

Las plantas que superan los límites ambientales

**Aarón René Casanova Domínguez
José Luis Andrade**

Las plantas terrestres son organismos conocidos en todo el mundo por sus diversas formas de vida (hierbas, arbustos, árboles), por su uso (plantas medicinales, comestibles, ornamentales) e incluso son símbolos o emblemas (árboles de navidad, agaves mezcaleros, flor nacional, escudo nacional). Son la base de la vida y se encuentran en casi todos los rincones del planeta. Como cualquier ser vivo, tienen limitaciones, pero existen plantas que constantemente superan esos límites. Exploraremos parte del origen de estas limitaciones y hablaremos de cómo algunas plantas (muchas de ellas mexicanas) les han dado la vuelta y utilizan los límites a su favor.

EL BRILLO DEL SOL

Todo comienza con la estrella que vemos a diario. El sol emite energía en forma de radiación electromagnética debido a reacciones de fusión que se llevan a cabo en su núcleo.

Nosotros percibimos la radiación solar en su mayor parte como luz visible (longitud de onda corta). El arcoíris y el emblemático experimento de la luz pasando a través del prisma son prueba de la existencia de diferentes colores y distintas longitudes de onda dentro de la luz visible. Las plantas también reciben radiación del Sol, pero a

diferencia de nosotros y de otros animales, ellas no pueden moverse de donde nacen. De esta forma, la luz para las plantas es fundamental.

INGENIERÍA VEGETAL: LUZ “COMESTIBLE”

Y EL VALOR DE LO VERDE

Las plantas, al no poder moverse para buscar alimento y además recibir radiación solar la mayor parte del día, tienen un problema complejo que han solucionado de forma brillante. Al ser sésiles, se han adaptado para alimentarse utilizando lo que hay a la mano y en abundancia, la luz. Así, junto con un gas como el dióxido de carbono (CO_2) y el agua, las plantas producen su alimento mediante el proceso de la fotosíntesis. En pocas palabras, utilizan la luz visible como fuente de energía y convierten materia inorgánica en materia orgánica, rompiendo un límite entre dos mundos.

Alimentarse de la luz no sería posible sin unos orgánulos presentes en las células de las hojas de las plantas, llamados cloroplastos, dentro de los cuales se llevan a cabo los procesos de la fotosíntesis. Sin embargo, los cloroplastos absorben principalmente luz de los colores azul y rojo, mediante la clorofila, y es por esto por lo que las hojas de las plantas son verdes (Fernández Nava R., 2013), que es el color con la longitud de onda que no absorben.

Hasta este punto se podría pensar que una planta, aun teniendo agua y nutrientes minerales esenciales, no puede sobrevivir sin luz. Veamos cómo se han adaptado para solucionar esto.

LA MAQUINARIA DE LA FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis engloba una serie de procesos dignos de superar a un reloj suizo; estos se dividen en dos grupos: reacciones dependientes de la luz y un ciclo bioquímico conocido como el ciclo de Calvin. En el primer grupo es donde las hojas absorben la luz y la transforman en energía química. En el segundo, los poros de las hojas, llamados estomas, permiten el ingreso del CO_2 , el cual se absorbe y, como consecuencia, se pierde agua de las hojas a

la atmósfera. Para atrapar el CO_2 es necesaria una enzima que se encuentra en los cloroplastos, conocida como “rubisco” (técnicamente, ribulosa-1,5-difosfato carboxilasa oxigenasa) y que reacciona con el CO_2 y produce carbohidratos mediante el ciclo de Calvin y los productos de las reacciones dependientes de la luz (ATP y poder reductor).

Lo ideal para la fotosíntesis es que haya cierta cantidad de luz y agua en el medio, pues más luz no significa más fotosíntesis; es decir, la fotosíntesis se satura con un exceso de luz. Además, rubisco pierde eficiencia con temperaturas altas, entre 35 y 40 °C (Jordan y Ogren, 1984), y arriba de los 45 °C se inactiva (Crafts-Brandner y Salvucci, 2000). Pero entonces ¿qué pasa con las plantas desérticas o las plantas que reciben alta cantidad de radiación durante tiempos prolongados? Por el contrario, ¿qué pasa con la fotosíntesis en sitios cubiertos por doseles de árboles en la selva, donde la luz es escasa, pero existe vegetación?

HOJAS GRANDES, HOJAS PEQUEÑAS

Cuando la luz escasea, las plantas tienen un truco: modificaciones en la morfología de sus hojas. Con poca luz, hay que maximizar la cantidad de esta que se atrapa con hojas grandes y horizontales. Por otro lado, con luz excesiva, las plantas tienen hojas más pequeñas o, en algunos casos, prescinden de ellas ya que pueden significar una importante pérdida de agua. En este último caso, algunas plantas desarrollan tallos con tejido fotosintético, como la mayoría de las cactáceas; con esto superan los límites impuestos por la pérdida de agua.

HOJAS SUCULENTAS

Hay hojas de plantas de sitios secos que almacenan agua y se tornan gruesas. De esta manera estas hojas pueden seguir realizando fotosíntesis aun cuando no haya agua en el medio (Andrade *et al.*, 2007). Algunas epífitas (plantas que habitan en las copas de los árboles) tienen hojas suculentas y otras tienen hojas en forma de roseta que crean un tanque para la captación de agua de lluvia, pero



Figura 1. Tallos suculentos de plantas ornamentales del género *Beaucarnea* y *Pachypodium* en un jardín botánico (con licencia de Adobe Stock).

también está documentado que algunas bromeliáceas epífitas pueden atrapar otra agua atmosférica, como el rocío o la niebla (Flores, Briones y Andrade, 2022). Algunas especies de epífitas no parecen presentar límites cuando las vemos crecer sobre los cables de luz en algunas poblaciones (Figura 1).

Otras plantas poseen tallos suculentos que contribuyen a retener agua durante un tiempo mayor. Un ejemplo muy conocido es la planta ornamental “pata de elefante”, del género *Beaucarnea*, con varias especies en peligro por extracción de plantas y semillas de los sitios secos donde habitan (Figura 2). Además, el agua tiene una función de

Figura 2. Especie de epífita del género *Tillandsia* sobre cables de electricidad. Nótese todas las pequeñas estructuras que sobresalen, las cuales son frutos que ya han dispersado las semillas. Esto indica que estas plantas, también llamadas claveles del aire, completan todo su ciclo de vida en esos sitios (con licencia de Adobe Stock).



sostén biomecánico. Esto se puede comprobar al observarlo en muchas hojas de plantas herbáceas que se marchitan y se arrugan cuando pierden mucha agua por transpiración.

NO IMPORTA EL PROCEDIMIENTO, SINO EL RESULTADO

Algunas plantas han modificado parte de su procedimiento fotosintético para sobrevivir en condiciones difíciles. La fotosíntesis más común es la C3, o ciclo que inicia con productos de 3 carbonos (ciclo de Calvin), de la cual ya hemos hablado. Sin embargo, cuando las plantas reciben mucha radiación, altas temperaturas y poca agua, existe la fotosíntesis C4 (productos de 4 carbonos) que, para ocurrir, requiere de una anatomía foliar especial y de otra enzima, la PEP-carboxilasa, que es más afín al CO₂ y con una temperatura óptima mayor que la de rubisco. Esto hace que el CO₂ se concentre en ciertas células como moléculas orgánicas de 4 carbonos y estas moléculas se trasladan a otro tipo de células donde aportan el CO₂ secuestrado a la rubisco en los cloroplastos. Las plantas C4 son muy productivas y eficientes en el uso del agua. Ejemplos de plantas C4 que todos conocemos son el maíz, la caña de azúcar y el amaranto.

En ambientes con mucha radiación, altas temperaturas y donde el agua es mucho más limitante, se presenta en algunas plantas una fotosíntesis especial llamada CAM (o metabolismo ácido de las crasuláceas).

En esta fotosíntesis se dividen los procesos de forma temporal. Las plantas CAM fijan el CO₂ durante la noche, cuando las temperaturas del aire son más bajas y, por tanto, hay menos pérdida de agua por los estomas. El CO₂ se fija en forma de un ácido orgánico (generalmente ácido málico) y para ello también requiere de la enzima PEP carboxilasa; este ácido se almacena en vacuolas de las células. Después, durante el día, con los estomas cerrados, las plantas CAM absorben la luz y los ácidos orgánicos salen de las vacuolas y suministran el CO₂ en los cloroplastos para el ciclo de Calvin (Andrade *et al.*, 2007; Geydan



Figura 3. Cactáceas de México y el escudo nacional de México que muestra una especie de opuntia donde se posa el águila. Fotografías tomadas en el jardín botánico El Charco del Ingenio, Guanajuato (fotografías del segundo autor; escudo nacional con licencia de Adobe Stock).



Figura 4. Plantas en ambiente urbano en Mérida, Yucatán. Árbol en una acera, cactácea junto a un muro de concreto, y árboles creciendo en un mar de asfalto en el estacionamiento de un centro comercial (fotografías del segundo autor).

y Melgarejo, 2005; Magos López, 2016). Estas plantas son las más eficientes en el uso del agua. Emblemas nacionales como los agaves y los cactus son ejemplos de plantas con fotosíntesis CAM (Figura 3).

Sin embargo, hay varias especies CAM menos conspicuas, como las epífitas de bosques secos que mencionamos anteriormente, las cuales son ultraeficientes para maximizar los recursos.

OTRAS PLANTAS SIN LÍMITES

Aquí tenemos que hacer la reflexión de que, aunque aparentemente estas plantas no tienen límites, sí pueden llegar a presentar límites en alguna etapa de su vida (por ejemplo, en sus etapas juveniles) o si las colocamos en situaciones que no corresponden a

su naturaleza. Por ejemplo, en las grandes ciudades ponemos plantas en sitios que no reúnen las condiciones de aquellos en los que crecen naturalmente: plantas que requieren sol en interiores, plantas de sombra en exteriores o en sitios estrechos o cerca de superficies que se calientan en exceso como el asfalto, o que reflejan la radiación como el concreto (Figura 4).

Plantas en estas situaciones no solo sufren estrés, sino que pueden causar accidentes o deterioro de las edificaciones.

Hay otras plantas sin límites menos conspicuas que crecen en las ciudades naturalmente y a veces apenas nos percatamos de ellas. Son llamadas arvenses o malezas, y tienen un ciclo de vida corto, pero pueden llegar a ser muy importantes para la biodiversidad urbana (Figura 5; Leopardi Verde y Cuevas Anguiano, 2018).



Figura 5. *Polygonum capitatum* (ahora *Persicaria capitata*) sobre una acera de la ciudad de Antigua, Guatemala (fotografía del segundo autor). Especie originaria de Asia y expandida por todo el mundo en ciudades y otras localidades con altitudes mayores a los 1,500 msnm.

Ciertamente, las condiciones en las ciudades pueden ser beneficiosas para ciertas especies al grado de no tener que invertir tanto en defensas contra herbívoros, como ha sido demostrado en un estudio con el trébol blanco en 160 ciudades del mundo (Santangelo *et al.*, 2022).

Finalmente, por acciones humanas se transportan especies de plantas de una región a otra, muchas veces a lugares donde encuentran condiciones para un crecimiento acelerado, porque no hay quien se las coma o las ataque. Estas son las llamadas plantas invasoras, y hay muchos ejemplos de las calamidades que provocan, como el caso de algunas especies de opuntia en Australia (ver <https://www.nma.gov.au/defining-moments/resources/prickly-pear-eradication>).

CONCLUSIÓN

Hemos visto que muchas especies de plantas pueden superar límites físicos, bioquímicos e incluso temporales. Y es esa capacidad implícita de superarse constantemente la que llama mucho la atención; las plantas suelen tener un truco, solución o

adaptación. En un planeta sin humanos las plantas florecerían sin problemas, y en los sitios secos las plantas CAM podrían fácilmente dominar.

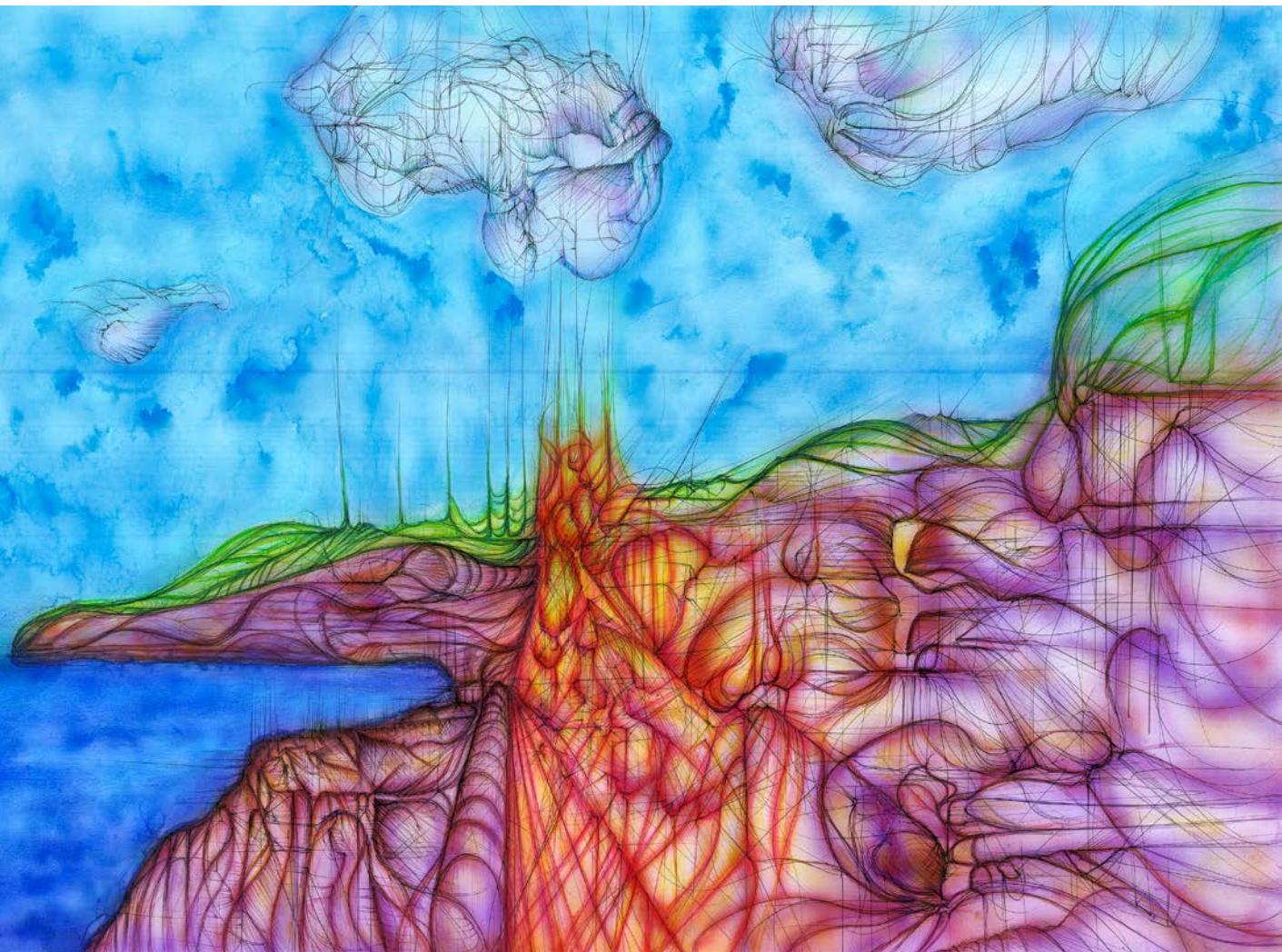
Las plantas son la primera fuente de carbono del planeta, alojan biodiversidad, tienen asociaciones simbióticas, tienen propiedades medicinales y antivirales (por lo que representan un amplio campo de estudio), son elementos importantes en el arbolado de las ciudades para mitigar las islas de calor y proporcionan placer y tranquilidad a los humanos. Es fundamental aprender de ellas.

AGRADECIMIENTOS

A Fabiola Cardeña, Mar Pérez y Julio Salas por la revisión de textos previos.

R E F E R E N C I A S

Andrade JL, de la Barrera E, Reyes-García C, Ricalde MF, Vargas-Soto G y Cervera JC (2007). El metabolismo ácido de las crasuláceas: diversidad, fisiología ambiental y productividad. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 81:37-50. <https://doi.org/10.17129/botsci.1764>.



© Héctor Salazar. 1p-lsd-thc-20 ug-quemada-memoria-mar, 70 x 100 cm, glossy paper, precision pen, airbrush, marker, 2023.

Crafts-Brandner SJ and Salvucci ME (2000) Rubisco activase constrains the photosynthetic potential of leaves at high temperature and CO₂. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97:13430-13435. <https://doi.org/10.1073/pnas.230451497>.

Fernández Nava R (2013). ¿Por qué la mayoría de las plantas son verdes? *Saber Más* 9:9-12. <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/68-numero-9/136-ipor-que-la-mayoria-de-las-plantas-son-verdes.html>.

Flores J, Briones O and Andrade JL (2022). Physiological ecology of Mexican CAM plants: history, progress, and opportunities. *Botanical Sciences* 100(SPE):290-324. <https://doi.org/10.17129/botsci.3107>.

Geydan T y Melgarejo L (2005) Metabolismo ácido de las crasuláceas. *Acta Biológica Colombiana* 10:3-15. <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v10n2/v10n2a01.pdf>.

Jordan DB and Ogren WL (1984) The CO₂/O₂ specificity of ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase oxygenase: dependence on ribulosebiophosphate concentration, pH and temperature. *Planta* 161:308-313.

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00398720.pdf>.

Leopardi Verde CL y Cuevas Anguiano J (2018). Malezas, malas pero no tanto. *Desde el Herbario CICY* 10:263-267. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2018/2018-11-15-CLeopardi-Malezas-malas-pero-no-tanto.pdf.

Magos López N (2016). Las plantas del futuro (fotosíntesis CAM). Recuperado de: <https://www.uv.mx/cienciauv/blog/plantasdelfuturo-fotosintesiscam/>.

Santangelo JS, Ness RW, Cohan B, Fitzpatrick CR, Innes SG, Koch S... and Lampeij C (2022) Global urban environmental change drives adaptation in white clover. *Science* 375:1275-1281. <https://doi.org/10.1126/science.abk0989>.

Aarón René Casanova Domínguez
José Luis Andrade
Unidad de Recursos Naturales
Centro de Investigación Científica de Yucatán
andrade@cicy.mx