

Contenido de almidón en órganos de nogal (*Carya illinoensis* Koch) en dos etapas fenológicas

Edwin Amir Briceño Contreras¹
Luis Manuel Valenzuela Núñez^{1§}
Daniel A. Espino Castillo¹
Cristina García de la Peña¹
Juan Ramón Esparza-Rivera¹
Amparo Borja de la Rosa²

¹Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad s/n. Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, México. CP. 35010. (edwinamir320@gmail.com; luisvn70@hotmail.com; daniel.alek16@hotmail.com; cristina.g.delapeña@gmail.com; jresparza02001@yahoo.com). ²Universidad Autónoma Chapingo-División de Ciencias Forestales. Chapingo, Estado de México. CP 56230 (aborja@correo.chapingo.mx).

§Autor para correspondencia: luisvn70@hotmail.com.

Resumen

El estudio se llevó a cabo en Torreón, Coahuila. con la finalidad de analizar la dinámica del almidón (mg g^{-1} MS) y su contribución al carbono total de la biomasa en los órganos perennes del nogal (*Carya illinoensis* Koch) en dos etapas fenológicas. El muestreo fue sistemático. Los resultados mostraron diferencia significativa en la concentración de almidón entre raíz ($U=7, p=0.007$) y tronco ($U=0, p=0$), pero no entre rama ($U=26, p=0.574$) y crecimiento anual ($U=31, p=0.959$). Las medias de concentración de almidón obtenidas en producción fueron: raíz= 56.22 mg g^{-1} MS, tronco= 61.52 mg g^{-1} MS, rama= 32.76 mg g^{-1} MS, crecimiento anual= 31.87 mg g^{-1} MS. En producción, el almidón se concentró en tronco ($\bar{x}=86.79 \text{ mg g}^{-1}$ MS), seguido por raíz ($\bar{x}=42.36 \text{ mg g}^{-1}$ MS) y en menor cantidad en rama ($\bar{x}=33.08 \text{ mg g}^{-1}$ MS) y crecimiento anual ($\bar{x}=31.85 \text{ mg g}^{-1}$ MS). En dormancia los resultados fueron: raíz ($\bar{x}=70.08 \text{ mg g}^{-1}$ MS), tronco ($\bar{x}=36.26 \text{ mg g}^{-1}$ MS) y en menor cantidad en rama ($\bar{x}=32.44 \text{ mg g}^{-1}$ MS) y crecimiento anual ($\bar{x}=31.89 \text{ mg g}^{-1}$ MS). El carbono total contenido en la biomasa va de 42.62 a 43.36%. La contribución del carbono del almidón representó de 1.34 al 3.64% con respecto a la biomasa total del árbol.

Palabras clave: biomasa, ciclo de C., reservas, nuez.

Recibido: enero de 2018

Aceptado: febrero de 2018

Introducción

El nogal pecanero, conocido también como nuez encarcelada (*Carya illinoensis* Koch), es un frutal caducifolio de la familia Juglandaceae (Chávez *et al.*, 2009) que alcanza una altura de 30 m y una longevidad de más de 100 años (Madero, 2000). La edad reproductiva de estos árboles comienza a partir del quinto o sexto año (Valentini *et al.*, 2010). Esta especie es nativa de México y Estados Unidos de América dominado ambos países la producción de nuez a nivel mundial (Orona *et al.*, 2007).

En el norte de México esta especie se cultiva en condiciones de riego para su aprovechamiento comercial en una superficie considerable y en regiones que presentan régimen climático de árido a semiárido (Chávez *et al.*, 2009). En México, la superficie total aproximada del nogal pecanero en condiciones de riego es de 75 mil hectáreas (García *et al.*, 2009). Los estados con mayor producción de nuez a nivel nacional son Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango y Sonora con un total de 92.36% (Orona *et al.*, 2006), particularmente los estados de Chihuahua y Coahuila en conjunto aportan 82% de la producción nacional de nuez (González *et al.*, 2014).

Las primeras plantaciones de nogal en la Comarca Lagunera fueron establecidas en 1948 (Potisek *et al.*, 2010) y actualmente el valor de la producción de nuez ocupa el primer lugar entre los frutales de la región, con un valor aproximado de 200 millones de pesos (García *et al.*, 2009), la superficie cosechada en la Comarca Lagunera en 2003 fue de 5 534 ha con una producción de 7 600 toneladas (SIAP-SAGARPA, 2015). Las variedades y proporciones cosechadas de nuez pecanera en el estado de Coahuila para el año 2006 fue: Western (50%), Wichita (33%) y otras variedades (17%). En otras variedades se incluyen las nueces criollas, Barton, Mahan, Texas, Pawnee y Cheyenne (Orona *et al.*, 2013). Los árboles urbanos, como el nogal, además de contribuir en la captura de carbono (Mexhal y Herrera, 2014) tienen efectos benéficos en la población urbana en diferentes aspectos (Donovan *et al.*, 2011; Donovan y Prestemon, 2012; Pilat *et al.*, 2012; Donovan *et al.*, 2013).

El calentamiento global es uno de los eventos que tipifican el cambio climático y para la agricultura representa una condición de extraordinaria importancia debido que el desarrollo de los cultivos se relaciona con las condiciones del clima que se presentan durante cada etapa fenológica (Gardea *et al.*, 2010). Durante el desarrollo y crecimiento de un árbol éste se encuentra sometido a un estrés constante por factores bióticos o abióticos y a su vez tiene un efecto directo sobre sus reservas de carbohidratos. Por otra parte, la concentración de carbohidratos, producto de la fotosíntesis, varía de acuerdo con las condiciones ambientales y las etapas fenológicas de los árboles (Valenzuela, 2014).

El crecimiento de los árboles es impulsado por la fotosíntesis, la cual se realiza en presencia de dióxido de carbono, agua, oxígeno y luz solar. El producto final de esta reacción química es la glucosa, un carbohidrato simple que posteriormente se asocia con la fructosa para formar un disacárido comúnmente conocido como azúcar de mesa (sacarosa) o en azúcares complejos como el almidón (Martínez *et al.*, 2013). Los carbohidratos son los productos principales de la fotosíntesis, considerados fuente de energía para el arbolado (Martínez *et al.*, 2013).

El contenido de almidón se considera el mejor indicador del nivel de carbohidratos, del estado fisiológico de los árboles y de su potencial productivo (Gamboa y Marín 2012). El movimiento de carbohidratos en el árbol depende de la relación fuente-demanda, a su vez influida por las condiciones ambientales y etapas fenológicas en el arbolado (Martínez *et al.*, 2013).

Las reservas almacenadas en las plantas pueden ser utilizadas en crecimiento y mantenimiento (Kramer y Kozlowski, 1979; Stepien *et al.* 1994; Sauter y Witt 1997). En árboles leñosos, las raíces parecen ser el órgano donde se acumula la mayor cantidad de carbohidratos de reserva en el periodo previo a la floración, que se consume en el desarrollo de flores y frutos y durante nuevos episodios de crecimiento vegetativo (Kozlowski *et al.*, 1991; Piispanen y Saranpää, 2001; Barbaroux y Bréda 2002; Hoch *et al.*, 2003). Estas reservas cambian constantemente dependiendo de la redistribución de los carbohidratos en apoyo al crecimiento (Kozlowski 1992; Gamboa y Marín, 2012).

Durante la etapa de dormancia las raíces y los tallos de los árboles caducifolios alcanzan el máximo valor de almacenamiento de reservas, el cual disminuye a partir de la brotación de yemas y las primeras etapas de crecimiento intensivo de brotes y hojas según Martínez *et al.* (2013); Valenzuela *et al.* (2011). En árboles deciduos en invierno el crecimiento de la raíz se incrementa, mientras que el de la biomasa aérea (tronco, ramas) se detiene, presentando un efecto inverso en verano (Valenzuela, 2006; Valenzuela *et al.*, 2011; Valenzuela *et al.*, 2014).

La concentración de reservas disminuye durante la etapa de crecimiento vegetativo iniciando su acumulación en los tejidos vegetales al final del verano y principios de otoño, de éstas reservas, una parte será utilizada en el proceso de respiración durante la etapa invernal, otra para el crecimiento radicular y una más para la brotación en primavera (Valenzuela *et al.*, 2014).

Dada la importancia económica del cultivo del nogal en la Comarca Lagunera, se planteó el objetivo de analizar el balance de carbohidratos en almidón (mg almidón/g MS) en diferentes órganos vegetales de nogal (*Carya illinoensis* Koch) variedad Western en dos etapas fenológicas (producción y dormancia).

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se desarrolló en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (25° 33' 22.63'' latitud norte y -103° 22 '07.77'' longitud oeste) en Torreón, Coahuila (Figura 1). El clima de la región es seco desértico con una precipitación media anual de 230 mm (IMTA, 2005) y con una altitud de 1 120 m (INEGI, 2012).

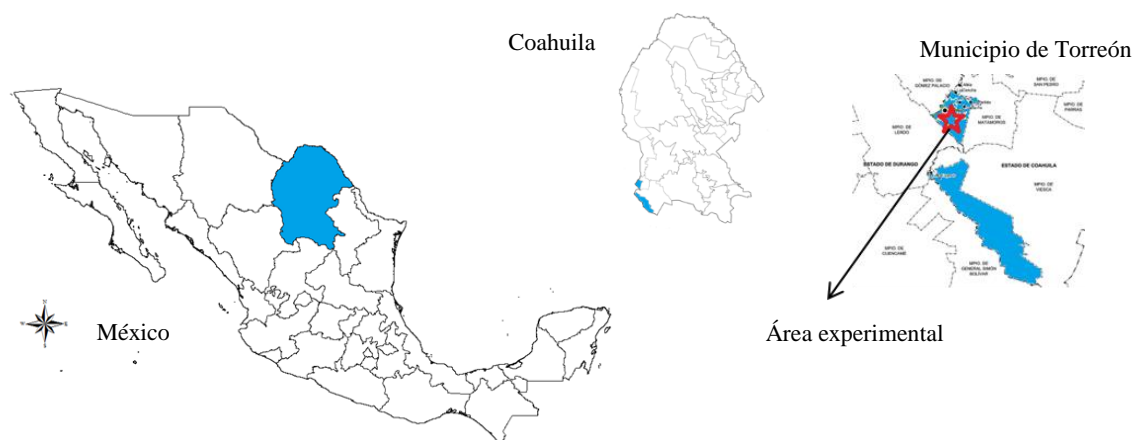


Figura 1. Localización del área experimental.

Muestreo. El muestreo fue de tipo sistemático y consistió en seleccionar los árboles y las muestras utilizando un orden establecido al azar. Para ello, se seleccionaron cuatro árboles adultos con una edad promedio de 40 años de forma intercalada en la parte media de la parcela para evitar el efecto de borde. En cada árbol se tomaron dos muestras de raíz, tronco, rama y crecimiento anual (brote emitido por el árbol el año en que se realizó el estudio). Las etapas fenológicas que se evaluaron fueron: producción (mes de agosto, cuando el árbol se encuentra en producción de frutos y el máximo crecimiento vegetativo) y dormancia (meses de diciembre y enero, cuando el árbol se encuentra completamente defoliado sin crecimiento vegetativo aéreo).

Las muestras de tronco y ramas, fueron tomadas en forma de virutas con un taladro Pressler[®], las muestras de crecimientos anuales fueron obtenidas con un serrucho convencional y para la raíz se utilizó un pico haciendo una zanja pequeña para localizar la raíz principal y extraer la muestra. Las muestras se limpiaron cuidadosamente retirando restos de suelo y se colocaron en bolsas de aluminio perforadas y etiquetadas, enseguida se congelaron en nitrógeno líquido para detener todos los procesos bioquímicos en los tejidos. Las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Ecología Forestal de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del estado de Durango.

Trabajo de laboratorio. Las muestras se almacenaron en un ultracongelador (Revco Value Plus[®] ThermoScientific[®]) a una temperatura de -70°C durante una semana para posteriormente ser sometidas a un proceso de liofilización (Liofilizador Labconco Freezone Triad[®] Freeze Dry Systems[®]) durante siete días a una temperatura de -40°C con la finalidad de deshidratar las muestras y evitar actividad enzimática. Las muestras fueron molidas en un molino de cuchillas (Fritsch[®] Pulverisette 15[®]) hasta obtener un polvo fino y se pesaron 10 mg de materia seca en microtubos (MCT-200-C Clear Axygen Scientific[®]) utilizando una balanza analítica (PW 250 Adam[®]).

Determinación de la concentración de almidón. Para determinar la concentración de almidón se agregó 1 ml de agua destilada a los microtubos conteniendo la materia seca y se colocaron en vortex (Maxi Mix II[®] Thermo Scientific[®]) durante 1 min. Posteriormente se hirvieron durante 10 min para gelatinizar el almidón. Las muestras se centrifugaron a 2 500 rpm (Spectrafuge 16M Labnet[®]) durante 2 min, se extrajeron 300 μl del sobrenadante y se colocaron en microtubos limpios. Enseguida, se añadieron 900 μl de etanol absoluto y se centrifugaron a 10 000 rpm durante cinco minutos para precipitar el almidón. Se vació el alcohol del microtubo dejando solamente el almidón precipitado al fondo y se añadió 1 ml de agua destilada. Los microtubos se colocaron en el vortex durante tres minutos y se añadió a cada uno 50 μl de solución de yodo. Finalmente, se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-Visible a 595 nm (Genesys 20[®] Thermo Scientific[®]), usando como testigo 1 ml de agua destilada y 50 μl de yodo con almidón de arroz como estándar (Sigma-Aldrich[®]).

Estimación de la biomasa de los árboles. Para convertir las concentraciones de almidón en la madera de las muestras a nivel árbol, se estimó la biomasa de cada árbol. Barbaroux (2002) demostró que el duramen no contiene ningún tipo de reservas y en dado caso de existir, no se remobilizan, puesto que está constituido de células muertas. La longitud de la albura se midió directamente en las virutas de madera muestreada. La albura del nogal es visualmente reconocible por su color más claro y la ausencia de grandes vasos en la madera temprana. En ramas y raíces, no se visualizó madera correspondiente a duramen, porque se considera que la madera era la albura. Para calcular el volumen de cada órgano de los árboles, se utilizaron valores de densidad de la madera determinados para nogal por el INTI CITEMA (2003) y utilizando las ecuaciones alométricas en *Carya* (Rodríguez *et al.*, 2006). La biomasa de raíces se determinó con la metodología de Drexhage *et al.* (1999).

$$[1] \log(\text{biomasa de raíz kg}) = -1.56 + 2.44 * \log(\text{diámetro})$$

La biomasa de ramas se estimó por diferencia entre la biomasa total del árbol [2] y la biomasa del tronco [3] de acuerdo con Brucciamacchie (1982):

$$[2] \text{ biomasa total del árbol (g)} = -484.7 * \text{Diam}_{1.30} * 414.4 * (\text{Diam}_{1.30})^2; [3] \text{ biomasa del tronco (g)} = -320.9 * \text{Diam}_{1.30} * 332.2 * (\text{Diam}_{1.30})^2; \text{ biomasa de ramas (g)} = [1] - [2]$$

Determinación del C-total. La determinación del carbono total en las muestras se llevó a cabo mediante los procedimientos establecidos en la ASTM D02-84R07: Test Method for Ash in Wood.

Contribución del almidón al C-total. El contenido de almidón se convirtió en mg de C g⁻¹ de MS con la finalidad de estimar la contribución del almidón al C total usando el factor de conversión derivado de la masa molecular de la glucosa, que corresponde a 0.4 g de C g⁻¹ de glucosa (Valenzuela, 2006).

Análisis estadístico

Para comparar las concentraciones de almidón entre los distintos órganos perennes del nogal se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis, en caso de observarse diferencia significativa se empleó la prueba de comparación múltiple de medias de Conover. Asimismo, para probar diferencia significativa entre etapas fenológicas se utilizó la prueba de Mann-Whitney. Estas pruebas se consideraron significativas a un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

Resultados y discusión

Concentración de almidón en órganos perennes

Los resultados obtenidos en la etapa de producción mostraron que el almidón se concentró significativamente en el tronco ($\bar{x} = 86.79$ mg almidón g⁻¹ MS), seguido por la raíz ($\bar{x} = 42.36$ mg almidón g⁻¹ MS) y en menor cantidad en rama ($\bar{x} = 33.08$ mg almidón g⁻¹ MS) y crecimiento anual ($\bar{x} = 31.85$ mg almidón g⁻¹ MS), $H = 22.92$, $Gl = 3$, $p < 0.001$ (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas de la concentración de almidón (mg g⁻¹ MS) de los órganos perennes de nogal raíz (R), tronco (T), rama (RM) y crecimiento anual (CA) en la etapa fenológica de producción.

Variables	Producción			
	R	T	RM	CA
N	8	8	8	8
Media	42.36	86.79	33.08	31.86
Error típico de la media	2.94	10.47	0.93	0.51
Desviación típica	8.31	29.61	2.63	1.44
Mínimo	31.86	64.01	30.89	29.51
Máximo	53.85	153.79	38.73	34.2

Cuadro 2. Prueba de Kruskal-Wallis para la comparación en la concentración de almidón (mg g⁻¹ MS) entre órganos perennes en nogal en la etapa fenológica de producción.

Prueba de Kruskal-Wallis		22.9205
Gl		3
<i>p</i>		0.000042
Órganos perennes	Media (mg g ⁻¹ almidón)	Grupos homogéneos
Tronco	87.7925	A
Raíz	42.3688	B
Rama	33.0863	C
Crecimiento anual	31.86	C

En la etapa de dormancia se observó un efecto inverso en raíz y tronco con respecto a la etapa de producción, ya que el almidón se concentró significativamente en la raíz (\bar{x} = 70.08 mg almidón g⁻¹ MS), seguido por tronco (\bar{x} = 36.26 mg almidón g⁻¹ MS) y en menor cantidad en rama (\bar{x} = 32.44 mg almidón g⁻¹ MS) y crecimiento anual (\bar{x} = 31.89 mg almidón g⁻¹ MS), (H= 20.5, Gl= 3, $p < 0.001$ (Cuadro 3 y 4).

Cuadro 3. Estadísticas descriptivas de la concentración de almidón (mg g⁻¹ MS) de los órganos perennes de nogal raíz (R), tronco (T), rama (RM) y crecimiento anual (CA) en la etapa fenológica de dormancia.

Variables	Dormancia			
	R	T	RM	CA
N	8	8	8	8
Media	70.08	36.26	32.44	31.89
Error típico de la media	7.79	1.85	1.26	0.83
Desviación típica	22.05	5.25	3.58	2.35
Mínimo	40.79	32.06	29.12	29.26
Máximo	100.3	48.75	39.39	36.07

Los análisis de la concentración de almidón en los órganos perennes de nogal entre las dos etapas fenológicas de producción y dormancia mostraron diferencia significativa en la raíz (U= 7, $p = 0.007$) y el tronco (U= 0, $p < 0.001$), mientras que en la rama (U= 26, $p = 0.574$) y el crecimiento anual (U= 31, $p = 0.959$) no se observó diferencia significativa entre ambas etapas (Figura 2).

Cuadro 4. Prueba de Kruskal-Wallis para la comparación en la concentración de almidón (mg g⁻¹ MS) entre órganos perennes en nogal en la etapa fenológica de dormancia.

Prueba de Kruskal-Wallis		20.5028
Gl		3
<i>p</i>		0.000134
Órganos perennes	Media	Grupos homogéneos
Raíz	70.0825	A
Tronco	36.2613	B
Rama	32.4488	C
Crecimiento anual	31.8925	C

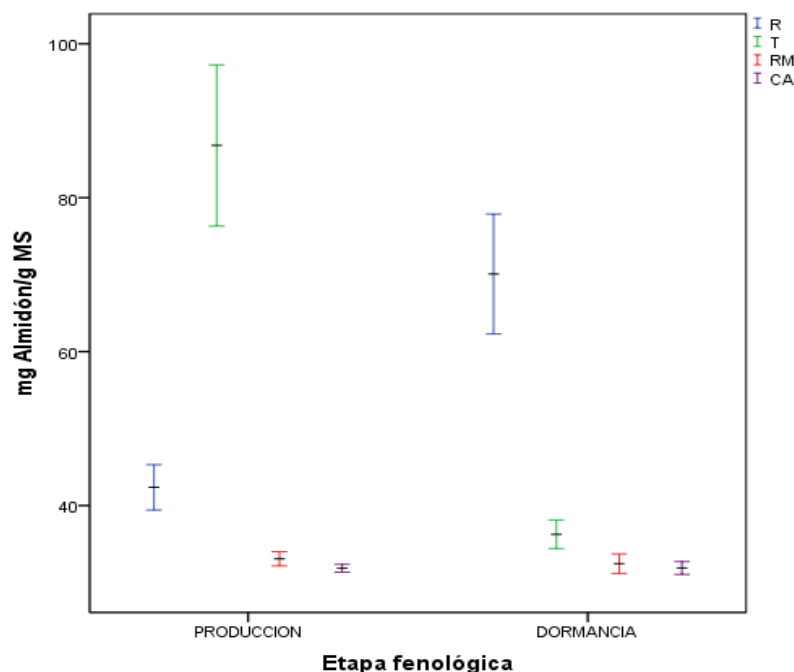


Figura 2. Comparación entre las medias de la concentración de almidón (mg g^{-1} MS) de los órganos perennes de nogal en dos etapas fenológicas (producción y dormancia). Raíz (R), tronco (T), rama (RM), crecimiento anual (CA). Las barras verticales muestran el error típico de la media.

Según Kozłowski *et al.* (1991) en árboles leñosos, las raíces parecen ser el órgano donde se acumula la mayor cantidad de carbohidratos de reserva en el periodo previo al máximo, que se consumen en el desarrollo de nuevos tejidos. Los resultados en este estudio mostraron que es en el tronco donde se acumula la mayor cantidad de almidón durante la etapa fenológica de producción ($\bar{x} = 86.79 \text{ mg almidón g}^{-1} \text{ MS}$) seguido por la raíz ($\bar{x} = 42.36 \text{ mg almidón g}^{-1} \text{ MS}$), que es cuando el árbol está en su punto más alto de producción de fruto.

Con respecto a la etapa fenológica de dormancia, según Martínez *et al.* (2013); Valenzuela *et al.* (2011) durante la etapa de dormancia las raíces y los tallos de los árboles caducifolios alcanzan el máximo valor de almacenamiento de reservas, siendo la raíz la que presenta mayor acumulación, lo que coincide con los resultados encontrados por Rodríguez *et al.* (2002); Navarro-Cerrillo y Calvo (2003); Sanz-Pérez *et al.* (2004); Valenzuela (2006); Gamboa y Marín (2012). Además, Kozłowski *et al.* (1992) refieren que es en la raíz donde se acumula la mayor cantidad de carbohidratos de reserva en el período previo al crecimiento vegetativo, Valenzuela *et al.* (2011) reporta una concentración de almidón significativamente mayor en la raíz con respecto al resto de los órganos en árboles caducifolios en la etapa de dormancia. Los resultados observados en el presente estudio coinciden con lo anterior, ya que la raíz alcanzó el máximo valor de almacenamiento de reservas ($\bar{x} = 70.08 \text{ mg almidón g}^{-1} \text{ MS}$) y en menor proporción el crecimiento anual ($\bar{x} = 31.89 \text{ mg almidón g}^{-1} \text{ MS}$). La raíz fue el órgano de almacenamiento de almidón más importante de acuerdo con lo reportado por Lacoïnte (2001); Ludovici *et al.* (2002) en estudios realizados en árboles.

En este estudio se pudo constatar que en las dos etapas fenológicas la acumulación de almidón se dio en mayor proporción en raíz y tronco, lo que evidencia un almacenamiento de almidón de forma equilibrada que impide el taponamiento que evitaría el transporte de otros elementos como los azúcares y aminoácidos para acumularse en la etapa invernal, puesto que la acumulación del almidón se lleva a cabo en la proximidad de las células cercanas a los vasos del xilema (Tromp, 1983; Fisher y Höll, 1992; Sauter y Van Cleve, 1994) y permite un transporte rápido al momento de la brotación.

Esto también puede indicar que este crecimiento se lleva a cabo durante la etapa de producción, mientras que el crecimiento radicular se lleva a cabo en la etapa de reposo como lo reporta Valenzuela (2006); Valenzuela *et al.* (2011); Valenzuela *et al.* (2014). Este patrón de crecimiento y de reactivación de los tejidos en diferentes etapas fenológicas es comportamiento muy común de especies de madera porosa (Zimmermann *et al.*, 1971) como es el caso del nogal (González *et al.*, 2014).

Durante la etapa de dormancia, los árboles permanecen defoliados y el crecimiento depende exclusivamente de las reservas almacenadas, en latitudes como en las que se encuentra la Comarca Lagunera, la etapa de dormancia se caracteriza por una disminución del fotoperíodo y de la temperatura ambiental, como consecuencia los árboles entran en un período de dormancia, que es precedido durante los períodos de temperaturas altas con la finalidad de que el árbol pueda retomar sin problema el rebrote en primavera (Rowland y Arora, 1997; El Zein *et al.*, 2011). Durante este período el C se almacena en forma de almidón y azúcares solubles (Kozłowski y Pallardy, 2002).

Los resultados en este estudio muestran una concentración de almidón más elevada en raíz en relación al tronco en dormancia, mientras que en tronco se observó un efecto inverso, esto pudiera explicarse al hecho de que en regiones con estaciones climáticas marcadas en las que el invierno presenta temperaturas cercanas al punto de congelación en ciertas horas del día aunque sean pocas, pueden causar daños celulares irreversibles en especies que no están adaptadas a estas condiciones (Repo *et al.*, 2008) y como consecuencia los árboles adaptados han desarrollado mecanismos para evitar el daño de los tejidos por bajas temperaturas, en lo que se refiere al almidón, Kramer y Kosłowski (1979); Piispanen y Saranpää (2001); Poirier *et al.* (2010); El Zein *et al.* (2011) observaron que se transforma en azúcares solubles como una respuesta en estas condiciones.

Contribución del C-almidón al C-total en la biomasa a nivel árbol

El peso seco en kg de la biomasa total de los cuatro árboles muestreados por órganos perennes se presenta en la Cuadro 5.

Cuadro 5. Biomasa total (peso seco en kg) de cuatro árboles calculadas mediante los modelos de Drexhage *et al.* (1999); Brucciamachie (1982) en el sitio experimental.

Características	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
Biomasa del tronco (kg)	281.56	234.39	521.31	425.61
Biomasa de ramas (kg)	67.17	55.72	125.61	102.25
Biomasa de raíces (kg)	107.14	86	224.74	176.03
Biomasa total del árbol (kg)	408.85	337.19	783.19	632.01

La contribución del C-total a la biomasa total en peso seco de los cuatro árboles y la cantidad expresada en porcentaje del C-total, así como del C-almidón en las dos etapas fenológicas obtenidos para cada uno de los árboles muestreados se presentan en la Figura 3.

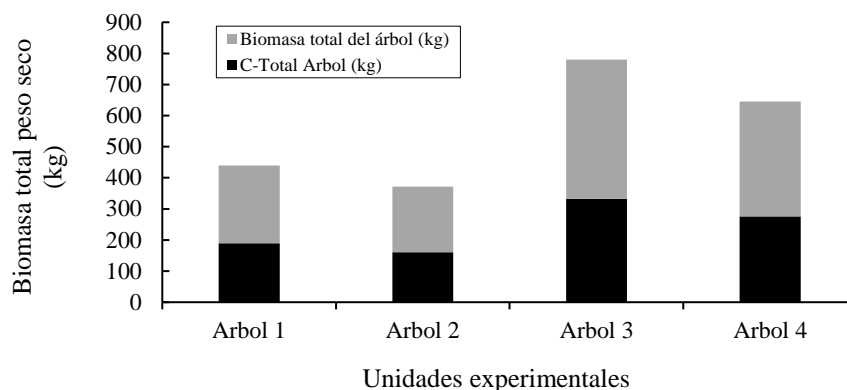


Figura 3. Contribución del carbono total a la biomasa de cuatro árboles de nogal en la parcela experimental de la UAAAN-UL en Torreón, Coahuila.

El carbono total contenido en la biomasa encontrado en este estudio va del 42.62 al 43.36% y coincide con los datos obtenidos por Figueroa (2001); Gayoso y Guerra (2005); Pimienta *et al.*, (2007); Vigil (2010); Valenzuela *et al.* (2011); Calderón-Reyes y Solís-Urbina (2012) para árboles. Estos datos son un punto de partida desde el punto de vista de servicios ambientales (Mexhal y Herrera, 2014). La contribución del carbono proveniente del almidón en el nogal representa un 1.34 al 3.64% con respecto a la biomasa total del árbol según Barbaroux *et al.* (2003); Valenzuela *et al.*, (2011); Hoch *et al.* (2003); Damesin y Lelarge (2003).

Conclusiones

Los órganos perennes en nogal que presentaron variación en la acumulación del almidón fueron la raíz y el tronco, presentando dichos órganos un comportamiento inverso en concentración dependiendo de la etapa fenológica. El nogal presentó un comportamiento en la distribución del almidón y del carbono total y del carbono proveniente del almidón dentro de los órganos perennes similar al de otras especies deciduas, tanto forestales como frutales y que presentan madera porosa. La raíz resulta ser el órgano que presenta mayor concentración en almidón durante la etapa fisiológica de dormancia o reposo invernal, esto se puede explicar al crecimiento de este órgano durante esta etapa vegetativa, mientras que el tronco presenta una mayor concentración en la etapa fenológica de producción, puesto que es en esta etapa cuando se presenta el crecimiento en diámetro, un comportamiento propio de las especies deciduas.

Literatura citada

Barbaroux, C. 2002. Analyse et modélisation des flux de carbone de peuplements forestiers pour la compréhension de la croissance de 2 espèces feuillues *Q. petraea* et *F. sylvatica*. Thèse de Doctorat, Université de Paris XI - Orsay. 183 p.

- 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 Physiol.* 22(17):1201-1210.
- Barbaroux, C.; Bréda, N. and Dufrêne, E. 2003. Distribution of above-ground and below-ground carbohydrate reserves in adult trees of two contrasting broad-leaved species (*Quercus petraea* and *Fagus sylvatica*). *New Phytologist.* 157(3):605-615.
- Bruciamacchie, M. 1982. Structure, croissance et biomasse des régénérations naturelles de chêne rouvre (*Quercus petraea* Liebl.). Mémoire ENITEF. 45 p.
- Calderón-Reyes, D. A. y Solís-Urbina, D. E. 2012. Cuantificación del carbono almacenado en tres fincas en tres estados de desarrollo del bosque de pino (*Pinus oocarpa* L.) Dipilto, Nueva Segovia, Nicaragua. Tesis Profesional. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. 64 p.
- Chávez, E. J. J.; González, L.; Valenzuela, N.; Potisek, T. Ma. C. y González, C. G. 2009. Morfología, índice y densidad estomática en plántulas de nogal pecanero cultivadas bajo tres niveles de radiación solar. *Agrofaz.* 9(3):85-90.
- Damesin, C. and Lelarge, C. 2003. Carbon isotope composition of current-year shoots from *Fagus sylvatica* in relation to growth, respiration and use of reserves. *Plant Cell Environ.* 26(2):207-219.
- Donovan, G. H.; Michael, Y. L.; Butry, D. T.; Sullivan, A. D. and Chase, J. M. 2011. Urban trees and the risk of poor birth outcomes. *Health Place.* 17(1):390-393.
- Donovan, G. H. and Prestemon, J. P. 2012. The effect of trees on crime in Portland, Oregon. *Environ. Behavior.* 44(1):3-30.
- Donovan, G. H.; Butry, D. T.; Michael, Y. L.; Prestemon, J. P.; Liebhold, A. M.; Gatzliolis, D. and Mao, M. Y. 2013. The relationship between trees and human health. Evidence from the spread of the Emerald Ash Borer. *Am. J. Prev. Med.* 44(2):139-145.
- Drexhage, M.; Chauvière, M.; Colin, F. and Nielsen, C. 1999. Development of structural root architecture and allometry of *Quercus petraea*. *Can. J. Forest Res.* 29(5):600-608.
- El Zein, R.; Maillard, P.; Bréda, N.; Marchand, J.; Montpied, P. and Gérant, 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.
- Figueroa, N. C. M. 2001. Comparación de la concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación en la Sierra Norte de Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 101 p.
- Fisher, C. and Höll, W. 1992. Food reserves in of scots pine (*Pinus sylvestris* L.). II seasonal changes in the carbohydrate and fat reserves in of pine needles. *Trees.* 6(1):147-155.
- Gamboa, J. y Marín, W. 2012. Fenología, producción y contenido de almidón en árboles de mango en Guanacastle, Costa Rica. *Agron. Mesoam.* 23(1):81-91.
- García, J. L.; Orona, I.; González, G.; Valdéz, R. C.; Murillo, A. B.; Troyo, E.; Fortis, M. y Segura, M. A. 2009. Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en nogal pecanero (*Carya illinoensis*). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 15(2):141-147.
- Gardea, A.; Orozco, J. y Romo, A. 2010. Efecto del cambio climático en el cultivo del nogal pecanero. XI Simposio Internacional De Nogal Pecanero 2010. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas AC. Memoria Científica 1. 45-47 pp.
- Gayoso, A. J. y Guerra, C. J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque.* 26(2):33-38.

- González, G.; González, J. J.; Potisek, Ma. C.; Valenzuela, L. y López, A. 2014. Crecimiento radial de madera de nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) bajo diferentes láminas de riego. Rev. Chapingo Ser. Zonas Áridas. 13(1):9-13.
- Hoch, G.; Richter, A. and Korner, C. 2003. Non-structural carbon compounds in temperate forest trees. Plant, Cell Environ. 26(7):1067-1081.
- IMTA. 2005. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Extractor rápido de información climatológica Versión 2.0. (ERIC 2.0). Software. IMTA. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- INTI-CITEMA. 2003. Instituto Nacional de Tecnología Industrial-Centro de Investigación y Desarrollo de la Industria de la Madera y Afines. Catálogo de densidad de maderas por nombre científico. Buenos Aires, Argentina. 8 p.
- INEGI. 2012. Anuario estadístico del estado de Coahuila de Zaragoza. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes. México. 490 p.
- Kozlowski, T. T.; Kramer, P. J. and Pallardy, S. G. 1991. The physiological ecology of woody plants. San Diego, California, Academic Press, Inc. 657 p.
- Kozlowski, T. T. 1992. Carbohydrate sources and sinks in woody plants. Bot. Rev. 58(1):107-222.
- Kozlowski, T. T. and Pallardy, S. G. 2002. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. Bot. Rev. 68:270-234.
- Kramer, P. J. and Koslowski T. T. 1979. Physiology of woody plants. Academic Press, London. 811 p.
- Lachaud, S. et Bonnemain, J. L. 1981. Xylogenèse chez les dicotylédones arborescentes. I. Modalités de la remise en activité du cambium et de la xylogenèse chez les Hêtres et les Chênes âgés. Canadian J. Bot. 59(7):1222-1230.
- Lacointe, A. 2001. Gestion et dynamique inter-annuelle des reserves. Premiers Rencontres d'Ecophysiologie de l'Arbre. Ecole thématique (INRA). Autrans. 16-19.
- López, S. P. y Arreola, A. J. 2008. Efecto del despunte en verde en la producción de rebrotes laterales en brotes de nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch). Revista Chapingo Serie Zonas Aridas. 7(1):57-64.
- Ludovici, K. H.; Allen, H. L.; Albaugh, T. J. and Dougherty, P. M. 2002. The influence of nutrient and water availability on carbohydrate storage in loblolly pine. Forest Ecol. Manag. 159(3):261-270.
- Madero, E. 2000. La nuez de pecán. Programa de estudios fenológicos - proyecto PROPECÁN-INTA Delta 2000. Idia XXI. 78-82 p.
- Martínez, T.; Plascencia, F. e Islas, L. 2013. La relación entre los carbohidratos y la vitalidad en árboles urbanos. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Rev. Chapingo Ser. Cienc. For. Amb. 19(3):459-468.
- Mexhal, J. H. y Herrera, E. 2014. Servicios ambientales de árboles: énfasis en la industria del nogal pecanero. Tecnociencia Chihuahua 8(1):39-45.
- Navarro-Cerrillo, R. M. y Calvo, J. 2003. Efecto de la fertilización de crecimiento con N sobre la arquitectura y el contenido de almidón en la raíz de brinzales de *Pinus halepensis* Mill., *Pinus pinaster* Aiton y *Pinus pinea* L. SCIENTIA gerundensis. 26(1):29-39.
- Orona, I.; Espinoza, J.; González, G.; Murillo, B.; García, J. y Santamaría, J. 2007. Aspectos técnicos y socioeconómicos de la producción de nuez (*Carya iilinoensis*) en la Comarca Lagunera. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Rev. Mex. Agron. Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria AC. México. 11(20):299-307.

- Orona, I.; Espinoza, J.; González, G.; Murillo, B.; García, J. y Santamaría, J. 2006. Aspectos técnicos y socioeconómicos de la producción de nuez (*Carya illinoensis* Koch.) en la Comarca Lagunera, México. *Agric. Téc. Méx.* 32(3):295-301.
- Orona, I.; Sangerman-Jarquín, D.; Fortis, M.; Vázquez, C. y Gallegos, M. 2013. Producción y comercialización de nuez pecanera (*Carya illinoensis* Koch) en el norte de Coahuila, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(3):461-476.
- Piispanen, R. and Saranpää, P. 2001. Variation of non-structural carbohydrates in silver birch (*Betula pendula* Roth) wood. *Trees* 15(1):444-451.
- Pilat, M. A.; McFarland, A.; Snelgrove, K.; Collins, T. M. Waliczek, M. and Zajicek, J. 2012. The effect of tree cover and vegetation on incidence of childhood asthma in metropolitan statistical areas of Texas. *HortTechnol.* 22(1):631-637.
- Pimienta, T.; Domínguez, D. J.; Aguirre, C. C. G.; Hernández, F. O. y Jiménez, P. J. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13(1):35-46.
- Poirier, M.; Lacoite, A. and Améglio, T. 2010. A semi-physiological model of cold hardening and dehardening in walnut stem. *Tree Physiol.* 30(12):1555-1569.
- Potisek, Ma. C.; González, G.; Valenzuela, N.; González, J. J. y Velásquez, M. 2010. Respuesta del desarrollo y calidad de plantas de nogal pecanero a la fertilización nitrogenada bajo condiciones de invernadero. *Agrofaz.* 10(3):191-197.
- Piispanen, R. and Saranpää, P. 2001. Variation of non-structural carbohydrates in silver birch (*Betula pendula* Roth) wood. *Trees* 15:444-451.
- Repo, T.; Mononen, K.; Alvila, T.; Pakkanen, T. and Hänninen, H. 2008. Cold acclimation of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) at its northernmost distribution range. *Env. Exp. Bot.* 63(1):59-70.
- Rodríguez-Trejo, D. A.; Duryea, M. L. y White, T. L. 2002. Fertilización nitrogenada y concentración de carbohidratos en plántulas de *Pinus palustris* Mill. producidas a raíz desnuda. *Agrociencia.* 36(6):683-691.
- Rodríguez, R.; Jiménez, J.; Aguirre, O.; Treviño, E. y Treviño, E. 2006. Estimación de carbono almacenado de niebla en Tamaulipas, Méx. *Ciencia UANL.* 9(2):179-188.
- Rowland, L. J. and Arora, R. 1997. Proteins related to endodormancy (rest) in woody perennials. *Plant Sci.* 126(1):119-114.
- Sanz-Pérez, V.; Castro-Diez, P. y Valladares, F. 2004. Efectos de la disponibilidad de agua y nutrientes en el patrón de acumulación de carbohidratos en plántulas de tres especies de *Quercus*. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 20(1):129-134.
- Sauter, J. J. and van Cleve, B. 1994. Storage, mobilization and interrelations of starch, sugars, protein and fat in the ray storage tissue of poplar trees. *Trees* 8(1):297-304.
- Sauter, J. J. and Witt, W. 1997. Structure and function of rays: storage, mobilisation, transport. *In: trees - contribution to modern tree physiology.* Edité par Eschrich W, Ziegler H. Bachuys Publishers, Leiden, The Netherlands. 177-195 pp.
- SIAP-SAGARPA. 2015. Cierre de la producción agrícola por cultivo en ciclos perennes 2015 modalidad riego en la Región Lagunera: Coahuila-Durango, México. <http://infosiap.siap.gob.mx/agricola-siap-gb/identidad/index.jsp>.
- Stepien, V.; Sauter, J. J. and Martin, F. 1994. Vegetative storage proteins in woody plants. *Plant Physiol. Biochem.* 32(1):185-192.
- Tromp, J. 1983. Nutrient reserves in roots of fruit trees, in particular carbohydrates and nitrogen. *Plant and Soil* 71(1):401-413.

- Valentini, G.; Daorden, Ma. E. y Arroyo, L. 2010. Características de variedades de nogal Pecán en evaluación en la EEA San Pedro. Estación Experimental Agropecuaria San Pedro. 1-30 pp.
- Valenzuela, L. 2006. Comparaison interspécifique de la dynamique saisonnière de composés azotés et carbonés chez le chêne sessile (*Quercus petraea* Matt. Liebl), le chêne pédonculé (*Quercus robur* L.) et le hêtre (*Fagus sylvatica* L.) aux stades juvéniles et adultes: Effet de la défoliation et de la lumière sur la gestion des réserves. Tesis Doctoral. 132 p.
- Valenzuela, N. L. M.; Gérant, D.; Maillard, P.; Bréda, N. J. J.; González, C. G. and Sánchez, C. I. 2011. Evidence for a 26kDA vegetative storage protein in the stem sapwood of mature pedunculate oak. *Interciencia*. 36(2):142-147.
- Valenzuela, L.; Maillard, P.; González, J. y González, G. 2014. Balance de carbohidratos en diferentes compartimentos vegetales de encino (*Quercus petraea*) y haya (*Fagus sylvatica*), sometidos a defoliación y sombra. *Rev. Chapingo Ser. Zonas Aridas*. 13(1):33-38.
- Vigil N., N. 2010. Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl. en el Campo Forestal Experimental “Las Cruces”, Texcoco, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 61 p.
- Zimmermann, M. H. and Brown, C. L. 1971. *Trees, structure and function*. Springer-Verlag, New York. 169-220 pp.