojas alcanzan cierta temperatura como resultado de este balance (Nobel 2009). La temperatura, a su vez, influye sobre procesos vitales como la fotosíntesis y el crecimiento. El problema de las superficies urbanas como las calles y las aceras es que además de ser impermeables, retienen y disipan gran cantidad de calor, que al ser liberado hacia el aire puede causar un calentamiento anormal en las hojas de árboles cercanos (Hu *et al.* 2020), lo cual puede provocar que la fotosíntesis, la transpiración y el crecimiento del árbol se detengan por el exceso de calor. Esta combinación de situaciones es letal para los árboles, en especial aquellos árboles pequeños, recién plantados y con pocas hojas.

Para analizar el balance de energía se usan cálculos matemáticos que incorporan datos del ambiente y de propiedades de las hojas. Para medir la humedad, la temperatura, el nivel de luz y de radiación solar del ambiente, se emplean sensores manuales y sensores automatizados (Figura 4A). Al procesar los datos, el análisis del balance de energía brinda información sobre el estado fisiológico de la planta y su relación con las condiciones circundantes. De este modo, se puede identificar a las especies con hojas más sensibles al exceso de radiación, o bien, a las especies más resistentes al medio urbano.

Otro aspecto importante del arbolado urbano es la transpiración, la cual se relaciona con el servicio ambiental de regulación de la temperatura. La transpiración, desde el punto de vista ecofisiológico, es “energéticamente costosa”, lo que significa que para que el agua líquida pase al estado gaseoso, se requiere una cantidad de energía que es proporcionada por el sol. Esta energía es conocida como calor latente, y cuando un árbol adulto transpira, utiliza una mayor cantidad de energía de sus alrededores como calor latente, lo que produce que haya menos energía disponible para calentar superficies y objetos circundantes. Esto se debe gracias a que el agua es un refrigerante natural que acumula una gran cantidad de energía antes de pasar de líquido a

gas (tiene una gran capacidad calorífica). Las estimaciones del calor latente de la transpiración de árboles urbanos permiten conocer la capacidad de las especies para refrescar el ambiente local (Ballinas y Barradas 2016). Por consiguiente, conocer las tasas de transpiración de los árboles en las ciudades contribuye a elegir especies, que además de producir sombra, pueden ser las más indicadas para contrarrestar el exceso de calor por medio de sus tasas de transpiración.

Para estudiar la transpiración de los árboles se mide el flujo de savia, que es la cantidad de litros de agua por hora que ascienden por el tronco y que llega a las partes más altas del árbol. Estas mediciones se realizan con sensores térmicos en forma de aguja que se insertan en los troncos, y que son monitoreados por registradores de datos durante varios días (Us-Santamaría *et al.* 2019). También se miden las condiciones ambientales con sensores (Figura 4B) y se toman datos de las dimensiones de los árboles, ya que la transpiración está relacionada con el diámetro del tronco y con la cantidad de follaje del árbol. Las estimaciones del calor latente provienen de ecuaciones que utilizan los datos de transpiración, y en conjunto permiten saber la importancia de cada especie en la transpiración total y de la energía usada por calor latente en un parque entero (extrapolaciones por unidad de terreno), por ejemplo, y así resaltar de mejor forma los beneficios del arbolado urbano con relación a este servicio ambiental.

Para resaltar la importancia de los estudios ecofisiológicos en el arbolado urbano, se presenta una situación: en ciudades tropicales, como Mérida (Yucatán), se presenta una combinación peligrosa para muchas especies de árboles: altas temperaturas del aire y escasez de lluvia en abril y mayo. Una selección de especies de arbolado que considere las mediciones antes descritas con otros aspectos de la fisiología vegetal puede ser benéfica. Por ejemplo, cuando las plantas realizan la fotosíntesis al mediodía, las hojas pueden perder mucha agua debido a la transpiración. La pérdida del agua se controla gracias a los estomas, que son poros en las hojas que se abren y cierran según la humedad y temperatura del aire. Las mediciones de fotosíntesis (Figura 4C) permiten conocer si el cierre de los estomas es más estricto en unas especies que en otras, así como saber cuánta agua invierten los árboles en la fotosíntesis, lo cual es importante durante la temporada más seca del año.



Figura 4. A. Detalle de un termopar (cables azules) instalados en una hoja. Mide la temperatura de la hoja durante el día y la noche. B. Estación con sensores microclimáticos (izquierda) y registrador de datos. C. Vista interna del registrador. D. Mediciones de fotosíntesis en árboles del parque “Animaya”. (Fotografías: A. Casanova, R. Us y G. Carrillo).

Los estudios ecofisiológicos y un mejor futuro para arbolado

Los árboles urbanos hacen más que funciones decorativas; son seres vivos capaces de mejorar la calidad de ambiente, pero para lograrlo necesitan de nuestro entendimiento y cuidado. Hace cuatro décadas, cuando los primeros árboles se plantaron en muchas ciudades, se conocía poco sobre las fuentes de estrés del arbolado urbano, y acerca de sus repercusiones sobre los servicios ambientales. En el presente, corresponde usar el conocimiento científico y la divulgación para mejorar esta situación. Al conocer la relación entre el ambiente urbano y cómo responden fisiológicamente los árboles ante éste, se pueden emitir recomendaciones sobre las especies de árboles más convenientes para plantar en un municipio o localidad, considerando las distintas fuentes de estrés y el nivel de tolerancia fisiológica. Hoy en día, las campañas de reforestación y arborización no tienen el éxito deseado y en parte esto se debe a que se eligen especies y sitios de plantación incorrectos (Hilbert *et al.* 2019).

Estudiar el arbolado urbano conlleva dificultades y obstáculos; aunque las ciudades tropicales tienen una alta diversidad de especies de arbolado urbano (Lugo 2010), son las ciudades que poseen menos estudios ecofisiológicos sobre los servicios ambientales del arbolado, siendo la mayoría de éstos en ciudades de clima templado. De este modo, los métodos y experimentos ecofisiológicos, para su implementación en el trópico, necesitarán adaptaciones que incluyan materiales y equipos resistentes a las condiciones ambientales de estas latitudes. Otros obstáculos están relacionados con la cooperación por parte de la sociedad, debido a la falta de cultura ambiental con relación al arbolado urbano; es común ver en las calles árboles en malas condiciones, incluso dañados intencionalmente, debido al desconocimiento acerca de los beneficios para los habitantes. Divulgar las razones y beneficios de los estudios del arbolado urbano es el primer paso para cambiar esta visión.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Celene Espadas Manrique por su apoyo en la preparación del escrito.

Referencias

- Ballinas M., y Barradas V.L. 2016.** The Urban Tree as a Tool to Mitigate the Urban Heat Island in Mexico City: A Simple Phenomenological Model. *Journal of Environmental Quality* 45(1): 157–166. <https://doi.org/10.2134/jeq2015-01.0056>
- Calfapietra C., Peñuelas J. y Niinemets Ü. 2015.** Urban plant physiology: Adaptation-mitigation strategies under permanent stress. *Trends in Plant Science*, 20(2), 72–75. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.11.001>
- Czaja M., Kołton A. y Muras P. 2020.** The complex issue of urban trees-stress factor accumulation and ecological service possibilities. *Forests* 11(9): 1–24. <https://doi.org/10.3390/F11090932>
- Espenshade J., Thijs S., Gawronski S., Bové H., Weyens N. y Vangronsveld J. 2019.** Influence of urbanization on epiphytic bacterial communities of the platanus × hispanica tree leaves in a biennial study. *Frontiers in Microbiology* 10 (APR): 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00675>
- CityAdapt 2022.** Reconectando ciudades con la naturaleza. Soluciones basadas en la naturaleza en ciudades. Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF). <https://cityadapt.com/-cityadapt/que-son-sbn-en-ciudades/> (consultado el 14 de enero 2022).
- Hilbert D.R., Roman L.A., Koeser A.K., Vogt J., y van Doorn N.S. 2019.** Urban tree mortality: A literature review. *Arboriculture and Urban Forestry* 45(5): 167–200. <https://doi.org/10.48044/jauf.2019.015>
- Hu S., Ding Y. y Zhu C. 2020.** Sensitivity and Responses of Chloroplasts to Heat Stress in Plants. *Frontiers in Plant Science* 11(April): 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00375>
- Konarska J., Uddling J., Holmer B., Lutz M., Lindberg F., Pleijel H. y Thorsson S. 2016.** Transpiration of urban trees and its cooling effect in a high latitude city. *International Journal of Biometeorology* 60(1): 159–172. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1014-x>
- Lambers H., Chapin III F.S. y Pons T.L. 2008.** Plant physiological ecology. In *Springer*.

- Lugo A. E. 2010.** Let's Not Forget the Biodiversity of the Cities. *Biotropica* 42(5): 576–577. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00673.x>
- Nobel P.S. 2009.** Physicochemical and environmental plant physiology. In *Academic Press*.
- Nowak D.J., Hoehn R.E., Bodine A.R., Crane D.E., Dwyer J.F., Bonnewell V. y Watson G. 2014.** Urban trees and forests of the Chicago Region. *Chicago's Urban Trees and Forests: Assessments, Effects and Values* 1–162.
- Smith I.A., Dearborn V.K., Hutyra L.R. 2019.** Live fast, die young: Accelerated growth, mortality,

and turnover in street trees. *PLoS ONE* 14(5): e0215846. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215846>.

- Us-Santamaría R., Salas-Rabaza J.A., y Salas-Acosta E.R. 2019.** Los árboles también sudan, pero ¿cómo podemos medirlo? *Desde El Herbario CICY* 220: 217–220.

- IUCN [Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza]. 2017.** ¿Qué son las soluciones basadas en la naturaleza? <https://www.iucn.org/node/28778>. (consultado el 04 de enero de 2022).

Desde el Herbario CICY, 14: 64–70 (31-marzo-2022), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano, Diego Angulo y Lilia Lorena Can Itzá. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 31 de marzo de 2022. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.