

## Azúcares totales solubles en *Carya illinoensis*, balance entre etapas fenológicas clave

### Total sugars soluble in *Carya illinoensis*, balance between key phenological stages

Ernesto Concilco-Alberto<sup>1</sup> ,  
Luis Manuel Valenzuela-  
Núñez<sup>2\*</sup> ,  
Anselmo González-Torres<sup>1</sup> ,  
Edwin Amir Briceño-  
Contreras<sup>2</sup> ,  
Cristina García-De la Peña<sup>2</sup> ,  
José Luis Reyes-Carrillo<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez s/n, Col. Valle Verde, CP. 27054. Torreón, Coahuila, México.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad s/n. Fraccionamiento Filadelfia. CP. 35010. Gómez Palacio, Durango, México.

\*Autor de correspondencia:  
luisvn70@hotmail.com

#### Nota científica

Recibida: 16 de julio 2021

Aceptada: 28 de enero 2022

**Como citar:** Concilco-Alberto E, Valenzuela-Núñez LM, González-Torres A, Briceño-Contreras EA, García-De la Peña C, Reyes-Carrillo JL (2022) Azúcares totales solubles en *Carya illinoensis*, balance entre etapas fenológicas clave. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(1): e3084. DOI: 10.19136/era.a9n1.3084

**RESUMEN.** Los azúcares totales solubles (ATS) son carbohidratos imprescindibles para el crecimiento, metabolismo y en mecanismos de supervivencia ante el estrés a que se enfrentan especies caducifolias. El objetivo fue cuantificar los ATS en *Carya illinoensis* 'Western' en diferentes órganos y etapas fenológicas, para conocer el comportamiento de dichas reservas en etapas clave del crecimiento. Las muestras fueron obtenidas de árboles durante la vernalización, diferenciación de yemas y floración. Las concentraciones de ATS de raíz, tallo, rama, vástago, hoja y fruto, se determinaron mediante espectrofotometría. Se detectaron diferencias en la concentración de ATS entre órganos y etapas fenológicas con diferencias estadísticas significativas en tallo, rama y vástago; presentando los mayores valores en la vernalización y diferenciación de yemas. La raíz fue donde se concentraron en mayor proporción los ATS, manteniéndose disponibles durante todo el ciclo de producción.

**Palabras clave:** Azúcares solubles totales, *Carya illinoensis*, fenología, nuez, carbohidratos.

**ABSTRACT.** Total Soluble Sugars (ATS) are essential carbohydrates in growth, metabolism and survival mechanisms in stress conditions in deciduous trees. The objective was to quantify ATS in *Carya illinoensis* in different organs and phenological stages, in this specie and to be able to have an approximation to the adaptive capacity of the specie. Samples were obtained from trees during vernalization, bud differentiation and flowering stages. The ATS concentrations in root, stem, branch, shoot, leaf and fruit were determined by spectrophotometry. Differences in ATS concentration were detected between organs and between phenological stages, statistically significant differences were recorded in stem, branch and shoot, presenting the highest values in the vernalization and differentiation of buds. The root showed the higher concentration in ATS remaining available throughout the production cycle.

**Key words:** Total soluble sugars (ATS), *Carya illinoensis*, phenology, walnut, carbohydrates.

## INTRODUCCIÓN

Las especies vegetales cuentan con una diversidad de sustancias o compuestos de vital importancia para su funcionamiento, como las reservas vegetativas (Pallardy 2008), siendo la presencia de éstas en los árboles perennes imprescindible para su crecimiento y supervivencia (Tixier *et al.* 2018). Su almacenamiento se efectúa en periodos de abundancia y se utilizan cuando la producción de éstas es baja o nula (Valenzuela-Núñez *et al.* 2019). Los carbohidratos son uno de los principales compuestos de reserva vegetal de energía primaria, elaborados a partir de la fotosíntesis (Hennion *et al.* 2019), de los cuales, también depende la síntesis de la mayoría de los otros compuestos orgánicos que se encuentran en las plantas (Pallardy 2008), por lo que en las especies arbóreas están estrechamente relacionados con los procesos metabólicos, de crecimiento y supervivencia (Martínez-Trinidad *et al.* 2013); como en la etapa de vernalización que ayudan a mantener la respiración y otros procesos que les permite mantenerse con vida (Barbaroux y Bréda 2002). Los carbohidratos pueden clasificarse en estructurales, es decir, forman parte de las paredes celulares de los organismos (Barbaroux y Bréda 2002), o no-estructurales, lo que significa que su función reside en proporcionar energía y sustratos de carbono a los organismos, junto con los fotoasimilados presentes (Pallardy 2008, Liu *et al.* 2018, Smith *et al.* 2018). Los carbohidratos no estructurales están compuestos principalmente por almidón y azúcares solubles (Furze *et al.* 2019), catalogados como componentes básicos de la vida (Pinkard 2018). En los árboles son parte importante de los reservorios de carbono (Smith *et al.* 2018) y considerados el combustible para la respiración, soluto para la osmorregulación y osmoprotección (Furze *et al.* 2019). En las especies caducifolias son elementales para su supervivencia, ya que regulan el ajuste fisiológico ante los cambios ambientales, y juegan un papel importante al responder ante la sequía, la defoliación u otro estrés ambiental y en su recuperación (Churakova *et al.* 2018, Tixier *et al.* 2018, Furze *et al.* 2019).

Los azúcares totales solubles (ATS), como carbohidratos no estructurales suministran carbono y energía a los árboles durante el invierno para mantener su metabolismo; y al inicio de la primavera, después de la defoliación en el periodo de vernalización, se encargan de formar tejidos nuevos (Hennion *et al.* 2019). Al respecto, Valenzuela-Núñez *et al.* (2019), mencionan que aún cuando los árboles no están en producción de azúcares, el contenido de nitrógeno en las yemas en desarrollo y los brotes nuevos aumenta, también los brotes en crecimiento y el peso seco se incrementa, lo que indica que hay reservorios de dichos azúcares. Pero su dinámica y concentración no tienen siempre el mismo comportamiento dentro de los árboles, ya que hay diferencias entre especies y tejidos, incluso en árboles de una misma región (Pinkard 2018). Por lo general, en las especies caducifolias se presenta fluctuación estacional más evidente que en las perennes (Liu *et al.* 2018). Además, el movimiento de los ATS es influenciado por los factores ambientales (Hennion *et al.* 2019). El comportamiento de la dinámica y concentración de los ATS en los árboles, esta influenciado por diversos factores que pueden causarles estrés, como las condiciones ambientales (Martínez-Trinidad *et al.* 2013), la nutrición mineral, los efectos ontogénicos e interacciones patogénicas (Valenzuela-Núñez *et al.* 2019). De tal forma que, aún existe controversia y falta de comprensión sobre los efectos estacionales sobre dicho tema (Liu *et al.* 2018, Pinkard 2018).

El nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] es un frutal caducifolio, originario del sureste de Estados Unidos y norte de México, que pertenece a la familia Juglandaceae (Rivera-Rangel *et al.* 2018, USDA 2019). Los árboles de esta especie pueden crecer hasta 30 m y vivir 100 años aproximadamente (Valenzuela-Núñez *et al.* 2019). De las especies que pertenecen al género *Carya*, la más viable económicamente para la producción de nuez es *illinoensis* (SIAP-SAGARPA 2020a). Con respecto a la producción mundial el 92% la generan entre México y Estados Unidos, solo entre 2015-2016 produjeron 93 713 de las 101 000 t producidas a nivel global (Giuseppe *et al.* 2018). En México la superfi-

cie sembrada es de 144 567 ha, con una producción de nuez de 164 308 t (SIAP-SAGARPA 2020a), y se cultiva principalmente en los estados del norte, donde predomina el clima árido o semiárido, como en Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango y Sonora (Valenzuela-Núñez *et al.* 2019). En la Comarca Lagunera la producción de *C. illinoensis* es de gran impacto comercial, ya que representa un valor monetario aproximado de 200 millones de pesos (SIAP-SAGARPA 2020b), con una producción aproximadamente de 9 376.6 t (SIAP-SAGARPA 2018). Debido a la limitada información sobre el comportamiento de los carbohidratos no estructurales en los árboles, en especial de los azúcares totales solubles (Granda y Camarero 2017), conocer las concentraciones y la dinámica de estos compuestos en los árboles es trascendental, debido a que, ayuda a comprender sobre el crecimiento, capacidad de amortiguamiento y estrategias de adaptación (Liu *et al.* 2018). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue cuantificar las concentraciones de los azúcares totales solubles en *C. illinoensis* 'Western' en diferentes órganos y etapas fenológicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la huerta experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en Torreón, Coahuila, México (25° 33' 22" LN y 103° 22' 07" LO) (Figura 1), sembrada en marco real, con densidad de plantación de 100 árboles ha<sup>-1</sup> con la variedad Western, la edad promedio de los árboles es de 40 años. El sistema de riego es por inundación con agua de pozo con pH de 8.2 y conductividad eléctrica de 1 480 microohmios cm<sup>-1</sup>, la lámina de riego total anual es de 748 mm, aplicada en ocho riegos con intervalos entre 12 y 47 días, dependiendo de la etapa fenológica. La región se caracteriza por tener un clima seco desértico, altitud de 1 120 m y promedios anuales de temperatura y precipitación de 21 °C y 230 mm, respectivamente (INEGI 2012).

Las muestras vegetales fueron obtenidas mediante un muestreo sistematizado, para lo cual se eligieron cuatro árboles de la parte media de la

parcela, para evitar el efecto de borde; de cada árbol se extrajeron dos muestras (repeticiones) de raíz, tallo, rama, vástago (brote emitido del año precedente), hoja y fruto (Espino-Castillo *et al.* 2018). Las etapas fenológicas consideradas en la evaluación fueron vernalización, diferenciación de yemas y floración. Las muestras de raíz se colectaron después de hacer una zanja pequeña e identificar la raíz principal, las muestras de tallo y ramas se obtuvieron en forma de viruta con ayuda de un taladro Pressler (Haglöf<sup>®</sup> Langsele, Sweden), mientras que las muestras de vástagos se obtuvieron con un serrucho convencional, y las muestras de hoja y fruto se colectaron de forma manual. Cada muestra se limpió y colocó en bolsas de aluminio perforadas y etiquetadas, para almacenar y congelar en una hielera con nitrógeno líquido para inactivar los procesos bioquímicos en los tejidos y proceder a trasladar al laboratorio, donde se almacenaron en un ultracongelador (Revco Value Plus<sup>®</sup> ThermoScientific<sup>®</sup> Waltham, United States) a -70 °C durante una semana. Para luego liofilizarlas (Liofilizador Labconco Freezone Triad<sup>®</sup> Freeze Dry Systems<sup>®</sup> USA) durante 7 días a una temperatura de -40 °C con la finalidad de deshidratar las muestras y evitar actividad enzimática, para después molerlas en un molino de cuchillas (Fritsch<sup>®</sup> Pulverisette 15<sup>®</sup> Germany) hasta lograr un polvo fino.

La concentración de los azúcares totales solubles se determinó según la metodología de Van Handel (1968). Se pesaron 10 mg de cada muestra en una balanza analítica (PW 250 Adam<sup>®</sup> Oxford, United States). Los cuales se colocaron en microtubos Eppendorf de 2 mL (MCT-200-C Clear Axygen Scientific<sup>®</sup> Schwerte, Germany), a los que se agregaron 500 µL de una solución de extracción (metanol/agua 70/30). Pasados 10 min se centrifugaron (Spectrafuge 16M<sup>®</sup> Labnet International, Edison, United States) a 10 000 rpm g a temperatura de 4 °C durante 5 min. La extracción de la solución se colocó en tubos Eppendorf de 2 mL limpios, a los que se le agregaron 1 mL de solución compuesta por 50 mL de ácido sulfúrico y 100 mg de antrona; para después hervir durante 10 min, y dejar enfriar a temperatura ambiente y luego realizar la lectura de

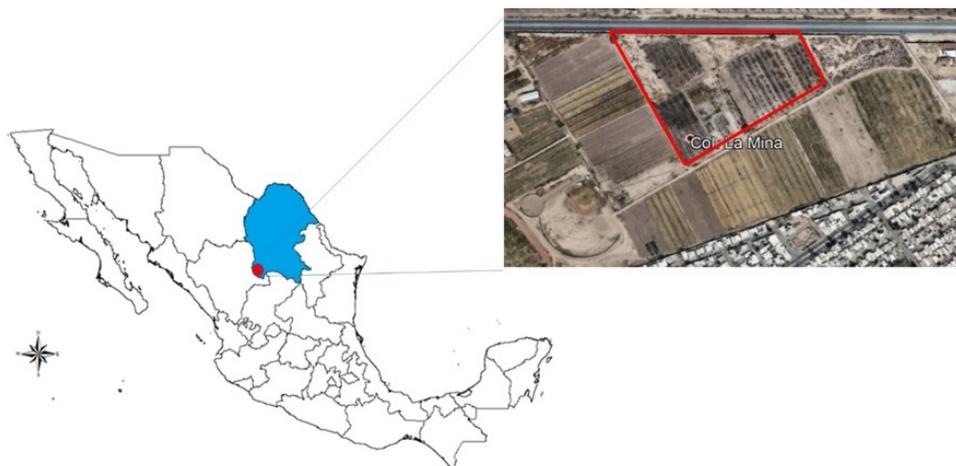


Figura 1. Localización del sitio del experimento.

la absorbancia en un Espectrofotómetro UV-Visible Thermo Scientific<sup>®</sup> Genesys 20 a 625 nm, usando la sacarosa como estándar.

### Análisis Estadísticos

A los datos se les realizaron las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene para determinar si se cumplía con la normalidad y homocedasticidad de los datos, al no cumplir con los supuestos, se utilizaron pruebas no paramétricas para el análisis estadístico. La comparación de las medias de las concentraciones de azúcares totales solubles entre los diferentes órganos de *C. illinoensis* se realizó mediante la prueba de Kruskal-Wallis ( $p \leq 0.05$ ); cuando se observaron diferencias estadísticas significativas, se realizó una prueba de comparación múltiple de medianas de Conover. Para la comparación de las medias de concentraciones de azúcares totales solubles entre etapas fenológicas se utilizó la prueba de Friedman ( $p \leq 0.05$ ), todos los análisis se realizaron con el programa SPSS<sup>®</sup> Trial Version y MedCalc<sup>®</sup> (MedCalc 2014).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración de azúcares totales solubles entre órganos de *C. illinoensis* en cada etapa fenológica mostró diferencias significativas; en la vernalización la raíz y los vástagos mostraron las con-

centraciones mayores ( $H = 8.2 \text{ gl} = 3, p = 0.04$ ). En tanto que en la diferenciación de yemas la raíz, hoja y fruto presentaron las concentraciones mayores de ATS comparados con el tallo, rama y vástago ( $H = 18.8 \text{ gl} = 5, p = 0.002$ ). Mientras que en la floración, la concentración de azúcares totales solubles fue mayor en la raíz, hoja y fruto ( $H = 18.3 \text{ gl} = 5, p = 0.002$ ) (Tabla 1). Con respecto a los resultados obtenidos en la etapa de vernalización, donde los órganos raíz y vástago presentaron los valores más altos, se concuerda parcialmente con lo reportado por Valenzuela-Núñez *et al.* (2019) quienes reportan que la raíz tuvo altas concentraciones de ATS, lo cual atribuyen a que es el órgano principal de almacenamiento de las reservas, y dado que en la vernalización el árbol carece de flores, hojas y frutos, los ATS se concentran en mayor cantidad. Mientras que Tixier *et al.* (2019) indican que la mayor concentración de ATS en el vástago podría deberse a que es el órgano que está próximo al crecimiento y tiene mayor requerimientos de energía para su actividad metabólica posterior, y para sobrevivir a las condiciones de temperaturas bajas, ya que los carbohidratos no estructurales antes del invierno son almacenados como reserva y movilizados después hacia los órganos nuevos, para promover la brotación y reanudación del crecimiento. Aunado a lo anterior, Delgado-Camacho *et al.* (1999) mencionan que en la etapa de vernalización no hay fenómenos fenológicos que demanden el uso de di-

**Tabla 1.** Comparación de las concentraciones de azúcares totales solubles entre órganos de *Carya illinoensis* 'Western', en tres etapas fenológicas.

Órganos	Vernalización	Diferenciación de yemas (mg•g <sup>-1</sup> MS)	Floración
Raíz	37.2 ± 0.2 <sup>aA</sup>	35.5 ± 1.2 <sup>aA</sup>	37.2 ± 0.4 <sup>a,bA</sup>
Tallo	34.0 ± 1.7 <sup>bA</sup>	19.3 ± 1.5 <sup>b,cB</sup>	29.0 ± 1.8 <sup>cA</sup>
Rama	33.8 ± 2.1 <sup>bA</sup>	17.9 ± 1.1 <sup>cB</sup>	29.7 ± 1.9 <sup>cA</sup>
Vástago	37.4 ± 0.5 <sup>aA</sup>	23. ± 1.6 <sup>bB</sup>	36.2 ± 0.5 <sup>bA</sup>
Hoja	/	37.9 ± 3.0 <sup>aA</sup>	37.6 ± 0.3 <sup>aA</sup>
Fruto	/	39.0 ± 3.3 <sup>aA</sup>	37.4 ± 0.2 <sup>aA</sup>

Los resultados se reportan como el promedio ± error estándar. Valores con letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre órganos ( $p \leq 0.05$ ). Valores con letras mayúsculas diferentes en la misma línea indican diferencia significativa entre etapas fenológicas. MS = materia seca.

chos ATS, por lo que tiende a almacenarlos en las raíces para cuando sean requeridos al comenzar etapas fenológicas demandantes. En la etapa de letargo no hay presencia de hojas, ni frutos, y el vástago se encuentra en desarrollo, lo que podría indicar que los ATS se encuentran fluyendo en mayores cantidades por tallo y ramas para la formación del vástago durante esta etapa fenológica. Por otro lado, Moscatello *et al* (2017) reportan que en la etapa de letargo las concentraciones de carbohidratos aumentan y al inicio de la brotación disminuyen; debido a que se lleva a cabo la diferenciación de las yemas, y en los órganos leñosos tienden a modificarse las cantidades de dichos carbohidratos al movilizarlos hacia los nuevos órganos o a órganos de reserva como la raíz para almacenarlos. Lo anterior coincide con los resultados obtenidos, ya que en la etapa de diferenciación de yemas se obtuvieron los valores más bajos en el tallo, rama y vástagos, aumentando en la etapa de floración después de la diferenciación de las yemas. Al respecto, Tarango-Rivero (2012) sugiere que después de iniciado el crecimiento de los nuevos brotes y de las flores, hay gran demanda de reservas para completar los ciclos de desarrollo movilizándolos desde los reservorios.

Durante el comportamiento de las concentraciones de ATS en los órganos en la etapa de diferenciación de yemas y floración, se observaron concentraciones mayores en raíz, hoja y fruto, ya que la distribución de los fotosintatos está determinada por la interacción fuente-demanda, cuando inicia el crecimiento de los nuevos órganos al inicio de la primavera; comportamiento que se debe a que los ATS

fungen como reguladores de un ajuste fisiológico ante los cambios ambientales, después de que los árboles han sufrido defoliación en la etapa invernal (Pinkard 2018, Tixier *et al.* 2018). Por otro lado, Tromp (1983) encontró que aun cuando había ausencia de órganos fotosintéticos, los contenidos de nitrógeno y peso seco en las yemas y brotes nuevos en desarrollo se incrementaban, lo que puede indicar que hay movilización de los ATS a los vástagos cuando están próximos a desarrollarse. Al respecto Furze *et al.* (2019) observaron que en temporadas de crecimiento las concentraciones de azúcares totales solubles se incrementan, pero que los picos máximos se presentan en periodos invernales. Mientras que Barbaroux *et al* (2002) sugieren que tales concentraciones estarán influenciadas por los requerimientos de energía que se presenten en cada evento inherente a los periodos fenológicos.

En relación a las concentraciones de ATS en los órganos de *C. illinoensis* a través de las etapas fenológicas estudiadas, se encontraron diferencias estadísticas significativas para más de un órgano (Tabla 1). Para el tallo, se observó diferencia estadística significativa ( $X^2_r = 13.0$ , gl = 2,  $p = 0.006$ ), las etapas de vernalización y floración presentaron las concentraciones mayores, mientras que la etapa de diferenciación de yemas registró hasta un 30% menos que en las etapas de vernalización y floración. En la rama se registraron diferencias estadísticas significativas ( $X^2_r = 13.0$  gl = 2,  $p = 0.006$ ), presentando la vernalización y floración las mayores concentraciones (Tabla 1), mientras que en la etapa fenológica diferenciación de yemas registró una concentración

hasta de 50% menor que en las etapas descritas anteriormente. Lo anterior, concuerda con lo mencionado por Moscartello *et al.* (2017), de que en los órganos leñosos en general, las cantidades de carbohidratos acumulados tienden a sufrir modificaciones en respuesta a la disponibilidad de asimilados, además que a finales del verano e inicio del otoño, la absorción de carbono depende de la presencia de estos compuestos y se movilizan para las actividades fisiológicas en cada etapa. Lo que podría explicar concentraciones mayores en vernalización cuando no hay demanda de nuevos crecimientos y durante la floración cuando ya se han formado los nuevos crecimientos y se dejan de demandar estos compuestos.

Para el caso de los vástagos se registró diferencia estadística ( $X^2_r = 13.0$  gl = 2, p = 0.006), las etapas vernalización y floración presentaron las concentraciones mayores (Tabla 1), mientras que en diferenciación de yemas registró la concentración menor. Para los órganos raíz, hoja y fruto, no se observó diferencia estadística significativa en ninguna de las etapas fenológicas estudiadas. Lo anterior, concuerda con Valenzuela-Núñez *et al.* (2019) quienes también encontraron las concentraciones mayores de azúcares totales solubles en los brotes nuevos durante el invierno, debido probablemente a que estos órganos están constituidos por tejidos fotosintéticos y se encuentran almacenando estos recursos para cuando las condiciones sean idóneas para el crecimiento de los nuevos órganos. Durante la diferenciación de yemas las concentraciones en vástago disminuyen, debido a que se concentran en la formación de los nuevos brotes y hojas, para luego en la etapa de floración tener nuevos brotes y hojas,

por lo que demandan menos cantidad de energía, además, de que con la presencia de hojas, se encuentran sintetizando carbohidratos nuevos.

Se encontró variabilidad de las concentraciones de ATS entre los órganos, los órganos no perennes presentaron los valores más altos. En cuanto a las concentraciones de los órganos a través de las etapas fenológicas se observaron diferencias, siendo los tallos, ramas y vástagos los que mostraron variabilidad. En la etapa de vernalización se observaron los valores más altos en relación con la de diferenciación de yemas y vuelven a incrementarse durante la floración que es cuando se encuentran en desarrollo los nuevos brotes y tejidos en el árbol. Este comportamiento de los ATS en el interior del árbol de nogal, probablemente está en función de los requerimientos de energía del árbol, según su demanda de energía se movilizarán para coadyuvar como energía para los nuevos crecimientos y mantener sus funciones metabólicas. La raíz es el órgano donde se concentran los azúcares totales solubles con mayor estabilidad, manteniendo disponible dichos carbohidratos durante todo el ciclo de producción.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico otorgado al M. C. Ernesto Concilco Alberto, para la realización de los estudios de Doctorado; al Dr. Ángel Lagarda Murrieta por permitir extraer las muestras vegetales utilizadas para el estudio de la huerta experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

## LITERATURA CITADA

- Barbaroux C, Bréda N (2002) Contrasting distribution and seasonal dynamics of carbohydrate reserves in stem wood of adult ring-porous sessile oak and diffuse-porous beech trees. *Tree Physiology* 22: 1201-1210.
- Briceño-Contreras EA, Valenzuela-Núñez LM, Espino-Castillo DA, García-de-la-Peña C, Esparza-Rivera JR, Borja-de-la-Rosa A (2018) Contenido de almidón en órganos de nogal (*Carya illinoensis* Koch) en dos etapas fenológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 20: 4161-4173.
- Chapin SF, Schulze ED y Mooney HA (1990) The ecology and economics of storage in plants. *Annual Review Of*

- Ecology and Systematics 21: 423-447.
- Churakova O, Lehmann M, Saurer M, Fonti M, Siegwolf R, Bigler C (2018) Compound-specific carbon isotopes and concentrations of carbohydrates and organic acids as indicators of tree decline in mountain pine. *Forests* 9(6): 363. DOI: 10.3390/f9060363.
- Delgado-Camacho G, Castillo-González AM, Avitia-García E, Rubí-Arriaga M (1999) Contenido de azúcares solubles en hojas e inflorescencias de tres cultivares de aguacatero (*Persea americana* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 77-81.
- El Zein R, Maillard P, Breda N, Marchand J, Montpied P, Gerant D (2011) Seasonal changes of C and N non-structural compounds in the stem sapwood of adult sessile oak and beech trees. *Tree Physiology* 31: 843-854.
- Espino-Castillo DA, Valenzuela-Nuñez LM, Legaria-Solano JP, Briceño-Contreras EA, Esparza-Rivera JR, Rodríguez-Bautista G, García-de-la-Peña C (2018) Evidencia de una proteína de reserva vegetativa de 20 kDa en raíz de nogal (*Carya illinoensis* Koch) durante la etapa de letargo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 5: 309-317
- Furze ME, Huggett BA, Aubrecht DM, Stolz CD, Carbone MS, Richardson AD (2019) Whole-tree nonstructural carbohydrate storage and seasonal dynamics in five temperate species. *New Phytologist* 221: 1466-1477.
- García-Hernández JL, Orona-Castillo I, González-Cervantes G, Valdéz-Cepeda RD, Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, Fortis-Hernández M, Segura-Castruita MA (2009) Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en nogal pecanero (*Carya illinoensis*). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15: 141-147
- Giuseppe C, Fabrizio Van der Watt E, Coetzer GM (2018) Propagation of Pecan (*Carya illinoensis*): A review. *African Journal of Biotechnology* 17: 586-605.
- Granda E, Camarero JJ (2017) Drought reduces growth and stimulates sugar accumulation: new evidence of environmentally driven non-structural carbohydrate use. *Tree Physiology* 37: 997-1000.
- Hennion N, Durand M, Vriet C, Doidy J, Maurousset L, Lemoine R, Pourtau N (2019) Sugars en route to the roots. Transport, metabolism and storage within plant roots and towards microorganisms of the rhizosphere. *Physiologia Plantarum* 165: 44-57.
- INEGI (2012) Anuario estadístico del Estado de Coahuila de Zaragoza. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Aguascalientes, México. 642p.
- Jin Y, Li J, Liu C, Liu Y, Zhang Y, Sha L, Wang Z, Song Q, Lin Y, Zhou R, Chen A, Li P, Fei X, Grace J (2018) Carbohydrate dynamics of three dominant species in a Chinese savanna under precipitation exclusion. *Tree Physiology* 38: 1371-1383.
- Liu W, Su J, Li S, Lang X y Huang X (2018) Non-structural carbohydrates regulated by season and species in the subtropical monsoon broad-leaved evergreen forest of Yunnan Province, China. *Scientific Reports* 8: 1083. DOI: 10.1038/s41598-018-19271-8.
- Martínez-Trinidad T, Plascencia-Escalante FO, Islas-Rodríguez L (2013) Relationship between carbohydrates and vitality in urban trees. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* XIX: 459-468.
- MedCalc (2014) MedCalc Software bvba Team EAT para Windows, Versión 13.06.0.
- Moscattello S, Proietti S, Augusti A, Scartazza A, Walker RP, Famiani F, Battistelli A (2017) Late summer photosynthesis and storage carbohydrates in walnut (*Juglans regia* L.): Feed-back and feed-forward effects. *Plant Physiology and Biochemistry* 118: 618-626.

- Pallardy SG (2008) Physiology of woody plants. School of Natural Resources. University of Missouri. Columbia, Missouri. 469p.
- Pinkard EA (2018) Doing the best we can: the realities of measuring non-structural carbohydrates in trees. *Tree Physiology* 38: 1761-1763.
- Rivera-Rangel LR, Aguilera-Campos KI, Garcia-Triana A, Ayala-Soto JG, Chavez-Flores D, Hernandez-Ochoa L (2018) Comparison of Oil Content and Fatty Acids Profile of Western Schley, Wichita, and Native Pecan Nuts Cultured in Chihuahua, Mexico. *Journals of Lipids*, 2018: 4781345. DOI: 10.1155/2018/4781345
- SIAP-SAGARPA (2018) Cierre de la producción agrícola por cultivos en ciclos perennes 2018 modalidad riego-temporal en La Región Lagunera: Coahuila, Durango, México. <https://nube.SIAP.gob.mx/cienagro>. Fecha de consulta: 2 de febrero de 2021.
- SIAP-SAGARPA (2020a) Avance de siembras y cosechas por cultivo en ciclos perennes 2020 en modalidad riego-temporal: Resumen Nacional, México. [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenDelegacion.do;jsessionid=22167762008AE0B0473DD825CBAED823](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do;jsessionid=22167762008AE0B0473DD825CBAED823). Fecha de consulta: 2 de febrero de 2021.
- SIAP-SAGARPA (2020b) SIACON-NG. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta México. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>. Fecha de consulta: 1 de diciembre de 2020.
- Smith MG, Miller RE, Arndt SK, Kasel S, Bennett LT (2018) Whole-tree distribution and temporal variation of non-structural carbohydrates in broadleaf evergreen trees. *Tree Physiology* 38: 570-581.
- Tarango-Rivero CH (2012) Manejo del nogal pacanero con base en su fenología. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico 24. Tercera Edición. Cd. Delicias, Chihuahua. 41p.
- Tixier A, Gambetta GA, Godfrey J, Orozco J, Zwieniecki MA (2019) Non-structural Carbohydrates in Dormant Woody Perennials; The Tale of Winter Survival and Spring Arrival. *Frontiers in Forests and Global Change* 2: 18. DOI: 10.3389/ffgc.2019.00018.
- Tixier A, Orozco J, Roxas AA, Earles JM, Zwieniecki MA (2018) Diurnal Variation in Nonstructural Carbohydrate Storage in Trees: Remobilization and Vertical Mixing. *Plant Physiology* 178: 1602-1613.
- Tromp J (1983) Nutrient reserves in roots of fruit trees, in particular carbohydrates and nitrogen. *Plant and Soil* 71: 401-413.
- USDA (2019) *Carya illinoensis* (Wagehn) K. Koch pecan <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=CAIL2>. Fecha de consulta: 3 de septiembre de 2020.
- Valenzuela-Núñez LM, Briceño-Contreras EA, Esparza-Rivera JR, García-de-la-Peña C, Rodríguez-Bautista G, Núñez-Colima JA (2019) Cambios estacionales en la concentración de azúcares solubles en órganos perennes de nogal [*Carya illinoensis* (Wagenh.) Koch]. *Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal* 29: 1-13. DOI: 10.15174/au.2019.2423
- Valenzuela-Núñez LM, Maillard P, González-Barríos JL, González-Cervantes G (2014) Carbohydrate Balance in Different Plant Compartments of Oak (*Quercus petraea*) and Beech (*Fagus sylvatica*) Subjected to Defoliation and Shade. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 13: 33-38.
- Van handel E (1968) Direct Microdetermination of Sucrose. *Analytical Biochemistry* 22: 280-283