

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



CONCENTRACIÓN DE LOS AZUCARES TOTALES SOLUBLES EN ÁRBOLES
DE *Carya illinoensis* (WAGENH) K. KOCH BAJO PARÁMETROS DIVERSOS
EN UN CICLO DE PRODUCCIÓN.

Tesis

Que presenta ERNESTO CONCILCO ALBERTO
como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Torreón, Coahuila

Diciembre 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

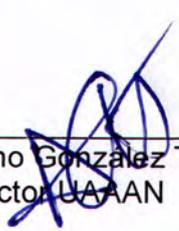
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



CONCENTRACIÓN DE LOS AZUCARES TOTALES SOLUBLES EN ÁRBOLES
DE *Carya illinoensis* (WAGENH) K. KOCH BAJO PARÁMETROS DIVERSOS
EN UN CICLO DE PRODUCCIÓN.

Tesis

Que presenta ERNESTO CONCILCO ALBERTO
como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA



Dr. Anselmo González Torres
Director UAAAN



PhD. Luis Manuel Valenzuela Núñez
Director externo

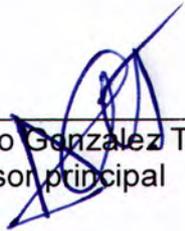
Torreón, Coahuila

Diciembre 2021

CONCENTRACIÓN DE LOS AZUCARES TOTALES SOLUBLES EN ÁRBOLES
DE *Carya illinoensis* (WAGENH) K. KOCH BAJO PARÁMETROS DIVERSOS
EN UN CICLO DE PRODUCCIÓN

Tesis

Elaborada por ERNESTO CONCILCO ALBERTO como requisito parcial
para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Producción Agropecuaria
con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



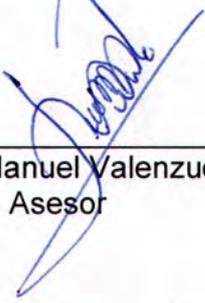
Dr. Anselmo Gonzalez Torres
Asesor principal



Dr. Mario García Carrillo
Asesor



Dr. José Luis Reyes Carrillo
Asesor



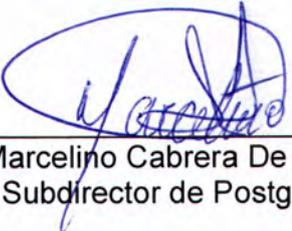
Dr. Luis Manuel Valenzuela Núñez
Asesor



Dra. María Cristina García De la Peña
Asesor



Dra. Leticia R. Gaytán Alemán
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado

Agradecimientos

A mí **Dios**, por permitirme la conclusión satisfactoria de un proyecto más, por siempre hacerme sentir su presencia mediante incontables personas que puso en mi camino a lo largo de este recorrido.

A mi **amada familia**, por siempre acompañarme de manera incondicional en cada momento de mi vida, por creer en mí, por apoyarme en todos los aspectos y circunstancias; por que han sido el impulso para seguir adelante sobre todo en las situaciones más difíciles.

A mi Alma Mater, **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por haberme cobijado por tercera vez y darme la oportunidad de trascender en mi formación académica, por las experiencias vividas durante mi estancia en ella.

Al Programa de **Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria** y quienes participan en éste, por confiar en mí y permitirme continuar con mi formación académica bajo sus preceptos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACyT**), por el apoyo económico dispuesto para la realización de los estudios de Doctorado.

A mi Comité de Asesoría que me acompañó durante las actividades respecto de los estudios de Doctorado:

Al **Dr. Anselmo González Torres** por haber fungido como asesor principal, por el apoyo y amistad brindados durante mi formación en el Doctorado.

Al **Dr. Luis Manuel Valenzuela Núñez** por la disponibilidad de ser parte de mi comité como asesor externo, por el espacio en el laboratorio a su cargo para llevar a cabo los trabajos experimentales y su gran apoyo en cada actividad académica y de carácter personal durante este proceso, por la amistad.

A la **Dra. Cristina García de la Peña** por ser parte de mi comité como asesor externo, por la disponibilidad de apoyo, por el acompañamiento durante mi formación y participación en las actividades durante el proceso, por su amistad.

Al **Dr. Mario García Carrillo** por ser parte de mi comité de asesores, por la confianza, apoyo y amistad brindada durante mi formación profesional.

Al **Dr. José Luis Reyes Carrillo** por ser parte de mi comité de asesores, por la comprensión, confianza y el gran apoyo brindado durante la etapa de mis estudios de Doctorado, por su amistad.

A la **Sra. Aurelia Nájera Cruz** por el trabajo bien desempeñado a su cargo, por el gran apoyo y amistad brindada durante mi estancia en mis estudios de posgrado.

A cada persona: familia, amigos, compañeros, maestros, conocidos, que han sido partícipes de esta experiencia, a cada persona que ha influido en mi proceso de formación, a los que no creyeron en mí, pero, sobre todo a los que no dudaron de mis capacidades y ofrecieron sus buenos deseos y apoyo. Son tantas las personas a quienes debo tanto, les ofrezco mis respetos más sinceros y agradecimientos infinitos, Dios bendiga a todos.

Dedicatoria

A mi **esposa e hija**, porque son parte fundamental en cada proyecto en mi vida; me han regalado su amor, paciencia y apoyo incondicional aún en los momentos más adversos, me han dado su comprensión y se han sumado al esfuerzo que conlleva cada proceso, porque siempre han creído en mí y me han impulsado a seguir adelante.

A **mi madre**, que ha sido pieza angular en mi familia, por formarme desde siempre y ser parte fundamental de cada proyecto; porque me ha dado ejemplo de esfuerzo constante y de perseverancia, ha creído fielmente y ha apoyado de forma incondicional cada decisión; porque cada esfuerzo y logro de un hijo, es también suyo.

A **mis hermanos y familia**, que han sido parte importante en cada proyecto, porque el logro de uno, es el logro de todos; que han creído y respaldado cada decisión, cada proyecto, han dado su apoyo incondicional en todos los aspectos.

A **mis abuelos** por haber sido la base de mi formación de vida, por sus enseñanzas y buen ejemplo, quienes estoy seguro se sentirían orgullosos por este logro.

Carta de aceptación de los artículos

Artículo 1.



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
“Estudio en la Duda. Acción en la Fe”
Secretaría de Investigación, Posgrado y Vinculación
Dirección de Difusión y Divulgación Científica y Tecnológica

DICTAMEN

Ecosistemas y Recursos Agropecuarios
era@ujat.mx
Teléfono/fax 01.993.3 58 15 00 Ext. 5041

Villahermosa, Tabasco, a 30 de noviembre de 2021

Manuscrito--- **AZÚCARES TOTALES SOLUBLES EN *Carya illinoensis*, BALANCE ENTRE ETAPAS FENOLOGICAS CLAVE**

Registro --- **3084 ERA**

Autores --- **Ernesto Conzilco-Alberto, Luis Manuel Valenzuela-Núñez, Anselmo González-Torres, Edwin Amr Briceño Contreras, Cristina García-De la Peña**

Dictamen --- **Aceptado con correcciones menores**

Comentarios--- Por medio del presente, les informo que los revisores mencionan que su manuscrito tiene información publicable. Para que pueda publicarse se requiere realizar las correcciones que se encuentran en los archivos adjuntos.

En espera de la versión corregida a la brevedad, me despido con saludos.

Dr. Edwin de la Cruz Lázaro
Editor

C.c.p. Archivo

Artículo 2.

RV: [agrocienca] Acuse de recibo del envío

De: Said Infante Gil <said@colpos.mx>
Enviado: miércoles, 1 de diciembre de 2021 12:55 p. m.
Para: Luis Manuel Valenzuela Nuñez <luisvn70@hotmail.com>
Asunto: [agrocienca] Acuse de recibo del envío

Luis Manuel Valenzuela Nuñez:

Gracias por enviar el manuscrito "ANNUAL DYNAMICS OF TOTAL SOLUBLE SUGARS IN ROOT AND STEM OF *Carya illinoensis* (WANGENH.) K. KOCH., VARIETIES WICHITA AND WESTERN " a Agrocienca. Con el sistema de gestión de publicaciones en línea que utilizamos podrá seguir el progreso a través del proceso editorial tras iniciar sesión en el sitio web de la publicación:

URL del manuscrito: <https://agrocienca-colpos.mx/index.php/agrocienca/authorDashboard/submission/2636>
Nombre de usuario/a: luisvn70

Si tiene alguna duda puede ponerse en contacto conmigo. Gracias por elegir esta editorial para mostrar su investigación.

Said Infante Gil

(SjournalName) <http://localhost/ojsagro/index.php/agrocienca>

[Responder](#) | [Reenviar](#)

Active Windows

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN-----	x
ABSTRACT-----	xi
I. INTRODUCCIÓN-----	1
II. HIPÓTESIS Y OBJETIVO GENERAL -----	3
Hipótesis -----	3
Justificación -----	3
Objetivo general-----	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA -----	4
3.1 Carbohidratos-----	4
3.1.1 Origen -----	4
3.1.2 Como reserva vegetativa-----	4
3.2 Carbohidratos no estructurales -----	5
3.3 Azúcares Totales Solubles -----	7
3.4 <i>Carya illinoensis</i> (Wagenh) K. Koch-----	11
3.4.1 Origen y sus características-----	11
3.4.2 Importancia -----	12
IV. LITERATURA CITADA-----	14
V. ARTÍCULOS-----	18
Artículo 1 -----	18
Artículo 2 -----	34
VI. CONCLUSIÓN GENERAL-----	48

RESUMEN

CONCENTRACIÓN DE LOS AZUCARES TOTALES SOLUBLES EN ÁRBOLES DE *Carya illinoensis* (WAGENH) K. KOCH BAJO PARÁMETROS DIVERSOS EN UN CICLO DE PRODUCCIÓN

ERNESTO CONCILCO ALBERTO

Doctor en Ciencias en Producción Agropecuaria

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Dr. Anselmo González Torres

El objetivo del estudio fue cuantificar la concentración de los azúcares totales solubles en órganos de *C. illinoensis* durante las etapas fenológicas de vernalización, diferenciación de yemas y floración, para conocer el comportamiento de estas reservas vegetativas durante un ciclo anual de producción; además medir las concentraciones de estos compuestos en cada órgano durante las etapas fenológicas en cuestión. Las concentraciones de dichos compuestos en la raíz y tallo de las variedades Wichita y Western Schley fueron realizadas cada mes de un ciclo anual productivo, para determinar la variedad con la mayor acumulación de azúcares totales solubles. Los resultados indicaron con respecto a las concentraciones entre órganos, que las cantidades almacenadas no tuvieron el mismo comportamiento entre los órganos vegetales, ya que fue en raíz y los crecimientos nuevos donde se encontraron las cantidades mayores; por otro lado, las concentraciones a través de las etapas fenológicas estudiadas, se encontró que para tallo, rama y vástago (crecimientos nuevos) existió una variación significativa entre cada etapa; referente a las mediciones de las concentraciones de raíz y tallo entre la variedad Wichita y Western Schley, los valores más altos se presentaron en Wichita durante cada mes del año debido probablemente a la mayor capacidad de adaptación y mejor aprovechamiento de los recursos.

Palabras clave: energía, fenología, *illinoensis*, pecan, reserva, variedades.

ABSTRACT

CONCENTRATION OF TOTAL SOLUBLE SUGARS IN *Carya illinoensis* (WAGENH) K. KOCH TREES UNDER VARIOUS PARAMETERS IN A PRODUCTION CYCLE

ERNESTO CONCILCO ALBERTO
Doctor of Science in Agricultural Production

AUTONOMOUS AGRARIAN UNIVERSITY ANTONIO NARRO

Dr. Anselmo González Torres

The objective of the study was to quantify the concentration of total soluble sugars in *C. illinoensis* organs during the phenological stages of vernalization, bud differentiation and flowering, to know the behavior of these vegetative reserves during an annual production cycle, also for knowing the behavior of that concentrations in each organ during the phenological stages involved. The concentrations of these compounds in the root and stem were done of the Wichita and Western Schley varieties during each month of an annual productive cycle, to determine the variety with the highest accumulation of total soluble sugars. The results indicated, with respect to the concentrations between organs, that the stored quantities do not have the same behavior among the plant organs, since it was in the roots and the new growths that the highest quantities were found; On the other hand, the concentrations through the phenological stages studied, it was found that for stem, branch and shots (new growths) there was a significant variation between each stage; Regarding the measurements of root and stem concentrations between the Wichita and Western Schley varieties, the highest values were presented in Wichita during each month of the year, probably due to the greater capacity for adaptation and better exploitation of the resources.

Keywords: energy, phenology, *illinoensis*, pecan, reserve, varieties

I. INTRODUCCIÓN

Las especies vegetales generan numerosas sustancias o compuestos a través del proceso de fotosíntesis, algunas de ellas consideradas reservas vegetativas como el caso de los carbohidratos, éstos son de gran trascendencia respecto de la supervivencia de las mismas especies (Tixier *et al.*, 2018; Martínez-Trinidad *et al.*, 2013; Asif *et al.*, 2011; Pérez-Urria, 2009; Chapin *et al.*, 1990; Tromp, 1983). Gracias a la capacidad que presentan las especies vegetales de almacenar este tipo de compuestos orgánicos, pueden sobrevivir en condiciones adversas, además, pueden generar nuevos crecimientos, aun, cuando no haya producción de dichos compuestos o cuando las demandas superan a las cantidades producidas en la fotosíntesis (Davidson, 2019; Hennion *et al.*, 2019; Pérez-Urria, 2009).

Los carbohidratos pueden encontrarse en forma soluble o insoluble (Davidson, 2019; Pallardy, 2008; Tromp, 1983), y según su función pueden clasificarse en no-estructurales y estructurales, respectivamente; por un lado, los carbohidratos estructurales son los que forman parte de las paredes celulares de los organismos (Asif *et al.*, 2011), mientras que los carbohidratos no estructurales son su fuente de energía (Liu *et al.*, 2018; Smith *et al.*, 2018); éstos últimos, en las especies vegetales pueden encontrarse principalmente en forma de almidón y azúcares solubles (Furze *et al.*, 2019; Jin *et al.*, 2018; Smith *et al.*, 2018; Cheng y Fuchigami, 2002; Lui *et al.*, 1999; Chapin *et al.*, 1990).

Los Azúcares Totales Solubles (ATS) pueden ser almacenados en los órganos de las plantas o árboles (Davidson, 2019; Liu *et al.*, 2018; Smith *et al.*, 2018; Pallardy, 2008; Tromp, 1983), por lo general, dicho almacenamiento se lleva a cabo cuando son producidos en cantidades abundantes (Briceño-Contreras *et al.*, 2021; Magel *et al.*, 2000; Koslowski *et al.*, 1992) o cuando la demanda por otros órganos de las plantas o árboles es inferior a su producción (Pérez-Urria, 2009). Los reservorios con este tipo de compuestos almacenados son de vital importancia para la supervivencia de los organismos, por ejemplo, en los vegetales cuando la producción de foto-asimilados es poca o nula, son tomados de estos sitios y utilizados para poder llevar a cabo sus diversas funciones, como

la reproducción, el crecimiento, sobre todo en situaciones con condiciones de estrés (Aluko *et al.*, 2021; Ok *et al.* 2021; Liu *et al.*, 2018; Pinkard *et al.*, 2018; Martínez-Trinidad *et al.*, 2013; Cheng y Fuchigami, 2002).

Furze *et al.* (2019) mencionan el rol tan importante que tienen los ATS almacenados en los árboles forestales, tanto en sus funciones fisiológica como de metabolismo; en otras palabras, los consideran como el combustible que requieren para sobrevivir, principalmente en temporadas de invierno (Barbadoux y Breda, 2002; Tromp, 1983), ya que, mediante estos azúcares almacenados se compensa la falta de su producción (Martínez-Trinidad, 2013) y les ayuda a mantenerse activos y sobrevivir ante el estrés provocado por la defoliación, frío, u otros factores adversos como la sequía (Pinkard *et al.*, 2018).

Especies vegetales arbóreas, perennes caducifolias como el nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wagenh) K. Koch], experimentan durante su ciclo de producción distintas condiciones que afectan sus funciones, como en la etapa de dormancia o letargo, cuando se quedan sin órganos fotosintéticos debido a la defoliación inherente a su necesidad y capacidad adaptativa, y debido a este fenómeno, los árboles tienden a almacenar con anterioridad recursos derivados de la fotosíntesis como los ATS, los cuales, les ayudan a sobrevivir durante estos periodos (Ok *et al.*, 2021). En *C. illinoensis* se ha estudiado el comportamiento de la movilización de carbohidratos no estructurales como el almidón (Briceño-Contreras *et al.*, 2018), las concentraciones de los ATS se han estudiado en otras especies como el cafeto, donde se ha reportado que la movilización de los recursos de ATS estará dada en función de la demanda de otros sitios dentro del organismo (Moscardini *et al.*, 2020).

Sin embargo, la literatura indica la falta de conocimiento respecto de del comportamiento de las concentraciones de recursos como los ATS, considerando distintas especies, órganos dentro del organismos vegetales, las etapas fenológicas, distintas variedades, época del año, edad de la planta o arbolado, factores ambientales, entre otros, que permitan un mayor entendimiento sobre el funcionamiento y capacidad de adaptación de los organismos vegetales, y poder dar a los cultivos un manejo adecuado en función de sus necesidades.

II. HIPÓTESIS Y OBJETIVO GENERAL

Hipótesis

Las concentraciones de los azúcares totales solubles entre los órganos de *Carya illinoensis* (Wagenh.) K. Koch son variables, así como las concentraciones de cada órgano durante las etapas fenológicas y entre distintas variedades durante un ciclo anual productivo.

Justificación

Actualmente, es limitada la información respecto de los patrones y procesos de dichos carbohidratos en los árboles y su comportamiento; se requieren más estudios considerando una descripción detallada de la especie vegetal, la parte del árbol analizado, las etapas fenológicas, ubicación del sitio, entre otros factores, de tal forma que, permitan comprender mejor el flujo de éstos y poder abordar preguntas sobre la función de los ecosistemas y la adaptación de las especies.

Objetivo general

- Conocer el comportamiento de las concentraciones de los azúcares totales solubles en árboles de *Carya illinoensis* (Wagenh.) K. Koch en un ciclo anual productivo, bajo parámetros diversos inherentes a su producción.

Objetivos específicos

- Medir las concentraciones de los azúcares totales solubles de *C. illinoensis* de la variedad Western Schley, en cada órgano vegetal y entre etapas fenológicas diferentes en el ciclo anual productivo 2015-2016.
- Comparar las concentraciones de los azúcares totales solubles de los órganos raíz y tallo de *C. illinoensis* entre las variedades Wichita y Western Schley, durante los meses del ciclo anual productivo 2015-2016.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Carbohidratos

3.1.1 Origen

La fotosíntesis es un proceso trascendental para mantener la vida en la tierra (Pérez-Urria, 2009), mediante este proceso la energía de la luz solar es utilizada por algunos organismos fotosintéticos como las algas, algunas bacterias y las especies vegetales para sintetizar sustancias o compuestos orgánicos, que le sirven como alimento (Hennion *et al.* 2019; Pérez-Urria, 2009).

En las plantas, el proceso de fotosíntesis se ha dividido en dos etapas, la etapa fotoquímica y la bioquímica, en la primera parte se forma el ATP y el NADPH, mientras que en la segunda éstos son utilizados para fijar el CO₂ atmosférico y reducidos para la fabricación de los carbohidratos (CH₂On) (Pérez-Urria, 2009). Dichos carbohidratos son elaborados durante el metabolismo del carbono, un conjunto de reacciones llevadas a cabo en la fase bioquímica de la fotosíntesis (Pérez-Urria *et al.*, 2009; Davidson, 2019).

3.1.2 Reserva vegetativa

Los compuestos de reserva o reservas vegetativas como recursos derivados del proceso de fotosíntesis, pueden ser almacenados en los mismos tejidos de las plantas y ser utilizarlos posteriormente en diversas procesos y funciones (Tixier *et al.*, 2018; Martínez-Trinidad *et al.*, 2013; Chapin *et al.*, 1990; Tromp, 1983). La literatura indica que los carbohidratos son los más importantes (Davison, 2019; Hennion *et al.*, 2019), puesto que intervienen en una diversidad de funciones fundamentales para las plantas y árboles, como en las funciones metabólicas, en su crecimiento, en su supervivencia (Pérez-Urria *et al.*, 2009; Davidson, 2019), en procesos de gran trascendencia como la reproducción, la defensa ante las enfermedades y otro tipo de estresantes (Martínez-Trinidad *et al.*, 2013).

Para mantener la vida en la tierra, los compuestos de reserva como los carbohidratos son de gran importancia (Davidson, 2019; Hennion *et al.*, 2019; Pinkard, 2018), pueden encontrarse en forma soluble o insoluble, que según su función son determinados como no-estructurales o estructurales,

respectivamente (Tromp, 1983). Por un lado, la función de los carbohidratos estructurales es formar parte de las paredes de las células de los organismos (Davidson, 2019; Liu et al., 2018; Pallardy, 2008; Barbadoux y Breda, 2002), mientras que a los carbohidratos no estructurales se les asigna una diversidad de funciones (Furze *et al.*, 2019), entre las que se encuentra el suministro de energía y sustratos de carbono (Davidson, 2019; Liu et al., 2018; Smith *et al.*, 2018; Pallardy, 2008; Tromp, 1983); en las especies vegetales pueden ser almacenados en diversos órganos o tejidos cuando su producción es abundante, y son utilizados cuando hay demanda de éstos y su producción en los órganos fotosintéticos es escasa o nula (Pérez-Urria et al., 2009).

3.2 Carbohidratos no estructurales

Los carbohidratos conocidos como no estructurales (solubles) se componen principalmente de almidón y azúcares solubles (Furze *et al.*, 2019; Jin *et al.*, 2018; Smith *et al.*, 2018; Chapin *et al.*, 1990), para Pinkard *et al.* (2019) son componentes imprescindibles para la vida, puesto que, son fuente de energía. En los vegetales influyen de manera importante sobre su crecimiento y supervivencia, también, de ellos depende en gran medida la reacción que tengan ante las condiciones del medio ambiente, ya que, son los que regulan la fisiología de las plantas ante los diversos estreses ambientales (Furze *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2018; Pinkard *et al.*, 2018). Tixier *et al.* (2019) mencionan que las plantas pueden llegar a depender totalmente de los carbohidratos no estructurales almacenados, en casos como el estrés, la noche o cuando no se tiene asimilación de éstos en los órganos fotosintéticos.

En especies arbóreas, por ejemplo, los carbohidratos no estructurales proporcionan energía y sustratos de carbono para llevar a cabo sus actividades; la disponibilidad de dichos carbohidratos puede verse afectada debido a los cambios durante los ciclos estacionales, por fenómenos como la defoliación, sequía o enfermedades; así mismo, cuando hay poca o nula producción de éstos y no alcanzan a satisfacer las cantidades requeridas para la realización de las

funciones metabólicas del árbol; entonces, son importados desde otros órganos o tejidos (Chapin *et al.*, 1990; Smith *et al.*, 2018).

Los carbohidratos no estructurales como el almidón y los azúcares solubles, pueden ser interconvertibles (Smith *et al.*, 2018), es decir, que pueden convertirse entre sí (Magel *et al.*, 2000), son los responsables de múltiples beneficios para las plantas y árboles, ayudan para su crecimiento (Smith *et al.*, 2018) y también ayudan a resistir las afectaciones por estrés que les causan las enfermedades, la defoliación, la sequía, al regular el ajuste fisiológico ante estos casos (Jin *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2018). Tromp (1983) también resalta la importancia de los carbohidratos no estructurales en árboles, sobre todo en el invierno y en la primavera para coadyuvar en los nuevos crecimientos de dichos árboles, y que pueden estar distribuidos a través de los distintos órganos del árbol.

En este mismo sentido Furze *et al.* (2019) menciona que las cantidades que se encuentren almacenadas en cada tejido podrían ser muy variadas, pudiendo tardar en ese sitio desde unos minutos, hasta décadas, (Tixier *et al.*, 2018) y de esas cantidades almacenadas dependerá el árbol para subsistir en los periodos de escasa o nula actividad fotosintética y requieran de este tipo de carbohidratos. Por otro lado, Martínez- Trinidad *et al.* (2013) quienes estudiaron la relación que existe entre los carbohidratos y la vitalidad de los árboles, resaltan la importancia que tienen los carbohidratos no estructurales almacenados en el árbol, sobre todo cuando no tiene el suministro adecuado de energía, y la requiere para sus procesos de reproducción, el mantenimiento, la defensa ante enfermedades, su crecimiento o su almacenamiento.

Estas reservas se pueden movilizar en los distintos órganos del árbol para proporcionar energía según sus requerimientos (Barbadoux y Breda, 2002) y esta movilización podría depender de distintos factores, principalmente de la demanda de otros sitios dentro del árbol, el ambiente y las etapas fenológicas en que se encuentren (Martínez-Trinidad *et al.*, 2013; Valenzuela-Núñez *et al.*, 2019).

En muchas especies arbóreas consideradas caducifolias, como el caso del nogal pecanero se ha investigado sobre la importancia que tienen los compuestos de reserva como los carbohidratos no estructurales, la forma en que se lleva a cabo

la movilización de éstos dentro de los árboles o como participan en las estrategias para su adaptación, sobre todo ante eventos que afectan su funcionalidad, o en los casos en que no hay producción de dichos compuestos (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2019). En algunas especies vegetales se han hecho estudios y reportes que indican la gran importancia que tienen los carbohidratos no estructurales como fuente de energía para las plantas, como el caso del almidón, y el efecto que tienen los factores ambientales sobre éstos (Briceño-Contreras *et al.*, 2019).

3.3 Azúcares Totales Solubles

Los azúcares totales solubles (ATS) son carbohidratos no estructurales de vital importancia para los organismos, en especies caducifolias son indispensables para generar los nuevos crecimientos sobre todo al inicio de la primavera, y durante el invierno para suministrar el carbono que necesitan para mantener su metabolismo (El Zein *et al.*, 2011), estos compuestos pueden ser almacenados en distintos órganos de las plantas y árboles (Davidson, 2019; Liu *et al.*, 2018; Smith *et al.*, 2018; Pallardy, 2008; Tromp, 1983), por lo general, el almacenamiento se lleva a cabo en periodos de producción abundante de estos compuestos (Briceño-Contreras *et al.*, 2021; Magel *et al.*, 2000; Koslowski *et al.*, 1992).

En los árboles perennes deciduos los azúcares totales solubles se movilizan desde los reservorios hasta los sitios de demanda (Smith *et al.*, 2018; Chapin *et al.*, 1990) para abastecerles de energía en los periodos de invierno, cuando se encuentran en la etapa fenológica de dormancia, ya que, es cuando hay ausencia de órganos fotosintéticos, además, hacen que resistan las temperaturas bajas, promoviendo también la reanudación del crecimiento y el desarrollo de los brotes nuevos al iniciar la primavera (Ok *et al.* 2020; Tixier *et al.*, 2019).

Se ha observado que en las raíces de los árboles los ATS se almacenan en mayores cantidades antes de la floración (Briceño-Contreras *et al.*, 2018; Barbadoux y Breda, 2002) y cuando la demanda de energía por algún otro órgano supera su producción, se movilizan para ser utilizados (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2019; Pérez-Urria *et al.*, 2009).

Gracias a los azúcares totales solubles almacenados, las especies vegetales pueden disponer de la energía requerida para su crecimiento o para enfrentar las condiciones adversas del medio ambiente, ya que ayudan a regular su fisiología (Aluko *et al.*, 2021; Ok *et al.* 2021; Liu *et al.*, 2018; Pinkard *et al.*, 2018) y en sus funciones metabólicas (Furze *et al.*, 2019).

En este contexto, los ATS durante el invierno permiten la respiración, incluso, tienen influencia sobre el mismo crecimiento de las raíces (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2014), el crecimiento de las hojas o el crecimiento del cambium del tronco (Magel *et al.*, 2000), la osmorregulación (Briceño-Contreras *et al.*, 2021; Hartmann y Trumbore, 2016, entre otros. Para Moscardini *et al.* (2020) y Liu *et al.* (1999) en las especies frutales la movilización de los azúcares totales solubles se lleva a cabo según el nivel de demanda de los otros sitios de la planta o árbol que requieren de energía para lograr su potencial de desarrollo.

Moscardini *et al.* (2020) comentan que pese a que se ha estimado que los frutos en desarrollo como el café, también pueden ser una fuente de producción de estos carbohidratos hasta en un 30 % del carbono total, aún sigue siendo insuficiente la energía para la formación completa de los frutos, ya que, su formación demanda una mayor cantidad en comparación con otros órganos como las ramas en formación, y es ahí cuando se moviliza la mayor cantidad desde los reservorios; cabe mencionar que, en los casos cuando el crecimiento vegetativo y reproductivo son concurrentes, existe una competencia mayor por los azúcares totales solubles.

Según Tixier *et al.* (2018) existen situaciones donde los vegetales pueden llegar a depender totalmente de los azúcares totales solubles almacenados, de no estar disponibles, el árbol correría el riesgo de no sobrevivir.

Se sabe que los ATS son muy importantes para mantener diversas funciones del arbolado (Briceño-Contreras *et al.*, 2021; Furze *et al.*, 2019; Hartmann y Trumbore, 2016), en plantas leñosas se ha observado que ayudan a su supervivencia incluso a temperaturas bajo cero, gracias al mecanismos de adaptación del mismo árbol, puede activarse el fenómeno de aclimatación, donde

hace uso de los ATS almacenados, lo que provoca una disminución de ellos, y vuelven a aumentar las cantidades almacenadas de dichas reservas vegetativas al incrementar nuevamente las temperaturas, lo que indica que las cantidades de azúcares totales solubles en los órganos de las plantas o árboles, podrá estar sujeta a la capacidad de adaptación antes condiciones adversas como el frío (Ok *et al.*, 2021).

Por otro lado, se observó en el estudio de Turhan y Ergin (2012) donde fue evaluado el contenido de ATS en la etapa de aclimatación al frío considerando dos variedades de Caqui dulce, y se encontró que las concentraciones de ATS no fueron iguales para ambas variedades, además, las concentraciones en los tejidos de la corteza tuvieron valores más altos de ATS durante el periodo de aclimatación que cuando las temperaturas fueron más altas. Por otra parte, Vosniak *et al.* (2021) hacen mención de que las cantidades de ATS almacenadas en los órganos de los árboles, puede estar influenciado de manera importante por las cantidades de agua de riego o presencia de humedad del suelo.

Otro de los factores que pueden ser trascendentales y que pueden provocar la alteración de los flujos netos de fotosíntesis y respiración, por consiguiente, afectar de manera importante la disponibilidad de los ATS, es la defoliación, ya que, durante este proceso estos compuestos son utilizados para el ajuste osmótico y transporte del floema, lo que indica que las cantidades almacenadas en los reservorios de ATS en los órganos del árbol, dependerá en parcialmente del grado de la defoliación (Michelot-Antalik *et al.*, 2019).

Moscardini *et al.* (2020) resaltaron la importancia de los ATS para la formación de los frutos y el buen desarrollo, las cantidades almacenadas de ATS como reserva son vitales para la tales efectos, por ello, su movilización dentro de los árboles dependerá de diversos factores como la etapa de desarrollo, además, debido a que las cantidades producidas en los órganos fotosintéticos no son suficientes para la formación de los frutos, se requiere de las cantidades almacenadas para complementar sus requerimientos de crecimiento y desarrollo.

En este mismo sentido, Yildiz *et al.* (2013) mencionan que, en los árboles leñosos perennes, al principio de la primavera dependen totalmente de las reservas almacenadas para que los brotes de las yemas y nuevos crecimientos se lleven a efecto, puesto que en esa etapa no hay producción de éstos.

Los sitios de almacenamiento de los ATS dentro de una planta leñosa pueden ser los órganos vivos como la raíz y el tronco, principalmente; para el caso de los tallos o troncos, se sabe que son utilizados como reservorio durante periodos favorables y se vacían cuando hay demanda de ellos en otros sitios del árbol como las hojas en formación, o para la formación de nuevas raíces, o el crecimiento del mismo cámbium del tronco (Magel *et al.*, 2000). Sin embargo, durante un ciclo anual de las especies vegetales pueden presentarse diversas situaciones que podrían afectar las cantidades de los ATS en cada órgano de almacenamiento, los requerimientos en cada etapa de su fenología demandan distintas cantidades de energía para llevar a cabo su funcionamiento (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2019). Furze *et al.* (2019) indicaron de forma general, que las concentraciones de azúcares en los árboles disminuyen en la primera mitad del año y durante la segunda mitad se vuelven a almacenar hasta alcanzar su punto máximo de almacenamiento en invierno.

Aluko *et al.* (2021) sugieren que las concentraciones de los azúcares totales solubles pueden resultar influenciadas por factores como las condiciones del ambiente, Pinkard *et al.* (2018) mencionan que la época del año, la edad de la planta, la especie vegetal de la que se trate, incluso si se encuentran dentro de la misma región también pueden ser factores que influyen.

Así mismo, Liu *et al.* (2018) indican que hay mayor fluctuación estacional en las especies deciduas que en las perennes. En este contexto, se ha encontrado que, en las especies caducifolias las cantidades almacenadas de los azúcares totales solubles serán más afectadas mientras más severa sea la defoliación (Yang *et al.*, 2021), ya que, serán utilizados para el ajuste osmótico y el mantenimiento del floema (Michelot-Antalik *et al.*, 2019).

Otro factor estudiado sobre la cantidad de azúcares totales solubles almacenados en las plantas o árboles, es la cantidad de agua que tengan disponible, en el cultivo de cereza dulce, por ejemplo, se reportó que cuanto mayor era el suministro de agua de riego para las plantas de esta especie, las concentraciones de azúcares también aumentaban (Vosnjak *et al.*, 2021).

3.4 *Carya illinoensis* (Wagenh) K. Koch

3.4.1 Origen y sus características

El nombre de pecana o pecanera deriva del vocablo indígena Algonquin que significa “Pakan”, los colonizadores españoles nombraron al árbol pecanero como nogal y a los frutos de éstos le dieron el nombre de nuez; fue uno de los principales alimentos para los nativos indios americanos, el origen de esta especie vegetal está registrado en el norte de México y el sureste de Estados Unidos (Medina-Morales y Cano-Ríos, 2002).

El nombre científico del nogal pecanero es [*Carya illinoensis* (Wagenh.) K. Koch.], como cultivo es explotado en todo el mundo, es una especie caducifolia perteneciente taxonómicamente a la familia de las Juglandaceae (Zhang *et al.*, 2019), es conocido también por otros nombres, como pecana, pecan, nuez encarcelada, entre otros; entre sus características resalta la altura máxima que pueden llegar a medir hasta 45 metros, pueden vivir hasta 100 años aproximadamente, la copa de los árboles es redonda y ancha, presenta hojas alternas, el tamaño de sus frutos oscila entre 1 a 2 pulgadas de largo y media pulgada de diámetro. El clima idóneo para su explotación como cultivo puede ser entre árido o semiárido, el suelo debe ser húmedo para una mejor condición, sin llegar a presentar inundación prolongada, con textura pesada, las temperaturas de verano rondan los 30 °C, la floración de este frutal se lleva a cabo entre marzo y mayo con flores masculinas y femeninas en el mismo árbol (USDA, 2019).

De las especies que pertenecen al género *Carya*, la más viable económicamente para la producción de nuez es *illinoensis* (Giuseppe *et al.*, 2018); tiene gran importancia a nivel mundial, ya que se alcanzan producciones aproximadas de 100, 000 toneladas anuales, de las cuales, entre Estados Unidos y México producen el 92 %, por ejemplo, en el ciclo productivo 2015-2016 registraron una

producción mayor a las 90, 000 toneladas (Giuseppe *et al.*, 2018). En Estados Unidos su producción se lleva principalmente en los Estados de Georgia, Texas, Nuevo México, Arizona, Luisiana y Oklahoma, por otro lado, los Estados de México con producciones más importantes son Chihuahua, Sonora, Coahuila, Durango y Nuevo León (Orona-Castillo *et al.*, 2019).

3.4.2 Importancia

En el mundo, el nogal pecanero ha tenido gran aceptación e importancia económica en diversas áreas, como en la medicina (Kellett *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2019), la producción de cosméticos, en el área agroforestal, para la vida silvestre, entre otros. En México, el cultivo del nogal pecanero también significa grandes beneficios para la sociedad y productores, principalmente en las regiones donde se produce, que son los estados que se encuentran al norte del país (García-Hernández *et al.*, 2009; Valenzuela-Núñez *et al.*, 2019) y según datos de Orona-Castillo *et al.* (2019) durante los últimos años la producción de nuez en México ha ido incrementando, posicionándose tanto en el mercado nacional como internacional. Para el año 2015 se registró que las producciones de nuez en México eran alrededor de las 122, 174 toneladas (Flores-Estrada *et al.*, 2015), actualmente, las producciones anuales de nuez pecanera en México rondan las 164, 308 toneladas (SIAP-SAGARPA, 2020).

Para el caso de las producciones de nuez pecanera en la Región Lagunera, donde se llevó a cabo el presente trabajo, se han registrado producciones aproximadas a las 9,376.6 toneladas, lo que ha llegado a representar un valor monetario aproximado al año de 200 millones de pesos (SIAP-SAGARPA, 2018). Aunque se ha observado que, pese a que tiene mayor superficie cultivada que otros Estados productores en México, los rendimientos por hectárea son menores, probablemente debido a que la calidad del fruto es, por lo general, de menor calidad (Orona-Castillo *et al.*, 2019).

Las variedades que fueron introducidas a la región aproximadamente en los años 40 fueron Western, Wichita, Burkett, San Saba Improved, Stuart, Barton y Mahan (Medina-Morales y Cano-Ríos, 2002). Orona-Castillo *et al.* (2013) menciona que las que aun predominan son Western Schley con un 50 % de las plantaciones,

Wichita con un 33 % y el resto de las plantaciones se componen de variedades criollas, Barton, Mahan, Texas, Pawnee y Cheyenne (Orona-Castillo *et al.*, 2013). Según Potisek *et al.* (2010) citado por Valenzuela-Núñez *et al.* (2019) el nogal pecanero ha ido tomando importancia para la región hasta llegar a ser uno de los principales frutales.

Existen etapas fenológicas del nogal con características muy determinadas en cada una de ellas, etapas como la brotación, desarrollo de brotes, floración, desarrollo y maduración del fruto, cosecha y defoliación. Dentro de cada etapa las condiciones pueden ser muy distintas y las distintas variedades pueden responder de distinta forma ante las condiciones de cada etapa. Por ejemplo, para las distintas variedades podría no presentarse una respuesta homogénea ante determinadas condiciones, como la brotación que es más temprana en la variedad Wichita que en otras como Western (Medina-Morales y Cano-Ríos, 2002).

Para la obtención de mejores producciones de las especies cultivadas, es necesario entender los mecanismos de utilización de los nutrimentos, desde su fabricación, transporte o almacenamiento hasta su utilización bajo distintas condiciones (García-Hernández *et al.* 2009). Dada la importancia del cultivo de nogal pecanero y de la presencia de reservas vegetativas como los azúcares totales solubles para el buen funcionamiento de las especies vegetales en general, es de gran importancia conocer el comportamiento de dichos compuestos durante los ciclos anuales de producción de cada especie, que permitan aproximar a una comprensión de las estrategias de adaptación que tienen ante las distintas situaciones a las que se enfrentan, y con ello, considerar un manejo de las especies que permitan mayores producciones o supervivencia ante eventos adversos; tal es el caso del nogal pecanero como especie cultivada, y dar el mejor manejo de acuerdo a cada situación.

IV. LITERATURA CITADA

- Asif, H. M., Akram, M., Saeed, T., Khan, M. I., Akhtar, N., Rehman, R. U., Rehman, S. M. A. Shah, K. Ahmed, G. Shasheen. (2011). Carbohydrates. *International Research Journal of Biochemistry and Bioinformatics*, 1(1), 001-005.
- Aluko, O. O., Li, C., Wang, Q., y Liu, H. (2021). Sucrose Utilization for Improved Crop Yields: A Review Article. *Int J Mol Sci*, 22(9). doi:10.3390/ijms22094704
- Barbaroux, C., y 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, E. A., Moreno-Reséndez, A., García-De la Peña, C., Rodríguez -Martínez, R., y Esparza-Rivera, J. R. (2021). Starch balance in perennial organs of *Carya illinoensis* Koch in a production cycle. *Revista Brasileira de fruticultura*, 43(5). doi:10.1590/0100-29452021017
- Briceño-Contreras, E. A., Moreno-Reséndez, A., Valenzuela-Núñez, L. M., García-De la Peña, C., Esparza-Rivera, J. R., Rodríguez-Martínez, R., y Molina-Ochoa, J. (2019). Influence of temperature and irradiation on starch concentration in *Carya illinoensis* K. Koch varieties Wichita and Western. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 25(3), 305-314. doi:10.5154/r.rchscfa.2018.12.089
- Briceño-Contreras, E. A., Valenzuela-Núñez, L. M., Espino-Castillo, D. A., García-de-la-Peña, C., Esparza-Rivera, J. R., y 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, S. F., Schulze, E.-D., y Mooney, H. A. (1990). The ecology and economics of storage in plants. *Annu. Rev. Ecol Syst.*, 21(423-447).
- Cheng, L., y Fuchigami, L. H. (2002). Growth of young apple trees in relation to reserve nitrogen and carbohydrates. *Tree Physiology*, 22, 1297-1303.
- Davidson, E. A. (2019). Carbohydrate. *Encyclopedia Britannica, Inc.* Retrieved from URL: <https://www.britannica.com/science/carbohydrate> (consultado: junio del 2019)
- El Zein, R., Maillard, P., Breda, N., Marchand, J., Montpied, P., y Gerant, D. (2011). Seasonal changes of C and N non-structural compounds in the stem sapwood of adult sessile oak and beech trees. *Tree Physiol*, 31(8), 843-854. doi:10.1093/treephys/tpr074
- Flores-Estrada, R. A., Gámez-Meza, N., Medina-Juárez, L. A., Castellón-Campaña, L. G., Molina-Domínguez, C. C., Rascón-Valenzuela, L. A., y García-Galaz, A. (2019). Chemical Composition, Antioxidant, Antimicrobial and Antiproliferative Activities of Wastes from Pecan Nut [*Carya illinoensis* (Wagenh) K. Koch]. *Waste and Biomass Valorization*. doi:10.1007/s12649-019-00681-2
- Furze, M. E., Huggett, B. A., Aubrecht, D. M., Stolz, C. D., Carbone, M. S., y Richardson, A. D. (2019). Whole-tree nonstructural carbohydrate storage

- and seasonal dynamics in five temperate species. *New Phytol*, 221(3), 1466-1477. doi:10.1111/nph.15462
- García-Hernández JL, Orona-Castillo I, González-Cervantes G, Valdéz-Cepeda RD, Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, Fortis-Hernández M y Segura-Castruita MA (2009) Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en nogal pecanero (*Carya illinoensis*). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15.
- Giuseppe C, Fabrizio Van der Watt E y Coetzer GM (2018) Propagation of Pecan (*Carya illinoensis*): A review. *African Journal of Biotechnology*, 17, 586-605.
- Hartmann, H., y Trumbore, S. (2016). Understanding the roles of nonstructural carbohydrates in forest trees - from what we can measure to what we want to know. *New Phytol*, 211(2), 386-403. doi:10.1111/nph.13955
- Hennion, N., Durand, M., Vriet, C., Doidy, J., Maurousset, L., Lemoine, R., y Pourtau, N. (2019). Sugars en route to the roots. Transport, metabolism and storage within plant roots and towards microorganisms of the rhizosphere. *Physiol Plant*, 165(1), 44-57. doi:10.1111/ppl.12751
- Jin, Y., Li, J., Liu, C., Liu, Y., Zhang, Y., Sha, L., . . . Grace, J. (2018). Carbohydrate dynamics of three dominant species in a Chinese savanna under precipitation exclusion. *Tree Physiol*, 38(9), 1371-1383. doi:10.1093/treephys/tpy017
- Kozłowski, T. T. (1992). Carbohydrate sources and Sinks in woody plants. *The Botanical Review*, 58(2), 107-222.
- 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. *Sci Rep*, 8(1), 1083. doi:10.1038/s41598-018-19271-8
- Liu, X., Robinson, P. W., Madore, M. A., Witney, G. A., y Arpaia, M. L. (1999). "Hass" Avocado Carbohydrate Fluctuations. I. Growth and Phenology. *J. AMER. Soc. Hort. Sct.*, 124(6), 671-675.
- Magel, E., Einig, W., y Hampp, R. (2000). Carbohydrates in trees. *Carbohydrate Reserves in Plants-Synthesis and Regulation* (26), 317-336. doi:10.1016/S0378-519X(00)80016-1
- Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F. O. e Islas-Rodríguez, L. (2013). Relationship between Carbohydrates and Vitality in Urban Trees. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, XIX (3), 459-468. doi:10.5154/r.rchscfa.2012.03.016
- Medina-Morales, M. C., y Cano-Ríos, P. (2002). Aspectos generales del nogal pecanero. En: H. Salinas-González, H. M. Quiroga-Garza, A. Tijerina-Chávez, y U. Figueroa-Viramontes (Eds.), *Tecnología de producción en Nogal Pecanero* (1st ed., pp. 1-14). México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 221 p.
- Michelot-Antalik, A., Granda, E., Fresneau, C., y Damesin, C. (2019). Evidence of a seasonal trade-off between growth and starch storage in declining beeches: assessment through stem radial increment, non-structural carbohydrates and intra-ring delta13C. *Tree Physiol*, 39(5), 831-844. doi:10.1093/treephys/tpz008

- Moscardini, D. B., Souza, L. T. d., Mazzafera, P., y Favarin, J. L. (2020). Total Soluble Sugars Dynamics in Coffee Fruits Under Development. *Journal of Agricultural Science*, 12(5). doi:10.5539/jas.v12n5p94
- Ok, J., Kim, S. H., Ma, K.-B., Kim, D., Jeong, H. S., y Shin, H. (2021). Seasonal Fluctuation of Freezing Tolerance and Soluble Sugar Content in Three Sweet Persimmon Cultivars. *Horticultural Science and Technology*, 39(3), 305-313. doi:10.7235/HORT.20210027
- Orona-Castillo, I., Sangerman-Jarquín, D. M., Fortis-Hernández, M., Vázquez-Vázquez, C., y Gallegos-Robles, M. A. (2013). Producción y comercialización de Nuez pecanera (*Carya illinoensis* Kosh) en el norte de Coahuila, México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.*, 4(3).
- Orona-Castillo, I., Sangerman-Jarquín, D. M., Cervantes-Vázquez, M. G., Espinoza-Arellano, J. d. J., y Núñez-Moreno, J. H. (2019). La producción y comercialización de nuez pecanera en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(8), 1797-1808.
- Pallardy, S. G. (2008). *Physiology of Woody Plants*. School of Natural Resources, University of Missouri: Columbia, Missouri.
- Pérez-Urria, C. E. (2009). Fotosíntesis: Aspectos Básicos. *REDUCA (Biología). Serie Fisiología Vegetal*, 2(3), 1-47.
- Pinkard, E. A. (2018). Doing the best we can: the realities of measuring non-structural carbohydrates in trees. *Tree Physiol*, 38(12), 1761-1763. doi:10.1093/treephys/tpy138
- SIAP-SAGARPA. (2018) Cierre de la producción agrícola por cultivos en ciclos perennes 2018 modalidad riego-temporal en La Región Lagunera: Coahuila, Durango, México. [Online]. Disponible: <https://nube.SIAP.gob.mx/cienagro>.
- SIAP-SAGARPA. (2020). Avance de siembras y cosechas por cultivo en ciclos perennes 2020 en modalidad riego-temporal: Resumen nacional, México. Disponible: https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- Smith, M. G., Miller, R. E., Arndt, S. K., Kasel, S., y Bennett, L. T. (2018). Whole-tree distribution and temporal variation of non-structural carbohydrates in broadleaf evergreen trees. *Tree Physiol*, 38(4), 570-581. doi:10.1093/treephys/tpx141
- Tixier, A., Gambetta, G. A., Godfrey, J., Orozco, J., y Zwieniecki, M. A. (2019). Non-structural Carbohydrates in Dormant Woody Perennials; The Tale of Winter Survival and Spring Arrival. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2. doi:10.3389/ffgc.2019.00018
- Tixier, A., Orozco, J., Roxas, A. A., Earles, J. M., y Zwieniecki, M. A. (2018). Diurnal Variation in Nonstructural Carbohydrate Storage in Trees: Remobilization and Vertical Mixing. *Plant Physiol*, 178(4), 1602-1613. doi:10.1104/pp.18.00923
- Tromp, J. (1983). Nutrient reserves in roots of fruit trees, in particular carbohydrates and nitrogen. *Plant and Soil*, 71, 401-413.
- Turhan, E., y Ergin, S. (2012). Soluble sugars and sucrose-metabolizing enzymes related to cold acclimation of sweet cherry cultivars grafted on different rootstocks. *ScientificWorldJournal*, 2012, 979682. doi:10.1100/2012/979682

- USDA. (2019). Plant Guide: PECAN *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch.
- Valenzuela-Núñez LM, Briceño-Contreras EA, Esparza-Rivera JR, García-de-la-Peña C, Rodríguez-Bautista G y 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.
- Valenzuela Núñez, L. M., Maillard, P., González Barrios, J. L., y 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*, XIII (1), 33-38. doi:10.5154/r.rchsza.2012.06.027
- Vosnjak, M., Mrzlic, D., Hudina, M., y Usenik, V. (2021). The Effect of Water Supply on Sweet Cherry Phytochemicals in Bud, Leaf and Fruit. *Plants*, 10(6). doi:10.3390/plants10061131
- Yildiz, E., Kaplankiran, M., Demirkeseer, T. H., y Toplu, C. (2013). Seasonal patterns of carbohydrates in mandarin cvs. "Fremont", "Nova" and "Robinson" on different rootstocks. *Not Bor Horti Agrobi*, 41(1), 255-262.

V. ARTÍCULOS

Artículo 1

Azúcares totales solubles en *Carya illinoensis*

**COMPORTAMIENTO DE LOS AZÚCARES TOTALES SOLUBLES EN *Carya illinoensis*, EN
DIFERENTES ÓRGANOS Y ETAPAS FENOLÓGICAS
BEHAVIOUR OF TOTAL SUGARS SOLUBLE IN *Carya illinoensis*, IN DIFFERENT ORGANS
AND PHENOLOGICAL STAGES**

Ernesto Concilco-Alberto¹, Luis Manuel Valenzuela-Núñez^{2*}, Anselmo González-Torres¹, Cristina
García-De la Peña², José Luis Reyes-Carrillo¹, Mario García-Carrillo¹, Edwin Amir Brriceño-
Contreas².

¹Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria, Universidad Autónoma Agraria Antonio
Narro Unidad Laguna.

²Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad
s/n. Fraccionamiento Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, México. C.P. 35010.

*Autor de correspondencia: luisvn70@hotmail.com

RESUMEN

Los azúcares totales solubles son carbohidratos no estructurales, imprescindibles para el crecimiento y metabolismo de las especies arbóreas caducifolias, son fundamentales en los mecanismos de supervivencia ante los estreses a que se enfrentan. El objetivo fue cuantificar las concentraciones de azúcares totales solubles en *Carya illinoensis* de la variedad Western en diferentes órganos y etapas fenológicas de un ciclo productivo. Las muestras fueron obtenidas de árboles adultos de la huerta experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Torreón, Coahuila, México, durante las etapas fenológicas de Vernalización, Diferenciación de

yemas y Floración. Las concentraciones de azúcares totales solubles de Raíz, Tallo, Rama, Vástago, Hoja y Fruto, fueron determinadas mediante espectrofotometría, en cada etapa fenológica. Se observó diferencia estadística significativa para la concentración de azúcares totales solubles entre órganos, la Raíz, Hoja y Fruto presentaron los valores más altos, y entre etapas fenológicas se registraron diferencias estadísticas significativas para los órganos Tallo, Rama y Vástago, se observaron los valores más altos en la etapa de vernalización y la diferenciación de yemas.

Palabras clave: Azúcares solubles, *illinoensis*, fenología, nuez, no estructural.

ABSTRACT

Soluble total sugars are non-structural carbohydrates, essential for the growth and metabolism of deciduous tree species, they are essential in the survival mechanisms in the face of the stresses they face. The aim was to quantify the concentrations of total soluble sugars in *Carya illinoensis* of the Western variety in different organs and phenological stages of a productive cycle. Samples were obtained from adult trees of the experimental orchard of the University Autonomous Agrarian Antonio Narro, in Torreon, Coahuila, México, during the phenological stages of vernalization, bud differentiation and flowering. The concentrations of total soluble sugars of Root, Stem, Branch, Stem, Leaf and Fruit, were determined by spectrophotometry, in each phenological stage. There was a statistically significant statistical difference for the concentration of total soluble sugars between organs, the Root, Leaf and Fruit presented the highest values, and between phenological stages significant statistical differences were registered for the organs Stem, Branch and Stem, the highest values were observed high in the vernalization stage and bud differentiation.

KeyWords: soluble sugars, *illinoensis*, fenology, walnut, pacana, non-structural.

INTRODUCCIÓN

Las especies vegetales cuentan con una diversidad de sustancias o compuestos de vital importancia para su funcionamiento, como las reservas vegetativas (Chapin et al 1990, Pallardy 2008), la presencia de éstas en los árboles perennes es imprescindible para su crecimiento y supervivencia (Tromp 1983, Tixier et al 2018), su almacenamiento se efectúa en periodos de abundancia y utilizadas 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 del proceso de 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 tanto, en las especies arbóreas están estrechamente relacionados con los procesos metabólicos, de crecimiento y de supervivencia (Martínez-Trinidad et al 2013), por ejemplo, en la etapa de vernalización ayudan a mantener la respiración y otros procesos que les permite mantenerse con vida (Tromp 1983, Barbaroux and Bréda 2002).

Los carbohidratos pueden clasificarse en estructurales, es decir, forman parte de las paredes celulares de los organismos (Tromp 1983, Barbaroux and 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 (Jin et al 2018, Smith et al 2018, Furze et al 2019), son catalogados como los componentes básicos de la vida (Pinkard 2018); en los árboles son parte importante de los reservorios de carbono (Landhausser et al 2018, Smith et al 2018) y considerados el combustible para la respiración y como soluto para la osmorregulación y osmoprotección (Furze et al 2019). En las especies caducifolias son elementales para su supervivencia, ya que, son reguladores clave del ajuste fisiológico ante los cambios ambientales, juegan un papel importante al momento de responder

ante la sequía, la defoliación u otro estrés ambiental y a su recuperación ante éstos (Barbaroux and Bréda 2002, Liu et al 2018, Pinkard 2018, Tixier et al 2018, Furze et al 2019), de no contar con los niveles adecuados de estos carbohidratos en los árboles, podría significar su muerte (Churakova et al 2018).

Los azúcares totales solubles (ATS), como carbohidratos no estructurales tienen la función de suministrar 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 los crecimientos de tejidos nuevos (El Zein et al 2011, Valenzuela-Núñez et al 2014, Hennion et al 2019, Valenzuela-Núñez et al 2019); Tromp (1983); mencionan que aun cuando los árboles no están en producción de azúcares, el contenido de nitrógeno en las yemas en desarrollo y los brotes nuevos aumenta, así mismo, para los brotes en crecimiento el peso seco se incrementa, lo que indica que existen reservorios de dichos azúcares. Sin embargo, su dinámica y concentración no tienen siempre el mismo comportamiento dentro de los árboles, se ha encontrado 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 una fluctuación estacional más evidente que en las perennes (Liu et al 2018). Además, el movimiento de los ATS puede verse afectado por los factores ambientales, ya sean bióticos o abióticos (Hennion et al 2019).

El comportamiento de la dinámica y concentración de los ATS en los árboles, resulta influenciado por diversos factores que pueden causarles estrés, como las condiciones ambientales, hídricas (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 (Giuseppe et al 2018), originario del sureste de Estados Unidos y norte de México (Rivera-Rangel et al 2018), pertenece a la familia Juglandaceae (USDA 2019), los árboles 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*; entre México y Estados Unidos generan el 92 % de la producción mundial, solo entre 2015-2016 produjeron 93, 713 t de las 101, 000 t producidas a nivel global (Giuseppe et al 2018). En México la superficie sembrada alcanza las 144, 567 ha, con una producción de nuez de 164,308 t (SIAP-SAGARPA 2020a), se cultiva principalmente en los estados del norte, donde predomina el clima árido o semiárido, como en Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango y Sonora (García-Hernández et al 2009, Valenzuela-Núñez et al 2019); para 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 (Briceño-Contreras et al 2018, SIAP-SAGARPA 2018).

Es aun limitada la información respecto del comportamiento de los carbohidratos no estructurales en los árboles (Granda and Camarero 2017), en especial de los azúcares totales solubles, por lo que conocer las concentraciones y la dinámica de estos compuestos en los árboles es trascendental, ya que, ayudaría a comprender más sobre su crecimiento, capacidad de amortiguamiento, sus estrategias de adaptación, además, de ser un indicador de la fuente de carbono y su capacidad de absorción (Liu et al 2018). Por tanto, el objetivo de este estudio fue cuantificar las concentraciones de los azúcares totales solubles en *C. illinoensis* de la variedad Western en diferentes órganos y etapas fenológicas en un ciclo de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la huerta experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón, Coahuila, México (25° 33' 22" y 103° 22' 07"), la cual, está dispuesta en marco real, con una densidad de plantación de 100 árboles•ha⁻¹, la variedad de la especie vegetal es 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⁻¹, la lámina de riego total anual es de 748 mm, se aplican ocho riegos con intervalos de 12 a 47 días, dependiendo de la etapa fenológica. La región se caracteriza por tener un clima seco desértico, altitud de 1,120 msnm, 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, se eligieron cuatro árboles de la parte media de la parcela, para evitar el efecto de borde; de cada árbol se extrajeron dos muestras para cada órgano establecido [raíz, tallo, rama, vástago (brote emitido del año precedente), hoja, fruto] y se dividieron en dos repeticiones cada una (Espino-Castillo et al 2018); las etapas fenológicas consideradas para la evaluación fueron Vernalización (diciembre 2014), Diferenciación de yemas (marzo 2015) y Floración (abril 2015). Las muestras de raíz fueron colectadas después de hacer una zanja pequeña e identificar la raíz principal, las muestras de tallo y ramas fueron obtenidas en forma de viruta con ayuda de un taladro Pressler (Haglöf® Langsele, Sweden), las muestras de vástagos se obtuvieron utilizando un serrucho convencional, y las muestras de hoja y fruto fueron colectadas de forma manual. Cada muestra fue limpiada, se colocaron en bolsas de aluminio perforadas y etiquetadas, se almacenaron y congelaron en una hielera con nitrógeno líquido para inactivar los procesos bioquímicos en los tejidos y se trasladaron al laboratorio, donde se almacenaron en un ultracongelador (Revco Value Plus® ThermoScientific®

Waltham, United States) a $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante una semana, de ahí se sometieron a un proceso de liofilización (Liofilizador Labconco Freezone Triad® Freeze Dry Systems®) durante siete días a una temperatura de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ con la finalidad de deshidratar las muestras y evitar actividad enzimática, después, las muestras fueron molidas en un molino de cuchillas (Fritsch® Pulverisette 15®) hasta lograr un polvo fino.

La concentración de los azúcares totales solubles fue determinada según la metodología de Van Handel (1968). Se pesaron 10 mg de cada muestra con ayuda de una balanza analítica (PW 250 Adam® Oxford, United States), se colocaron en microtubos Eppendorf de 2 mL (MCT-200-C Clear Axygen Scientific® Schwerte, Germany), luego, se agregaron 500 μL de una solución de extracción (metanol/agua 70/30). Pasados 10 minutos se centrifugaron (Spectrafuge 16M® Labnet International, Edison, United States) a 10,000 rpm a una temperatura de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante cinco minutos. Posteriormente, la extracción de la solución fue realizada y se colocaron en tubos Eppendorf de 2 mL limpios, y se agregó a cada muestra 1 mL de solución compuesta por 50 mL de H_2SO_4 y 100 mg de antrona; enseguida, se hirvieron durante 10 minutos, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y finalmente, la lectura de la absorbancia fue registrada (Thermo scientific® Genesys 20) a 625 nm.

Análisis Estadísticos. Prueba de Shapiro-Wilk y Levene fueron aplicadas para determinar si se cumplía con la normalidad y homocedasticidad de los conjuntos de datos, respectivamente; al no cumplir con los supuestos, pruebas no paramétricas fueron utilizadas para el análisis estadístico. La comparación de las medias de las concentraciones de azúcares totales solubles entre los diferentes órganos de *C. illinoensis* se llevó a cabo mediante la prueba de Kruskal-Wallis ($P \leq 0.05$); cuando fue observada diferencia estadística significativa, se utilizó la 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 una prueba de Friedman ($P \leq 0.05$) (MedCalc 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos respecto de la concentración de azúcares totales solubles entre órganos de *C. illinoensis* en cada etapa fenológica, mostraron diferencia estadística significativa en al menos un órgano (Cuadro 1). En la etapa de Vernalización se observó diferencia estadística significativa ($H = 8.2279$, g. l. = 3, $p = 0.04$); para Raíz y Vástagos se registraron las concentraciones más altas, con medias de 37.21 y $37.44 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$, respectivamente; mientras que para Tallo se presentó una media de $33.99 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$ y para Rama $33.77 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$.

En la etapa de Diferenciación de yemas la concentración de azúcares totales solubles se observó diferencia estadística significativa ($H = 18.88$, g. l. = 5, $p = 0.002$). La Raíz, Hoja y Fruto presentaron las concentraciones más altas, con medias de 38.88 , 46.52 y $48.72 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$, respectivamente; mientras que Tallo, Rama y Vástago mostraron las concentraciones más bajas con medias de 17.96 , 17.14 y $26.22 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$, respectivamente.

En la etapa de Floración, la concentración de azúcares totales solubles se presentó diferencia estadística significativa ($H = 18.34$, g. l. = 5, $p = 0.002$). La Raíz, Hoja y Fruto presentaron las concentraciones más altas, con medias de 37.18 , 37.63 y $37.39 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$, respectivamente, mientras que Tallo presentó una concentración media de $29.03 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$, Vástagos 36.22 y finalmente, en Rama se observó una concentración media de $29.67 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$.

Respecto de los resultados obtenidos en la etapa de Vernalización, donde los órganos Raíz y Vástago presentaron los valores más altos, concuerdan parcialmente con lo reportado por Valenzuela-Núñez et al (2019) en un trabajo del 2013, donde se reportó que la Raíz tuvo altas concentraciones de ATS; debido probablemente a que ésta 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 en la raíz. Así mismo, el comportamiento en Vástago, podría deberse a que es el órgano que está próximo al crecimiento y los requerimientos de energía para su actividad metabólica posterior, demanda la presencia de dichos azúcares, también, para sobrevivir a las condiciones de temperaturas bajas; en este sentido, lo anterior, podría deberse a 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 (Tixier et al 2019); además de ello, Delgado-Camacho et al (1999) mencionan que en la etapa de Dormancia no hay fenómenos fenológicos que demanden el uso de dichos ATS, lo que tiende a almacenarse en las raíces para cuando sean requeridos al comenzar etapas fenológicas demandantes.

El comportamiento de las concentraciones de ATS en los órganos en la etapa de diferenciación de yemas y floración, donde se observaron concentraciones mayores en Raíz, Vástago, Hoja y Fruto, también aplican para la anterior explicación, 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, este comportamiento se debe a que los ATS funcionan como reguladores de un ajuste fisiológico ante los cambios ambientales, y después de que los árboles han sufrido defoliación en la etapa invernal (Delgado-Camacho et al 1999, Barbaroux and Bréda 2002, Liu et al 2018, Pinkard 2018, Tixier et al 2018, Furze et al 2019). Por otro lado, Tromp (1983) también 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 podría indicar que hay movilización de los ATS a los Vástagos cuando están próximos a desarrollarse.

Los resultados obtenidos respecto del comportamiento de las concentraciones de ATS en los órganos de *C. illinoensis* a través de las etapas fenológicas estudiadas, mostraron diferencia estadística significativa para más de un órgano (Cuadro 2). Para el caso de Tallo, se observó diferencia estadística significativa ($X^2 = 13.0$, g. l. = 2, $p = 0.006$); las etapas de Vernalización y Floración presentaron las concentraciones mayores ($\bar{x} = 34.0 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$ y $\bar{x} = 29.0 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$, respectivamente), mientras que la etapa de Diferenciación de yemas registró la concentración menor ($\bar{x} = 19.3 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$).

Para Rama se registró diferencia estadísticamente significativa ($X^2 = 13.0$ g. l. = 2, $p = 0.006$); las etapas Vernalización y Floración presentaron las concentraciones mayores ($\bar{x} = 34.0 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$ y $30.0 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$, respectivamente), mientras que la etapa fenológica Diferenciación de yemas registró la concentración menor ($\bar{x} = 17.862 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$).

Para Vástago se registró diferencia estadística ($X^2 = 13.0$ g. l. = 2, $p = 0.006$); las etapas Vernalización y Floración presentaron las concentraciones mayores ($\bar{x} = 37.4 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$ y $\bar{x} = 36.2 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$, respectivamente), mientras que la etapa de Diferenciación de yemas registró la concentración menor ($\bar{x} = 22.945 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$). Para los órganos Raíz, Hoja y Fruto, no se observó diferencia estadística significativa en ninguna de las etapas fenológicas estudiadas.

Respecto del comportamiento de la concentración de azúcares totales solubles de los órganos (Tallo, Rama, Vástago) entre etapas fenológicas, concuerda con lo reportado por (Valenzuela-Núñez et al 2019) en un trabajo realizado en 2013, cuando compararon concentraciones de ATS en órganos perennes de nogal entre las etapas fenológicas Letargo y Producción, ya que, en la etapa de Letargo fue donde se registraron los valores mayores para cada uno de los órganos (Raíz, Tallo, Rama y Brote Anual). Delgado-Camacho et al (1999) señalan que en la etapa de Letargo no hay presencia de hojas, ni frutos, y que 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. En este contexto, concuerda con Moscatello et al (2017) quienes comentan que los carbohidratos se incrementaban cuando la etapa de Letargo inicia, además, concluyeron que cuando ya iniciaba la brotación de nuevos órganos (etapa de Diferenciación de yemas), los órganos leñosos modifican la disponibilidad de los carbohidratos para llevar a cabo el transporte hacia los nuevos órganos, además los utilizan para su propio crecimiento, y aunque aumenten en tamaño, los azúcares no permanecen ahí, si no que, son movilizados a otros órganos de reserva, lo que concuerda con los resultados obtenidos para la etapa de Diferenciación de yemas en este estudio, donde se obtuvieron los valores más bajos para los órganos Tallo, Rama y Vástago, que es la etapa donde se está llevando a cabo la brotación de los nuevos órganos. Por otro lado, el comportamiento de las concentraciones en Tallo, Rama y Vástagos en la etapa de Floración, donde resultaron con un incremento después de la Diferenciación de yemas, concuerda con lo que menciona Tarango-Rivero (2012) ya que, después de la iniciación con los nuevos brotes, se inicia el crecimiento de éstos y de flores, los cuales, demandan gran cantidad de reservas para su completo desarrollo, por lo que los copuestos de reservas están siendo transportados desde los órganos de almacenamiento

CONCLUSIÓN

Existe variabilidad en las concentraciones de los ATS en los órganos de *C. illinoensis*; los órganos Raíz y los órganos no perennes son los que registran las concentraciones mayores. El comportamiento de las concentraciones de los ATS a través de las etapas fenológicas no es invariable. Los órganos que presentan mayor variación en las concentraciones de ATS a través de las etapas fenológicas del cultivo, son los Tallos, Ramas y los Vástagos. Las concentraciones de ATS para los órganos Tallo, Rama y Vástago en la etapa de Vernalización son mayores que en la

Diferenciación de yemas donde resulta disminuida, y vuelven a incrementar cuando se lleva a cabo la Floración, que es cuando ya están en desarrollo los brotes y otros tejidos nuevos en el árbol. La movilización de los ATS de un sitio a otro dentro del árbol de *C. illinoensis*, probablemente, se da en función de los requerimientos de energía para la formación de nuevos órganos y el mantenimiento de 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 Concilio Alberto, para la realización de los estudios de Doctorado; al Dr. Ángel Lagarda Murrieta por permitir extraer de la huerta experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, las muestras vegetales utilizadas para el estudio.

LITERATURA CITADA

- Barbaroux C y 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 y 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. *Annu. Rev. Ecol Syst.*, 21.
- Churakova O, Lehmann M, Saurer M, Fonti M, Siegwolf R y Bigler C (2018) Compound-Specific Carbon Isotopes and Concentrations of Carbohydrates and Organic Acids as Indicators of Tree Decline in Mountain Pine. *Forests*, 9.
- Davindson EA (2019) Carbohydrate. *Encyclopedia Britannica, Inc.* <https://www.britannica.com/science/carbohydrate>. Fecha de consulta 21 mayo de 2021.
- Delgado-Camacho G, Castillo-González AM, Avitia-García E y 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(2), 77-81.
- El Zein R, Maillard P, Breda N, Marchand J, Montpied P y Gerant D (2011) Seasonal changes of C and N non-structural compounds in the stem sapwood of adult sessile oak and beech trees. *Tree Physiol*, 31, 843-54.
- Espino-Castillo DA, Valenzuela-Núñez LM, Legaria-Solano JP, Briceño-Contreras EA, Esparza-Rivera JR, Rodríguez-Bautista G y 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.
- Furze ME, Huggett BA, Aubrecht DM, Stolz CD, Carbone MS y Richardson AD (2019) Whole-tree nonstructural carbohydrate storage and seasonal dynamics in five temperate species. *New Phytol*, 221, 1466-1477.
- García-Hernández JL, Orona-Castillo I, González-Cervantes G, Valdéz-Cepeda RD, Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, Fortis-Hernández M y Segura-Castruita MA (2009) Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en nogal pecanero (*Carya illinoensis*). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15.
- Giuseppe C, Fabrizio Van der Watt E y Coetzer GM (2018) Propagation of Pecan (*Carya illinoensis*): A review. *African Journal of Biotechnology*, 17, 586-605.
- Granda E y Camarero JJ (2017) Drought reduces growth and stimulates sugar accumulation: new evidence of environmentally driven non-structural carbohydrate use. *Tree Physiol*, 37, 997-1000.
- Hennion N, Durand M, Vriet C, Doidy J, Maurousset L, Lemoine R y Pourtau N (2019) Sugars en route to the roots. Transport, metabolism and storage within plant roots and towards microorganisms of the rhizosphere. *Physiol Plant*, 165, 44-57.
- INEGI (2012) Anuario estadístico del Estado de Coahuila de Zaragoza. Aguascalientes, México : Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- 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 y Grace J (2018) Carbohydrate dynamics of three dominant species in a Chinese savanna under precipitation exclusion. *Tree Physiol*, 38, 1371-1383.
- Landhausser SM, Chow PS, Dickman LT, Furze ME, Kuhlman I, Schmid S, Wiesenbauer J, Wild B, Gleixner G, Hartmann H, Hoch G, McDowell NG, Richardson AD, Richter A y Adams HD (2018) Standardized protocols and procedures can precisely and accurately quantify non-structural carbohydrates. *Tree Physiol*, 38, 1764-1778.
- 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. *Sci Rep*, 8, 1083.
- Martínez-Trinidad T, Plascencia-Escalante FO Y 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 Y Battistelli A (2017) Late summer photosynthesis and storage carbohydrates in walnut (*Juglans regia* L.): Feed-back and feed-forward effects. *Plant Physiol Biochem*, 118, 618-626. doi:10.1016/j.plaphy.2017.07.025
- Pallardy SG (2008) Physiology of Woody Plants, School of Natural Resources, University of Missouri, Columbia, Missouri.
- Pinkard EA (2018) Doing the best we can: the realities of measuring non-structural carbohydrates in trees. *Tree Physiol*, 38, 1761-1763.
- Rivera-Rangel LR, Aguilera-Campos KI, Garcia-Triana A, Ayala-Soto JG, Chavez-Flores D Y Hernandez-Ochoa L (2018) Comparison of Oil Content and Fatty Acids Profile of Western Schley, Wichita, and Native Pecan Nuts Cultured in Chihuahua, Mexico. *J Lipids*, 2018, 4781345.

- SIAP-SAGARPA (2018) Cierre de la producción agrícola por cultivos en ciclos perennes 2018 modalidad riego-temporal en La Región Lanunera: Coahuila, Durango, México. [Online]. Disponible: <https://nube.SIAP.gob.mx/cienagro>.
- SIAP-SAGARPA (2020^a) Avance de siembras y cosechas por cultivo en ciclos perennes 2020 en modalidad riego-temporal: Resumen nacional, México.
- SIAP-SAGARPA (2020b) SIACON-NG. México [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Smith MG, Miller RE, Arndt SK, Kasel S y Bennett LT (2018) Whole-tree distribution and temporal variation of non-structural carbohydrates in broadleaf evergreen trees. *Tree Physiol*, 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.
- Tixier A, Gambetta GA, Godfrey J, Orozco J y 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. doi:10.3389/ffgc.2019.00018
- Tixier A, Orozco J, Roxas AA, Earles JM y Zwieniecki MA (2018) Diurnal Variation in Nonstructural Carbohydrate Storage in Trees: Remobilization and Vertical Mixing. *Plant Physiol*, 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 (En línea). Disponible en: <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=CAIL2>
- Valenzuela-Núñez LM, Briceño-Contreras EA, Esparza-Rivera JR, García-de-la-Peña C, Rodríguez-Bautista G y 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.
- Valenzuela-núñez LM, Maillard P, González-Barrios JL y 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*, XIII, 33-38.
- Van handel E (1968) Direct Microdetermination of Sucrose. *Analytical Biochemistry*, 22, 280-283

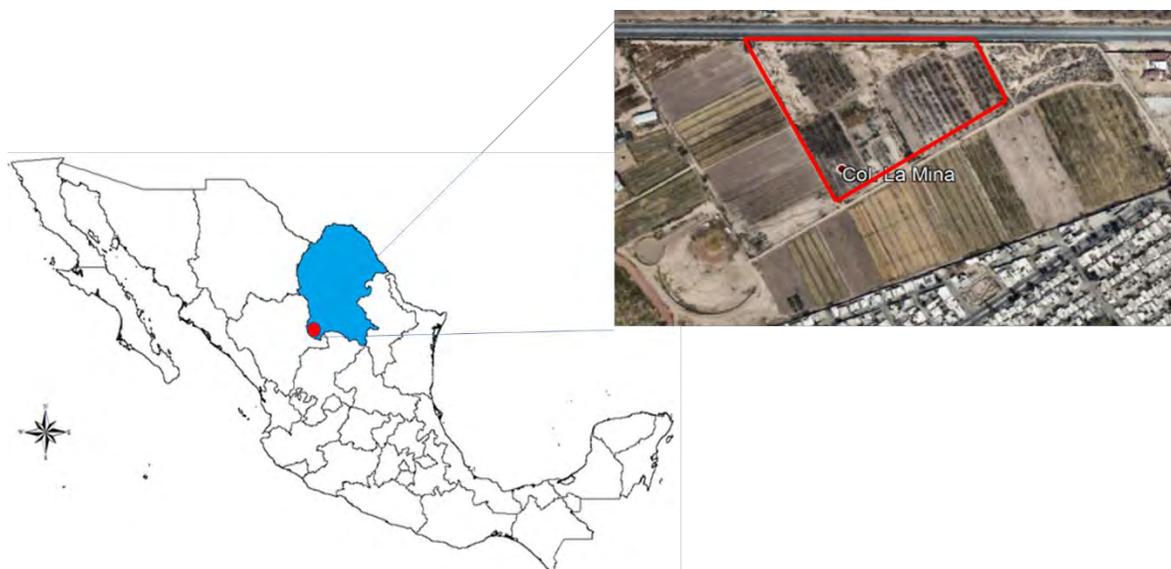


Figura 1. Localización del sitio del experimento

Tabla 1. Comparación de las concentraciones de azúcares totales solubles entre órganos de nogal de la variedad Western, en tres etapas fenológicas.

Órganos	Vernalización	Diferenciación de yemas	Floración
	(mg·g ⁻¹ MS)		
Raíz	37.2 ± 0.2 ^a	35.5 ± 1.2 ^a	37.2 ± 0.4 ^{a, b}
Tallo	34.0 ± 1.7 ^b	19.3 ± 1.5 ^{b, c}	29.0 ± 1.8 ^c
Rama	33.8 ± 2.1 ^b	17.9 ± 1.1 ^c	29.7 ± 1.9 ^c
Vástago	37.4 ± 0.5 ^a	23. ± 1.6 ^b	36.2 ± 0.5 ^b
Hoja	/	37.9 ± 3.0 ^a	37.6 ± 0.3 ^a
Fruto	/	39.0 ± 3.3 ^a	37.4 ± 0.2 ^a

Los resultados se reportan como el promedio ± error estándar. Valores con letra diferente en la misma columna indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Tabla 2. Comparación de las concentraciones de azúcares totales solubles de órganos de *C. illinoensis* de la variedad Western, entre etapas fenológicas

Etapa	Raíz	Tallo	Rama	Vástago	Hoja	Fruto
	(mg•g ⁻¹ MS)					
Vernalización	37.2 ±	34.0 ±	33.8 ±	37.4 ± 0.5 ^a	/	/
	0.2 ^a	1.7 ^a	2.1 ^a			
Diferenciación de yemas	35.5 ±	19.3 ±	17.9 ±	23.0 ± 1.6 ^b	37.9 ±	39.0 ±
	1.2 ^a	1.5 ^b	1.1 ^b		3.0 ^a	3.3 ^a
Floración	37.2 ±	29.0 ±	29.7 ±	36.2 ±	37.6 ±	37.4 ±
	0.4 ^a	1.8 ^a	1.9 ^a	0.45 ^a	0.3 ^a	0.2 ^a

Los resultados se reportan como el promedio ± error estándar. Valores con letra diferente en la misma columna indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Artículo 2

DINÁMICA ANUAL DE LOS AZÚCARES TOTALES SOLUBLES EN TALLO Y RAÍZ DE *C. illinoensis* EN LAS VARIEDADES WICHITA Y WESTERN

ANNUAL DYNAMICS OF SOLUBLE SUGARS TOTAL IN THE ROOT AND TRUNK OF *C. illinoensis* IN WICHITA AND WESTERN VARIETIES

Ernesto Concilco-Alberto¹, Anselmo González-Torres¹, Luis Manuel Valenzuela-Núñez², Mario García-Carrillo¹, José Luis Reyes-Carrillo¹, María Cristina García-De la Peña², Edwin Amir Briceño-Contreras²

¹Postgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Periférico Raúl López Sánchez s/n, Colonia Valle Verde. C. P. 27054. Torreón, Coahuila, México.

²Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad s/n. Fraccionamiento Filadelfia, C. P. 35010, Gómez Palacio, Durango, México.

*Autor de correspondencia: luisvn70@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo fue cuantificar mensualmente las concentraciones de los azúcares totales solubles en los órganos Raíz y Tronco de *C. illinoensis*, en las variedades Wichita y Western, en el ciclo anual productivo 2016-2017. Las muestras vegetales fueron obtenidas mediante un muestreo sistematizado, fueron procesadas mediante espectrofotometría para cuantificar las concentraciones de los azúcares totales solubles. Un ANOVA factorial fue utilizado para analizar los datos estadísticamente. Los resultados mostraron diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$) para cada órgano, en los meses estudiados, entre las variedades y en la interacción de estas dos variables. La variedad Wichita presentó los valores más altos de azúcares totales solubles para ambos órganos. Los resultados podrían indicar una mejor adaptación de la variedad Wichita a las diferentes condiciones y el manejo inherentes al lugar del estudio. Mas experimentos son necesarios para investigar la influencia de los factores ambientales, considerando las mismas variables aquí estudiadas.

Palabras clave: nogal, *illinoensis*, concentración de reservas, órganos, carbohidratos no estructurales, pacana, árboles.

INTRODUCCIÓN

Como resultado de la fotosíntesis, las especies vegetales producen diversas sustancias o compuestos que almacenan como reserva en sus órganos y las utilizan en periodos posteriores (Tixier *et al.*, 2018; Martínez-Trinidad *et al.*, 2013; Chapin *et al.*, 1990; Tromp, 1983). Los carbohidratos son los principales compuestos de reserva vegetativa (Davison, 2019; Hennion *et al.*, 2019) y trascendentales para la vida (Davidson, 2019), en las especies vegetales intervienen en sus funciones más fundamentales (Pérez-Urria, 2009).

Los carbohidratos pueden encontrarse de forma insoluble y solubles (Davidson, 2019; Pallardy, 2008; Tromp, 1983) y clasificarse con base en sus funciones en estructurales y no estructurales, respectivamente (Davidson, 2019; Liu *et al.*, 2018; Smith *et al.*, 2018; Pallardy, 2008; Tromp, 1983). Para los vegetales, los carbohidratos no estructurales son su fuente de energía y sustratos de carbono (Davidson, 2019; Liu *et al.*, 2018; Smith *et al.*, 2018; Pallardy, 2008; Tromp, 1983) y se encuentran principalmente en forma de almidón y azúcares solubles (Furze *et al.*, 2019; Jin *et al.*, 2018; Smith *et al.*, 2018; Lui *et al.*, 1999; Chapin *et al.*, 1990).

Los Azúcares Totales Solubles (ATS) pueden ser almacenados en distintos órganos de los vegetales (Davidson, 2019; Liu *et al.*, 2018; Smith *et al.*, 2018; Pallardy, 2008; Tromp, 1983), en periodos cuando su producción es abundante (Briceño-Contreras *et al.*, 2021; Magel *et al.*, 2000; Koslowski *et al.*, 1992), o cuando la demanda es inferior a la síntesis (Pérez-Urria, 2009); en las raíces, por ejemplo, el mayor almacenamiento se ha registrado antes de la floración (Briceño-Contreras *et al.*, 2018), y son utilizados cuando la demanda de energía supera su producción y las condiciones no son tan favorables para las plantas (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2019; Pérez-Urria *et al.*, 2009). Gracias a los ATS almacenados los vegetales pueden disponer de la energía que necesitan para su crecimiento, reproducción, defensa ante las enfermedades o para enfrentar las condiciones adversas del medio ambiente u otro tipo de estresores, mediante la regulación de su fisiología (Aluko *et al.*, 2021; Ok *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2018; Pinkard *et al.*, 2018; Martínez-Trinidad *et al.*, 2013); así mismo, en árboles forestales desempeñan un rol vital sobre las funciones fisiológicas y de metabolismo (Furze *et al.*, 2019).

En árboles perennes deciduos, los ATS se movilizan desde los reservorios hasta los sitios de demanda (Smith *et al.*, 2018; Chapin *et al.*, 1990) para abastecerles de energía principalmente en periodos de invierno, durante la etapa fenológica de dormancia, ayudan a resistir las temperaturas bajas, promueven también la reanudación del crecimiento y el desarrollo de los brotes nuevos al iniciar la primavera (Ok *et al.* 2020; Tixier *et al.*, 2019); también permiten la respiración, incluso el crecimiento de las mismas raíces (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2014), las hojas o el crecimiento cambial del tronco (Magel *et al.*, 2000), la osmorregulación (Briceño-Contreras *et al.*, 2021; Hartann y Trombore, 2016), entre otros.

En las especies frutales, los ATS se movilizan hacia los órganos que requieren energía para alcanzar su potencial de desarrollo, se da en función al nivel de demanda (Moscardini *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 1999), aunque se ha estimado que los frutos en desarrollo, por ejemplo, el café, también pueden ser fuente de producción de estos carbohidratos hasta en un 30 % del carbono total, la energía aún es insuficiente para la formación completa de los frutos, puesto que su demanda es mayor en comparación con órganos como las ramas en formación y es cuando los ATS son movilizados en mayor cantidad desde los reservorios; cabe mencionar que, en los casos cuando el crecimiento vegetativo y reproductivo son concurrentes, existe una competencia mayor por los ATS (Moscardini *et al.*, 2020). Algunas situaciones donde los vegetales pueden llegar a depender totalmente de este tipo de reservas son, durante la noche, ante algún estrés o cuando hay nula producción de estos carbohidratos (Tixier *et al.*, 2018).

El nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch.] es un frutal caducifolio de importancia mundial, en el campo económico, en la medicina, en el área agroforestal, en la vida silvestre, entre otros (Giuseppe *et al.*, 2018); su producción se lleva a cabo en climas áridos o semiáridos. El origen de este frutal se registra al norte de México y el sureste de Estados Unidos, países donde se produce la mayor cantidad en el mundo (USDA, 2019). En México la producción ronda aproximadamente los 164, 308 t•año⁻¹, principalmente en Estados del norte del país (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2019; García-Hernández *et al.*, 2009), en La Comarca Lagunera su explotación representa un valor monetario anual aproximado de 200 millones de pesos, con una producción promedio anual de 9, 376.6 t (SIAP-SAGARPA, 2018), las variedades que predominan en las huertas de la región son Wichita y Western, las cuales, representan un 33 y 50 %,

respectivamente, y un 17 % entre otras variedades, como la Barton, Mahan, Texas, Pawnee, Cheyenne y nueces criollas (Orona-Castillo *et al.*, 2013).

En cada sistema agroforestal, como el cultivo del nogal pecanero, es de gran importancia conocer el comportamiento de las reservas vegetativas como son los ATS, ya que, con base en ello, podrá entenderse mejor la función de los ecosistemas, la capacidad de adaptación de cada organismo vegetal y darle el manejo más adecuado de acuerdo a las condiciones y necesidades. Se ha estudiado la influencia de algunos factores sobre las concentraciones de azúcares solubles en algunas especies, como el ambiente (Aluko *et al.*, 2021) épocas del año, edad de la planta o arbolado, las especies, aun siendo de la misma región (Pinkard *et al.*, 2018), por ejemplo, se ha observado que en especies caducifolias se presenta mayor fluctuación estacional que en especies perennes (Lui *et al.*, 2018; Hoch *et al.*, 2003), inclusive, el grado de defoliación es un factor significativo para las cantidades disponibles en los reservorios, mientras más severo sea el caso, más afectaciones se reflejarán en dichas concentraciones (Yang *et al.*, 2021), puesto que, los ATS son utilizados para el ajuste osmótico y el mantenimiento del floema (Michelot-Antalik *et al.*, 2019).

En ese mismo sentido, se ha reportado que dichas concentraciones resultan influenciadas por la cantidad de agua con que dispongan los vegetales, como en el cultivo de cereza dulce (Vosnjak *et al.*, 2021), por otro lado, en especies como *C. illinoensis* las concentraciones en los órganos de los árboles, se verán modificadas según la etapa fenológica del cultivo (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2019). Sin embargo, aún es escasa la información respecto del comportamiento de las concentraciones de los ATS en los órganos de los vegetales, tomando en cuenta parámetros como la variedad o el tiempo, puesto que, las cantidades almacenadas en cada uno de los órganos de los vegetales podrían ser muy variables debido a factores diversos (Briceño-Contreras *et al.*, 2018; Koslowski, 1992). Por lo anterior, se pretende cuantificar las concentraciones de los Azúcares Totales Solubles en los órganos Raíz y Tronco de *C. illinoensis*, en las variedades Wichita y Western, en el ciclo anual productivo 2016-2017.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en la huerta experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Torreón, Coahuila, México (25° 33' 22" y 103° 22' 07"). El sitio se

caracteriza por presentar un clima seco desértico, con temperaturas y precipitaciones promedios anuales de 21 °C y 230 mm, respectivamente. Los riegos de la huerta se realizan por inundación, aplicando una lámina anual promedio de 748 mm, con agua de pozo con pH de 8.2 y conductividad eléctrica de 1480 microohmios•cm⁻¹ (INEGI, 2012). Muestras de *C. illinoensis* de las variedades Wichita y Western, fueron obtenidas de árboles adultos (40 años, aproximadamente) mediante un muestreo sistematizado (Briceño-Contreras *et al.*, 2018); de cada árbol se tomaron dos muestras por órgano (Raíz, Tronco), durante cada uno de los meses del ciclo anual productivo (julio 2016 a junio 2017). Las muestras de Raíz y Tronco fueron obtenidas, y procesadas después del muestreo de campo hasta su traslado al laboratorio según procedimientos de Briceño-Contreras *et al.* (2018), donde fueron almacenadas en un ultracongelador (Revco Value Plus® ThermoScientific® Waltham, United States) a -70 °C durante una semana, se liofilizaron (Liofilizador Labconco Freezone Triad® Freeze Dry Systems®) durante siete días a -40 °C, y se molieron hasta obtener un polvo fino (Fritsch® Pulverisette 15®).

Las concentraciones de ATS fueron determinadas mediante la metodología de Van Handel, (1968). Se colocaron 10 mg de cada muestra pesadas en una balanza analítica (PW 250 Adam® Oxford, United States) en microtubos Eppendorf de 2 mL (MCT-200-C Clear Axygen Scientific® Schwerte, Germany), luego, se les agregó 1000 µl de una solución de extracción (metanol/agua 70/30) y después de 10 minutos, se centrifugaron (Spectrafuge 16M® Labnet International, Edison, United States) a 10,000 rpm a una temperatura de 4 °C durante cinco minutos. Posteriormente, 500 µl de la solución fue extraída y colocada en tubos Eppendorf limpios previamente perforados, después, a cada muestra se agregó 1000 µm de una solución compuesta por 50 mL de H₂SO₄ y 100 mg de Antrona; se hirvieron durante 10 minutos y se dejaron enfriar a temperatura ambiente y después, la lectura de la absorbancia fue registrada (Thermo scientific® Genesys 20) a 625 nm. Cada muestra se analizó por duplicado.

Análisis estadísticos. Una prueba de Shapiro-Wilk fue realizada para determinar normalidad de los conjuntos de datos, resultaron anormales, por lo que, se realizó una transformación logarítmica. Luego, una prueba de Levene fue realizada para determinar la homocedasticidad. Se obtuvieron las estadísticas descriptivas, se realizó una comparación de medias, y se realizó el análisis estadístico ($P \leq 0.05$) mediante ANOVA

factorial para cada órgano (Raíz y Tronco), entre variedades (Wichita y Western), en cada uno de los meses del ciclo productivo (SPSS Inc, 2009).

RESULTADOS

Los resultados registrados con respecto a la concentración de ATS en el órgano Raíz de *C. illinoensis*, mostraron diferencia estadística significativa de manera individual, entre los meses del año de producción estudiados y entre las variedades ($F = 222.201$, g. l. = 1, $P = 0.000$; $F = 5.823$, g. l. = 11, $P = 0.000$, respectivamente). Así mismo, se observó interacción estadística significativa entre los dos factores (variedad-mes) y la concentración de ATS en la Raíz ($F = 8.557$, g. l. = 11, $P = 0.000$) (Cuadro 2). En la variedad Wichita se observó la mayor concentración de ATS en el mes de febrero, con un valor de $38.19 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$, y la concentración menor se observó en julio con un valor de $35.87 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$ (Cuadro 1, Figura 1).

Tab. 1. Estadísticas descriptivas de la concentración de azúcares totales solubles en el órgano **Raíz** ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ MS}$) de *C. illinoensis* de las variedades Wichita y Western, durante un ciclo de producción.

Mes	Wichita			Western		
	Medi a	Desviación típica	n	Medi a	Desviación típica	n
Julio 2016	35.87	2.03	16	35.85	2.85	16
Agosto 2016	37.27	0.69	16	34.87	0.96	16
Septiembre 2016	37.23	1.42	16	33.05	2.37	16
Octubre 2016	36.34	2.11	16	34.37	0.53	16
Noviembre 2016	37.75	0.52	16	35.82	1.86	16
Diciembre 2016	37.19	1.26	16	36.65	0.64	16
Enero 2017	37.93	0.62	16	35.66	2.78	16
Febrero 2017	38.19	0.72	16	34.75	0.96	16
Marzo 2017	37.90	0.63	16	34.90	0.83	16
Abril 2017	37.60	0.90	16	33.04	0.56	16
Mayo 2017	36.54	0.78	16	35.76	0.80	16
Junio 2017	36.36	0.70	16	35.62	1.65	16

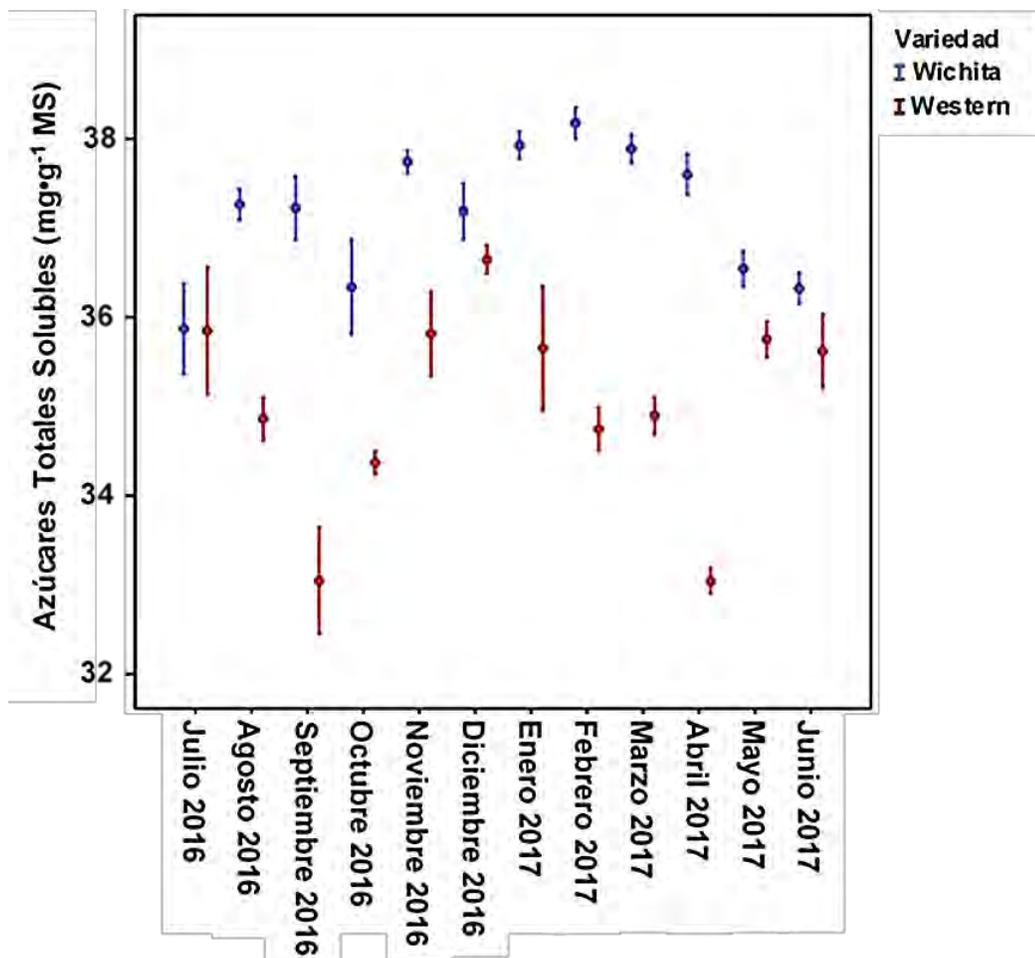


Fig. 2. Comparación de medias de la concentración de azúcares totales solubles en el órgano **Raíz** de *C. illinoensis* en las variedades Wichita y Western, en un año productivo. Las barras verticales muestran el error estándar de la media.

Tab. II. ANOVA factorial de los efectos en la interacción entre factores (Variedad-Mes) con respecto a la concentración de azúcares totales solubles en el órgano **Raíz** de *C. illinoensis*, en un ciclo de producción.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	759.567 ^a	23	33.025	16.539	.000
Intersección	500459.354	1	500459.354	250627.934	.000
Variedad	443.696	1	443.696	222.201	.000
Mes	127.912	11	11.628	5.823	.000
Variedad * Mes	187.960	11	17.087	8.557	.000
Error	718.856	360	1.997		
Total	501937.777	384			
Total corregida	1478.423	383			

Respecto de los resultados encontrados para el órgano Tronco de *C. illinoensis*, de manera individual, tanto el factor variedad, como los meses del año estudiados afectaron las concentraciones de los ATS ($F = 194.778$, g. l. = 1, $P = 0.000$; $F = 63.377$, g. l. = 1, $P = 0.000$, respectivamente). Se observó que existe interacción significativa entre la variedad y los meses del año productivo con respecto a la concentración de ATS en el órgano Tronco de *C. illinoensis* ($F = 10.400$, g. l. = 11, $P = 0.000$) (Cuadro 4). La variedad y mes donde se observaron los valores más altos de los ATS fue Wichita en el mes de diciembre con $35.20 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ MS, y los valores más bajos fueron observados en la variedad Western durante el mes de julio con un valor promedio de $20.75 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ MS (Cuadro 3, figura 2).

Tab. III. Estadísticas descriptivas de la concentración de azúcares totales solubles en el órgano **Tronco** ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) de *C. illinoensis* de las variedades Wichita y Western durante un ciclo de producción.

Mes	Wichita			Western		
	Media	Desviación típica	n	Media	Desviación típica	n
Julio 2016	24.35	4.02	16	20.75	3.62	16
Agosto 2016	35.16	0.78	16	25.01	5.40	16
Septiembre 2016	34.21	1.74	16	25.88	3.61	16
Octubre 2016	33.14	1.35	16	28.39	4.30	16
Noviembre 2016	34.05	0.95	16	32.95	2.15	16
Diciembre 2016	35.20	1.03	16	34.86	1.25	16
Enero 2017	34.11	0.85	16	29.53	3.26	16
Febrero 2017	32.37	1.86	16	29.43	1.46	16
Marzo 2017	29.82	2.36	16	28.72	2.44	16
Abril 2017	26.10	2.93	16	23.66	4.33	16
Mayo 2017	22.88	2.28	16	21.74	4.93	16
Junio 2017	30.62	3.06	16	21.93	2.11	16

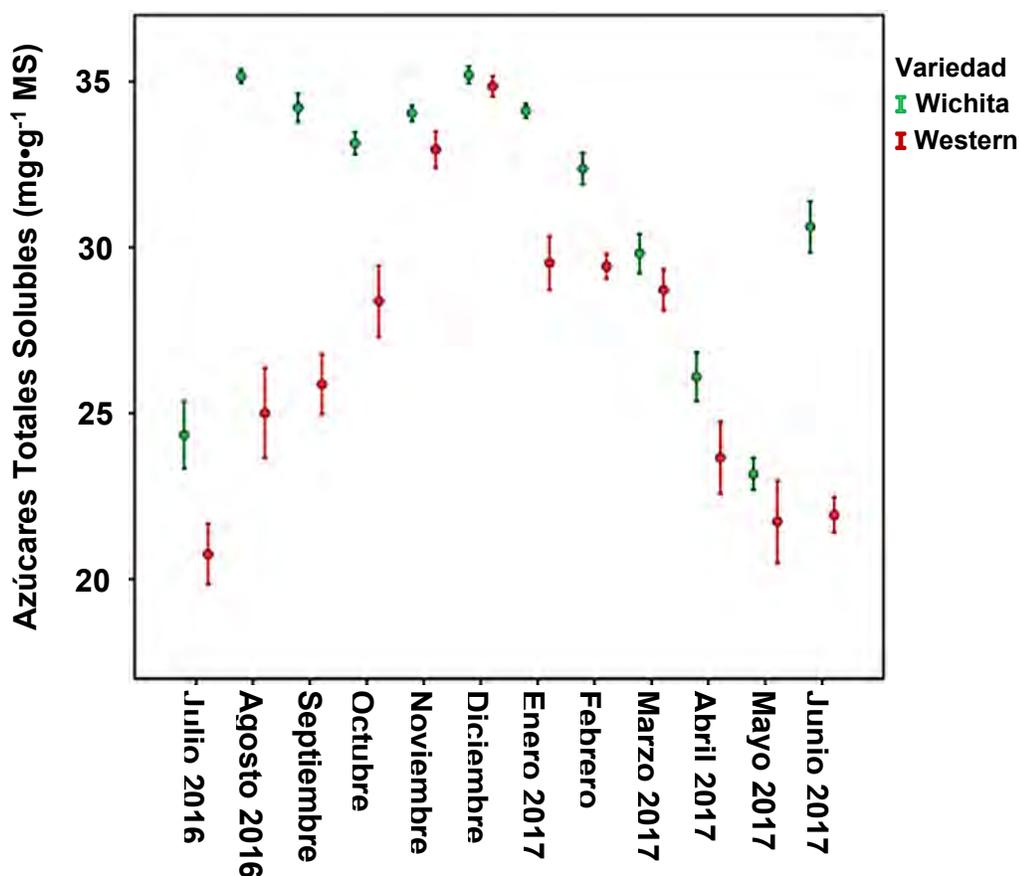


Fig. 3. Comparación de medias de la concentración de azúcares totales solubles en **Tronco** de *C. illinoensis* en las variedades Wichita y Western, en un año productivo. Las barras verticales muestran el error estándar de la media.

Tab. IV. ANOVA factorial de los efectos en la interacción de los factores (Variedad-Mes) con respecto a la concentración de azúcares totales solubles en el órgano **Tronco** de *C. illinoensis*, en un ciclo de producción.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	8429.945 ^a	23	366.519	43.753	.000
Intersección	322130.773	1	322130.773	38454.473	.000
Variedad	1631.644	1	1631.644	194.778	.000
Mes	5839.981	11	530.907	63.377	.000
Variedad * Mes	958.321	11	87.120	10.400	.000
Error	3015.698	360	8.377		
Total	333576.416	384			
Total corregida	11445.643	383			

DISCUSIÓN

El comportamiento observado de las concentraciones de los ATS en raíces y tallos de los árboles de *C. illinoensis* en los resultados, indican que pueden ser muy variables respecto del tiempo dentro de un ciclo anual de producción y considerando distintas variedades, aun estando establecidas dentro del mismo sitio. Para el año de producción en cuestión, se encontró que las concentraciones de ATS fueron más altas en los meses invernales para ambos órganos, lo que coincide con lo que comentan Liu *et al.* (2018) sobre la variabilidad de las concentraciones, que existe una fluctuación en dichas concentraciones debido a los cambios estacionales, donde los árboles tienden a modificarlas como sistema de adaptación a las condiciones de cada estación, siendo aun mayor la fluctuación en especies caducifolias que las perennes, esto debido a la situación de defoliación, y con ello, aprovechar de manera más eficiente los recursos como el agua, luz, temperatura, nutrimentos entre otros.

Así mismo, concuerda con Valenzuela-Núñez *et al.* (2019) quienes reportaron mayores cantidades de ATS en la raíz de los árboles de *C. illinoensis* en la etapa fenológica de letargo, cuando los árboles se encuentran defoliados ($43.55 \text{ mg g MS}^{-1}$) y cuando los árboles se encontraban en la etapa de producción las concentraciones disminuyeron hasta un 66 %, lo que indica que, durante los meses de un año productivo, las concentraciones de los ATS tienden a cambiar de manera significativa, en función de las condiciones de cada estación. Por otro lado, Moscardini *et al.* (2020) también encontraron que dichas concentraciones no siempre tienen el mismo comportamiento a través del tiempo, debido parcialmente a que en las especies deciduas la presencia de órganos fotosintéticos como las hojas, no es constante durante el año, por lo que, las concentraciones podrán fluctuar según su presencia en el árbol.

Yang *et al.* (2021) también observaron el mismo comportamiento de las concentraciones de ATS durante el tiempo dentro de un año en árboles de *Abies alba*, propusieron que cuando existe pérdida de follaje en los árboles, generalmente, éstos se preparan previamente almacenando mayores cantidades de reservas para poder sobrevivir cuando no hay producción de éstas, lo que según Briceño-Contreras *et al.* (2021), ocurre antes de

la etapa de floración, puesto que se previenen almacenando estos recursos y utilizarlos para el mantenimiento del árbol.

Vosnjak *et al.* (2021) registraron variación en las concentraciones de azúcares solubles en órganos del árbol de *Prunus avium* L., no fueron las mismas cantidades encontradas en distintos años de producción para un mismo órgano, lo que sugiere variabilidad debido probablemente a factores como el nivel de disponibilidad de agua para los árboles, o los desórdenes fotosintéticos, los cuales, son considerados la causa principal de inhibición de la fotosíntesis, por consiguiente, la producción de carbohidratos resulta afectado; concluyeron además, que en los frutales, las concentraciones de azúcares solubles estará determinada por la presencia de frutos. Lo que es coincidente con los resultados aquí reportados, puesto que, en los meses en que el nogal pecanero se encontraba en producción de frutos, las concentraciones de ATS fueron distintas que en los meses en que no estaban en fructificación.

Los resultados encontrados en este estudio en relación a la variabilidad de las concentraciones a través de los meses de un año, concuerda con lo reportado por Ok *et al.* (2020), quienes registraron concentraciones variables de los azúcares totales solubles en *Diospyros kaki* Thuns., en los meses de noviembre 2018 a abril 2019, donde se observaron los valores más altos en los meses con temperaturas más bajas, así mismo, de acuerdo con Turhan y Ergin, (2012), que reportaron los valores más altos durante la aclimatación, debido en parte, a que los árboles para sobrevivir entran en proceso de adaptación ante las temperaturas bajas, y posteriormente, las concentraciones vuelven a modificarse durante la desaclimatación, que es cuando la etapa de dormancia está por terminar, y las temperaturas comienzan a subir gradualmente.

En relación al comportamiento de las concentraciones de los ATS en Raíz y Tallo en las variedades consideradas en este estudio, los valores más altos se registraron en la variedad Wichita en todos los meses del año en cuestión frente a los valores observados para la variedad Western, lo que concuerda con los hallazgos de Briceño-Contreras *et al.* (2021) en los contenidos de reserva vegetativa de almidón en las mismas variedades, donde también se consideraron los mismos meses de un año productivo, siendo Wichita la variedad con las concentraciones más altas, probablemente debido a que esta variedad es

menos exigente en sus requerimientos abióticos y bióticos que la Western. De tal forma, Ok *et al.* (2020) también reportaron variabilidad en las concentraciones de los azúcares solubles entre las variedades Taishuu y Romans de caqui dulce (*Diospyros kaki* Thumb.), cuando las cuantificaron considerando las variaciones estacionales en tolerancia al frío, encontraron que entre las variedades puede haber diferentes concentraciones aun en los mismos meses del año y de acuerdo a las condiciones del medioambiente, como el frío; dichas concentraciones tienden a cambiar, en función de la capacidad de adaptación de cada especie y variedad.

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que las concentraciones de los ATS en la Raíz y Tallo de los árboles de nogal pecanero, pueden llegar a ser variables a través de los meses de un ciclo anual de producción. Así mismo, la variabilidad de dichas concentraciones para ambos órganos, puede ser significativa entre diferentes variedades, incluso, aun si están en el mismo sitio y reciben el mismo manejo agronómico. Las concentraciones más altas de ATS se presentan en los meses invernales y disminuyen en los meses posteriores, cuando las temperaturas han aumentado. La variedad Wichita presenta las concentraciones más altas de los ATS en cada uno de los meses estudiados, mientras que la variedad Western registró los valores más bajos. La interacción de los meses de un año productivo con las variedades de *C. illinoensis*, pueden influir significativamente sobre el comportamiento de las concentraciones de los ATS en las raíces y tallos.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por otorgar la beca económica durante los estudios de Doctorado. Al Dr. Ángel Lagarda Murrieta, por permitir la extracción de las muestras vegetales de la Huerta Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

LITERATURA CITADA

- ALUKO, O. O., LI, C., WANG, Q., *et al.* 2021. Sucrose Utilization for Improved Crop Yields: A Review Article. *Int J Mol Sci*, 22(9).
- BARBAROUX, C., and 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, E. A., MORENO-RESÉNDEZ, A., VALENZUELA-NÚÑEZ, L. M. *et al.* 2020. Balance de almidón en órganos perennes de *Carya illinoensis* Koch durante un ciclo productivo. *Revista Brasileira de fruticultura*. (en prensa)
- BRICEÑO-CONTRERAS, E. A., VALENZUELA-NÚÑEZ, L. M., ESPINO-CASTILLO, D. A. *et al.* 2018. Contenido de almidón en órganos de nogal (*Carya illinoensis* Koch) en dos etapas fenológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 20, 4161-4173.
- CHAPIN, S. F., SCHULZE, E.-D., Y MOONEY, H. A. 1990. The ecology and economics of storage in plants. *Annu. Rev. Ecol Syst.*, 21(423-447).
- DAVIDSON, E. A. 2019. Carbohydrate. *Encyclopedia Britannica, Inc.* [En línea]. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/carbohydrate> [Acceso: 08 de junio del 2019].
- FURZE, M. E., HUGGETT, B. A., AUBRECHT, D. M. *et al.* 2019. Whole-tree nonstructural carbohydrate storage and seasonal dynamics in five temperate species. *New Phytol*, 221(3), 1466-1477.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ JL, ORONA-CASTILLO I, GONZÁLEZ-CERVANTES G, *et al.* 2009. Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en nogal pecanero (*Carya illinoensis*). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15.
- GIUSEPPE C, FABRIZIO VAN DER WATT E and COETZER GM. 2018. Propagation of Pecan (*Carya illinoensis*): A review. *African Journal of Biotechnology*, 17, 586-605.
- HARTMANN, H., and TRUMBORE, S. 2016. Understanding the roles of nonstructural carbohydrates in forest trees - from what we can measure to what we want to know. *New Phytol*, 211(2), 386-403.
- HENNION, N., DURAND, M., VRIET, C. *et al.* 2019. Sugars en route to the roots. Transport, metabolism and storage within plant roots and towards microorganisms of the rhizosphere. *Physiol Plant*, 165(1), 44-57.
- HOCH, G., RICHTER, A., and KÖRNER, C. 2003. Non-structural carbon compounds in temperate forest trees. *Plant, Cell and Environment*, 26, 1067-1081.
- INEGI. 2012. Anuario estadístico del Estado de Coahuila de Zaragoza 2012. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Aguascalientes, México. [En línea]: Disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/anuario_multi/2012/coah/702825046583.pdf [Consulta: 18 de febrero de 2021].
- JIN, Y., LI, J., LIU, C. *et al.* 2018. Carbohydrate dynamics of three dominant species in a Chinese savanna under precipitation exclusion. *Tree Physiol*, 38(9), 1371-1383.
- KOZLOWSKI, T. T. 1992. Carbohydrate sources and Sinks in woody plants. *The Botanical Review*, 58(2), 107-222.
- LIU, W., SU, J., LI, S. *et al.* 2018. Non-structural carbohydrates regulated by season and species in the subtropical monsoon broad-leaved evergreen forest of Yunnan Province, China. *Sci Rep*, 8(1), 1083.
- LIU, X., ROBINSON, P. W., MADORE, M. A. *et al.* 1999. "Hass" Avocado Carbohydrate Fluctuations. I. Growth and Phenology. *J. AMER. Soc. Hort. Sci.*, 124(6), 671-675.
- MAGEL, E., EINIG, W., and HAMPP, R. 2000. Carbohydrates in trees. *Carbohydrate Reserves in Plants-Synthesis and Regulation* (26), 317-336.
- MARTÍNEZ-TRINIDAD, T., PLASCENCIA-ESCALANTE, F. O. and ISLAS-RODRÍGUEZ, L. 2013. Relationship between Carbohydrates and Vitality in Urban Trees. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, XIX (3), 459-468.
- MICHELOT-ANTALIK, A., GRANDA, E., FRESNEAU, C. *et al.* 2019. Evidence of a seasonal trade-off between growth and starch storage in declining beeches: assessment through stem radial increment, non-structural carbohydrates and intra-ring delta 13C. *Tree Physiol*, 39(5), 831-844.
- MOSCARDINI, D. B., SOUZA, L. T. D., MAZZAFERA, P. *et al.* 2020. Total Soluble Sugars Dynamics in Coffee Fruits Under Development. *Journal of Agricultural Science*, 12(5).

- OK, J., KIM, S. H., MA, K.-B. *et al.* 2021. Seasonal Fluctuation of Freezing Tolerance and Soluble Sugar Content in Three Sweet Persimmon Cultivars. *Horticultural Science and Technology*, 39(3), 305-313.
- ORONA-CASTILLO, I., SANGERMAN-JARQUÍN, D. M., FORTIS-HERNÁNDEZ, M. *et al.* 2013. Producción y comercialización de Nuez pecanera (*Carya illinoensis* Kosh) en el norte de Coahuila, México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.*, 4(3).
- PALLARDY, S. G. 2008. *Physiology of Woody Plants*. School of Natural Resources, University of Missouri: Columbia, Missouri.
- PÉREZ-URRIA, C. E. 2009. Fotosíntesis: Aspectos Básicos. *REDUCA (Biología). Serie Fisiología Vegetal*, 2(3), 1-47.
- PINKARD, E. A. 2018. Doing the best we can: the realities of measuring non-structural carbohydrates in trees. *Tree Physiol*, 38(12), 1761-1763.
- SIAP-SAGARPA. 2018. Cierre de la producción agrícola por cultivos en ciclos perennes 2018 modalidad riego-temporal en La Región Lagunera: Coahuila, Durango, México. [Online]. Disponible : <https://nube.SIAP.gob.mx/cienagro>.
- SMITH, M. G., MILLER, R. E., ARNDT, S. K. *et al.* 2018. Whole-tree distribution and temporal variation of non-structural carbohydrates in broadleaf evergreen trees. *Tree Physiol*, 38(4), 570-581.
- SPSS Inc. 2009. Pasw statistic for Windows, version 18.0. Chicago. USA.
- TIXIER, A., GAMBETTA, G. A., GODFREY, J. *et al.* 2019. Non-structural Carbohydrates in Dormant Woody Perennials; The Tale of Winter Survival and Spring Arrival. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2.
- TIXIER, A., OROZCO, J., ROXAS, A. A. *et al.* 2018. Diurnal Variation in Nonstructural Carbohydrate Storage in Trees: Remobilization and Vertical Mixing. *Plant Physiol*, 178(4), 1602-1613.
- TROMP, J. 1983. Nutrient reserves in roots of fruit trees, in particular carbohydrates and nitrogen. *Plant and Soil*, 71, 401-413.
- TURHAN, E., y ERGIN, S. 2012. Soluble sugars and sucrose-metabolizing enzymes related to cold acclimation of sweet cherry cultivars grafted on different rootstocks. *ScientificWorldJournal*, 2012, 979682.
- USDA. 2019. Plant Guide: PECAN *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch.
- VALENZUELA-NÚÑEZ L. M., BRICEÑO-CONTRERAS E. A., ESPARZA-RIVERA J. R. *et al.* 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.
- VALENZUELA-NÚÑEZ, L. M., MAILLARD, P., GONZÁLEZ-BARRIOS, J. L. *et al.* 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*, XIII (1), 33-38.
- VAN HANDEL, E. 1968. Direct Microdetermination of Sucrose. *Analytical Biochemistry*, 22, 280-283.
- VOSNJAK, M., MRZLIC, D., HUDINA, M. *et al.* 2021. The Effect of Water Supply on Sweet Cherry Phytochemicals in Bud, Leaf and Fruit. *Plants*, 10(6).
- YANG, Y., WANG, A., CHERUBINI, P. *et al.* 2021. Physiological and growth responses to defoliation of older needles in *Abies alba* trees grown under two light regimes. *Forest Ecology and Management*, 484.

VI. CONCLUSIÓN GENERAL

Las cantidades de azúcares totales solubles almacenados dentro de los organismos vegetales pueden llegar a ser significativamente variables durante un ciclo anual de producción, será distinto dependiendo del órgano, de la etapa fenológica en que se encuentren, así mismo, como de la variedad que se trate.

En *Carya illinoensis*, las cantidades almacenadas de azúcares totales solubles en los órganos de los árboles son variables, por ejemplo, en la etapa de dormancia la mayor acumulación se presenta en las raíces y los crecimientos nuevos, durante la etapa de diferenciación de yemas estos azúcares se concentran en mayores cantidades en raíz, hoja y frutos, de igual manera que se presenta en la etapa de floración.

Las cantidades de azúcares solubles almacenados en los tallos y en las raíces de los árboles de *C. illinoensis* fueron mayores en la variedad Wichita que en la variedad Western Schley durante cada mes del ciclo anual de producción estudiado.