

De los azúcares y de cómo regulan las plantas su propio alimento

About sugars and how plants regulate their own food

Andrea Romero-Reyes y Elisa M. Valenzuela-Soto[†]

Resumen

En las células de todo ser vivo, es importante mantener los niveles de energía adecuados de acuerdo con sus requerimientos. Para que nuestro cuerpo esté en equilibrio, los humanos podemos cuidar nuestra dieta y realizar actividad física. En cambio, las plantas, transforman la energía proveniente de la luz solar en energía química y azúcares gracias a la fotosíntesis; el almidón y la sacarosa son dos de los azúcares más importantes para las plantas, pues de ahí obtienen la energía necesaria para su adecuado desarrollo. Además de ser autótrofas, las plantas son inmóviles, entonces, ¿cómo regulan las células sus niveles de energía? En este artículo te explicamos cómo algunos azúcares, más allá de proveer energía, le indican a la célula cómo mantener el equilibrio, regulando así el crecimiento de las plantas.

Palabras clave: plantas, azúcares, fotosíntesis, metabolismo vegetal.

CÓMO CITAR ESTA COLABORACIÓN

Romero-Reyes, Andrea, y Valenzuela-Soto, Elisa M. (2024, septiembre-octubre). De los azúcares y de cómo regulan las plantas su propio alimento. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 25(5). <http://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2024.25.5.1>

Abstract

In the cells of every living being, it is important to maintain adequate energy levels in accordance with its requirements. To keep our body in balance, humans can take care of their diets and do physical activity. On the other hand, plants transform energy from sunlight into chemical energy and sugars thanks to photosynthesis. Two of the most important sugars for plants are starch and sucrose, from which they obtain the energy they need for an adequate development. In addition to being autotrophic, plants are also immobile organisms, so how can a plant cell regulate their energy levels? In this article we will describe how some sugars play a role beyond providing energy, as they can also indicate the cell how to keep balance, thus regulating plant growth.

Keywords: plants, sugars, photosynthesis, plant metabolism.

Andrea Romero-Reyes

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), A.C.

Química en Alimentos por la Universidad de Sonora y Maestra y Doctora en Ciencias por CIAD. Su investigación se ha centrado en evaluar la eficiencia de la fotosíntesis luminosa y del ciclo de Calvin en plantas de trigo panadero bajo condiciones de sequía y altas temperaturas. Actualmente, se encuentra laborando como docente en nivel medio superior y posgrado. Su trabajo de investigación se ha enfocado en comprender el papel que tiene la trehalosa en regular la síntesis de los azúcares en la hoja de las plantas de trigo; esto con el fin de conocer cómo la trehalosa interviene en brindar tolerancia al estrés por calor y mejorar el rendimiento del trigo.

 [0000-0001-7160-9831](https://orcid.org/0000-0001-7160-9831)

Elisa M. Valenzuela-Soto†

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), A.C.

Químico Biólogo por la Universidad de Sonora y egresada de la Maestría y Doctorado en Ciencias de la UNAM. La Dra. Elisa dedicó su vida a estudiar cómo los organismos, principalmente las plantas, responden a las condiciones de estrés ambiental como sequía, salinidad y calor. Su línea de investigación se enfocó en el estudio de metabolitos como la glicina betaína y la trehalosa, así como en las enzimas que participan en la síntesis y degradación de estas moléculas.

La Dra. Elisa dirigió tesis de decenas de estudiantes de licenciatura y posgrado, en quienes continúa el legado de su conocimiento. También encabezó proyectos de colaboración internacional, destacando el trabajo de investigación realizado entre Rothamsted Research (Reino Unido) y CIAD (estado de Sonora) titulado "Salvaguardando el trigo sonorense del cambio climático", en el que se busca identificar variedades de trigo panadero resistentes al estrés por calor y sequía, que puedan aprovecharse por los agricultores de la región del Valle del Yaqui..

 [0000-0003-4910-1024](https://orcid.org/0000-0003-4910-1024)

Introducción

Un ser vivo *autótrofo* es aquél que es capaz de producir su propio alimento; ejemplos de estos organismos son las cianobacterias, las algas y las plantas terrestres, siendo las últimas las más populares de este grupo. Mediante la fotosíntesis, las plantas usan la luz, el agua y el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera para sintetizar azúcares. Éstos les permite tener energía para crecer y desarrollarse.

En los humanos, cuando hay un exceso o deficiencia en los niveles de azúcares en el cuerpo, pueden generarse efectos adversos como la diabetes o *hipoglucemia* (baja de azúcar en la sangre). Por su parte, en las plantas, el desarrollo también puede verse afectado cuando hay un descontrol de los niveles de azúcares en la célula vegetal. Sin embargo, mientras los humanos podemos controlar nuestros niveles de azúcar vigilando los alimentos que ingerimos en nuestra dieta, o haciendo ejercicio para quemar calorías, las plantas no son capaces de ello. ¿Te has preguntado cómo puede una planta controlar el propio alimento que ella misma produce?

Las células obtienen energía a través de las reacciones del metabolismo

El *metabolismo* es todo el conjunto de reacciones bioquímicas que ocurren dentro de un ser vivo. La función principal del metabolismo es transformar los alimentos en energía y aprovechar los nutrientes para que las células puedan funcionar adecuadamente. Existen dos tipos de reacciones metabólicas: a) las *catabólicas*, donde las moléculas grandes son degradadas a moléculas más sencillas, y b) las *anabólicas*, donde se usan las moléculas sencillas para construir compuestos más grandes. En ambos casos, el ATP (adenosín trifosfato) y el NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato) son fundamentales para todas las reacciones metabólicas, ya que funcionan como energía química en todos los procesos (Taiz y Zeiger, 2002).

Existen diferencias importantes entre el metabolismo de las plantas y el de los animales. Los animales principalmente obtienen energía a partir del consumo de carbohidratos (como el pan o la tortilla en el caso de los humanos). Mediante un proceso conocido como *glucólisis*, las células transforman los carbohidratos en ATP, para así obtener energía para funcionar. Cuando consumimos más energía de la que necesitamos, el exceso de ATP se almacena en nuestro cuerpo en forma de grasa, cuya función es guardar la energía para usarse después en tiempos de ayuno. En ocasiones, el consumo de alimentos en exceso puede convertirse en un problema. Si nuestro cuerpo almacena demasiada grasa, pueden aparecer enfermedades como obesidad, diabetes o problemas cardiovasculares, afectando nuestra salud. Por fortuna, una forma de mantener el equilibrio en nuestro metabolismo y cuidar nuestra salud es moderar nuestro consumo de alimentos y realizar actividad física para quemar las calorías extras y mantenernos saludables.

En el caso de las plantas, el control del equilibrio metabólico es algo más complejo. A partir de la fotosíntesis, en las hojas se forman dos productos muy importantes: el almidón y la sacarosa. El almidón está compuesto de cadenas de amilosa y amilopectina (ver figura 1) y se guarda en la hoja como reserva de energía. Por otro lado, la sacarosa, formada de glucosa y fructosa (ver figura 1), se distribuye desde la hoja hacia el resto de la planta para dar energía a las células que no hacen fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 2002).

Las plantas no pueden controlar su ingesta de alimentos como tal; aun así, deben equilibrar la producción y degradación de ATP. Además, al no tener la capacidad de moverse de su lugar, las plantas siempre están sujetas a las condiciones del medio ambiente que las rodea. Entonces, ¿cómo sabe una planta cuándo gastar o guardar energía? Y, sobre todo, ¿cómo puede sobrevivir cuando el ambiente en el que se encuentra es desfavorable?

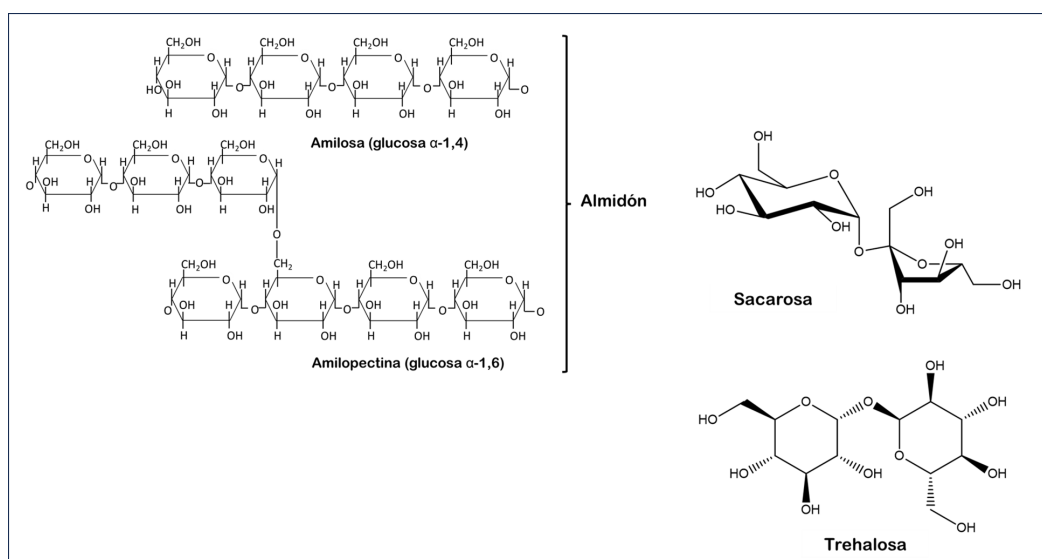


Figura 1. Estructura química de los azúcares más relevantes en una planta: almidón, sacarosa y trehalosa. Crédito: elaboración propia

Las hormonas vegetales regulan la distribución de la energía en la planta

A lo largo su evolución, las plantas han desarrollado diversas estrategias para sobrevivir en diferentes ambientes y aprovechar el agua y nutrientes a los que tienen acceso. Cuentan con hormonas vegetales (también llamadas *fitohormonas*), que funcionan como un sistema de comunicación dentro de la planta, ya que envían señales de una célula vegetal a otra para activar reacciones metabólicas (Taiz y Zeiger, 2002).

Una de las fitohormonas más estudiadas es el ácido abscísico (ABA). El ABA participa en la etapa de *senescencia* (envejecimiento de las células), por lo que es más abundante en plantas maduras o que se encuentran en condiciones ambientales desfavorables, como sequía, incremento de la temperatura o congelación, entre otros. Por ejemplo, durante el otoño, el ABA incrementa en las plantas, lo que hace que un árbol se prepare para el invierno desprendiéndose de

sus hojas. En los cereales, como el trigo, el ABA aumenta cuando la planta alcanza su etapa de reproducción (producción del grano), promoviendo la movilización de los azúcares hacia la espiga, los cuales se almacenan como almidón en el grano (Taiz y Zeiger, 2002).

Los azúcares funcionan como señales del estatus energético de una planta

Diversos grupos de investigadores han encontrado que los azúcares no sólo brindan energía, sino que también pueden funcionar como moléculas señalizadoras. Esto significa que algunos azúcares en la célula pueden encender o apagar distintas vías metabólicas de la planta, incluyendo aquellas encargadas de movilizar los azúcares y del uso o acumulación de energía (Lastdrager et al., 2014). Como ya mencionamos, la sacarosa viaja desde la hoja hacia otros tejidos como la raíz o los frutos. Además, ahora se sabe que la sacarosa tiene otra función muy importante dentro de las plantas: la de controlar su metabolismo energético (Figueroa y Lunn, 2016).

La sacarosa es un indicador de la eficiencia con la que está creciendo una planta. En la fotosíntesis, el carbono que se obtiene a partir del CO₂ puede tener diferentes destinos, con el siguiente orden de prioridad: 1) regenerar el ciclo de Calvin para que la planta continúe fijando CO₂; 2) acumularse como almidón temporalmente en el cloroplasto, o 3) formar sacarosa para viajar a las células no fotosintéticas. Por lo tanto, si la cantidad de sacarosa en la planta es muy alta, significa que la fijación de CO₂ en las hojas está siendo eficiente y se está obteniendo suficiente carbono y energía para permitir que la planta aumente su tamaño o *biomasa* (Figueroa y Lunn, 2016; Taiz y Zeiger, 2002).

Otro azúcar, cuyo estudio ha cobrado bastante importancia en las últimas décadas, es la trehalosa, ya que se descubrió que participa en la regulación del metabolismo vegetal. La trehalosa está formada por dos glucosas unidas entre sí (ver figura 1) y se diferencia de la sacarosa porque se encuentra en cantidades mucho más bajas (hasta mil veces menos) en los tejidos vegetales (Lunn et al., 2014; Paul et al., 2008).

En plantas, el hallazgo de la trehalosa se describió primero en plantas de *Selaginella lepydophila* (Hook. y Grev.), una especie de un grupo particular de plantas llamado *plantas de resurrección*. Estas plantas se llaman así porque pueden sobrevivir a períodos largos de sequía gracias a que sintetizan y acumulan grandes cantidades de trehalosa en sus tejidos (Paul et al., 2008).

En el resto de las plantas, la cantidad de trehalosa es demasiado baja o incluso indetectable. Por ello, inicialmente se pensó que la trehalosa no tenía ningún papel importante. Sin embargo, conforme se fueron describiendo los genomas de las diferentes especies de plantas (es decir, la secuencia de cada uno de sus genes), se encontró que todas las plantas cuentan con los genes para sintetizar trehalosa (Paul et al., 2008).

La sacarosa está estrechamente relacionada con la trehalosa. En primer lugar, las reacciones bioquímicas necesarias para sintetizar ambos azúcares son similares, pues ambas requieren que haya glucosa disponible para su producción. Además, ambos azúcares se encuentran en el mismo compartimento celular (citoplasma), por lo que la disponibilidad de carbono en la célula es fundamental para regular su síntesis (Lunn et al., 2014).

La relación entre la sacarosa y la trehalosa se atribuye principalmente al azúcar fosfato intermediario formado durante la síntesis de trehalosa: la trehalosa-6-fosfato (T6P). Se ha demostrado que, al aumentar la sacarosa, el contenido de T6P también incrementa. Esta relación se mantiene constante independientemente de la especie, la edad o las condiciones ambientales a las que estén sometidas las plantas (Lunn et al., 2014).

Cuando aumenta la cantidad de T6P significa que la planta está produciendo una mayor cantidad de sacarosa, lo que, a su vez, significa que hay una gran disponibilidad de carbono y de energía. Lo anterior implica que la planta puede crecer y producir nuevas hojas y frutos. Al contrario, si la T6P disminuye, es porque no hay suficiente carbono para sintetizar sacarosa, indicando que el suministro de energía para la célula es limitado. En esta situación, los procesos de crecimiento se verán afectados, por lo que la planta tendrá menos follaje, frutos y semillas. Por ello, la T6P es una molécula fundamental en la regulación de la distribución del carbono, pues actúa como un indicador del estado energético de la planta (Lunn et al., 2014).

SnRK-1: el control maestro de la regulación en plantas

Existe una proteína que liga a todos los mecanismos de regulación de las plantas entre sí llamada SnRK-1 (sucrose-non fermenting1-related kinase1, por su nombre en inglés). SnRK-1 es la enzima que activa o inactiva las diferentes rutas metabólicas en la célula vegetal (Baena-González y Lunn, 2020).

En los animales, durante un ayuno prolongado, se produce *glucagón*, una hormona que indica que la disponibilidad de ATP es baja. Esto aumenta la concentración de un compuesto llamado AMP cíclico (AMPC), el cual activa mecanismos para que las enzimas AMP-cinasas enciendan las rutas catabólicas; es decir, para que la célula haga uso de sus reservas energéticas (glucógeno y grasa) para obtener ATP (Nelson y Cox, 2017.).

En las plantas, la SnRK-1 cumple una función similar a las AMP-cinasas, ya que también responde a los cambios en los niveles energéticos en la célula. No obstante, algo que destaca a la SnRK-1 es que también controla la respuesta de las plantas al medio ambiente. La enzima SnRK-1 se activa cuando la disponibilidad de energía es baja (por ejemplo, cuando una planta no cuenta con suficiente agua o luz para hacer fotosíntesis). En estas condiciones, la SnRK-1 enciende aquellos mecanismos catabólicos que movilizan las reservas de carbono para su

utilización; en este proceso, se ha propuesto que el ABA participa en la activación de la SnRK-1. En el caso contrario, si una planta está en condiciones óptimas para producir suficiente almidón y sacarosa, la presencia de T6P apaga a la SnRK-1, lo que permite que las rutas anabólicas produzcan biomasa para el crecimiento y desarrollo de la planta (Baena-González y Lunn, 2020; Paul et al., 2020; ver figura 2).

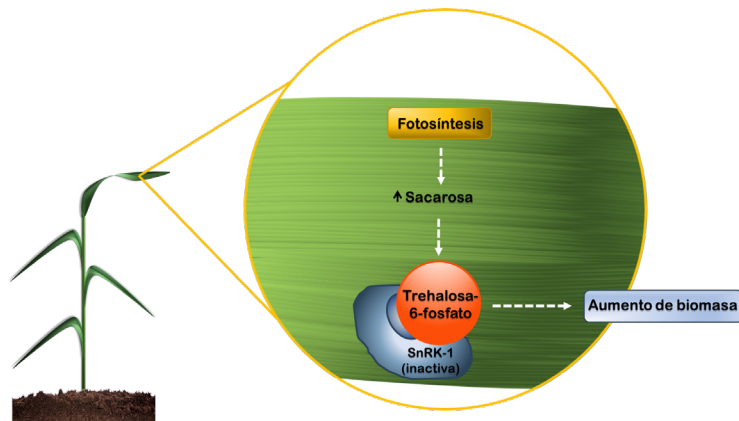
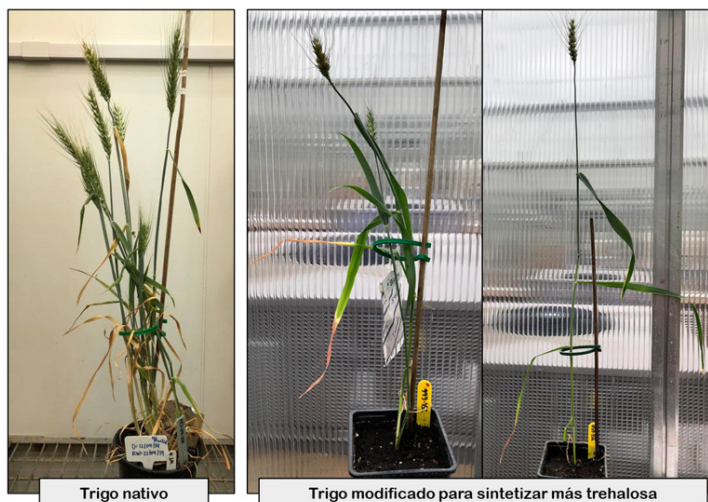


Figura 2. Función reguladora de la sacarosa y trehalosa-6-fosfato sobre la enzima SnRK-1 y el control del crecimiento vegetal. Crédito: elaboración propia.

Lo anterior resalta la importancia de la T6P en el equilibrio del metabolismo energético vegetal y podría explicar por qué la presencia de los genes para producir trehalosa se han mantenido a lo largo de la evolución en todas las especies vegetales (Lunn et al., 2014). Además, se ha propuesto que una razón por la cual la trehalosa se encuentra en tan baja concentración en la mayoría de las plantas, es porque SnRK-1 es altamente sensible a la presencia de T6P, por lo que bastan cantidades pequeñas de T6P para que ésta ejerza su función. Incluso, se ha identificado que un exceso de acumulación de T6P o de trehalosa en la planta

puede afectar gravemente su morfología y función, por ejemplo, disminuir considerablemente la producción de hojas (ver figura 3), casi de la misma manera en la cual un exceso de azúcares causa enfermedades en el cuerpo humano (Baena-González y Lunn, 2020; Figueroa y Lunn, 2016).

Figura 3. Diferencias morfológicas entre trigo (*Triticum aestivum* L.) nativo y líneas transgénicas transformadas para aumentar su contenido de trehalosa. Crédito: Andrea Romero-Reyes



Conclusiones

Los azúcares formados en la fotosíntesis no son sólo la fuente de energía para el crecimiento de las plantas, sino que también son importantes para mantener el equilibrio energético y que éstas puedan sobrevivir bajo el ambiente que las rodea. La sacarosa y la trehalosa son fundamentales para el control del

metabolismo energético vegetal, ya que gracias a estos azúcares las plantas pueden regular y mantener sus niveles de energía en la célula en equilibrio. A través del vínculo que existe entre la cantidad de sacarosa y T6P, un aumento de T6P inhibirá a SnRK1, favoreciendo el desarrollo óptimo de la planta. Por el contrario, una baja concentración de sacarosa y T6P mantendrá activa a SnRK-1, disminuyendo la producción de biomasa.

Actualmente, diversos grupos de investigadores continúan estudiando el papel de la trehalosa, ya que en este azúcar radica la clave para controlar la distribución de los azúcares en la planta. Este conocimiento será valioso para identificar variedades vegetales que puedan usar su energía y azúcares de manera eficiente para adaptarse a ambientes cambiantes; principalmente en cultivos agrícolas que estén ante la amenaza de las sequías y ondas de calor causadas por el cambio climático.

Referencias

- ❖ Baena-González, E., y Lunn, J. E. (2020). SnRK1 and trehalose 6-phosphate – two ancient pathways converge to regulate plant metabolism and growth. *Current Opinion in Plant Biology*, 55, 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2020.01.010>
- ❖ Figueroa, C. M., y Lunn, J. E. (2016). A Tale of Two Sugars: Trehalose 6-Phosphate and Sucrose. *Plant Physiology*, 172(1), 7-27. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00417>
- ❖ Lastdrager, J., Hanson, J., y Smeekens, S. (2014). Sugar signals and the control of plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*, 65(3), 799-807. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert474>
- ❖ Lunn, J. E., Delorge, I., Figueroa, C. M., Van Dijck, P., y Stitt, M. (2014). Trehalose metabolism in plants. *The Plant Journal*, 79(4), 544-567. <https://doi.org/10.1111/tpj.12509>
- ❖ Nelson, D. L., y Cox, M. M. (2017). *Lehninger principles of biochemistry* (7.^a ed.). W.H. Freeman.
- ❖ Paul, M. J., Primavesi, L. F., Jhurreea, D., y Zhang, Y. (2008). Trehalose Metabolism and Signaling. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 417-441. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092945>
- ❖ Taiz, L., y Zeiger, E. (2002). *Plant physiology* (3.^a ed). Sinauer Associates.