

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



DINÁMICA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN NOGAL
(*Carya illinoensis*) EN DOS VARIEDADES: WESTERN Y WICHITA
EN UN CICLO DE PRODUCCIÓN

Tesis

Que presenta JOSÉ NICOLÁS GARCÍA RAMÍREZ
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Torreón, Coahuila

Diciembre 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



DINÁMICA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN NOGAL (*Carya illinoensis*) EN DOS VARIEDADES: WESTERN Y WICHITA EN UN CICLO DE PRODUCCIÓN

Tesis

Que presenta JOSÉ NICOLÁS GARCÍA RAMÍREZ
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Director UAAAN

PhD. Luis Manuel Valenzuela Núñez
Director externo

Torreón, Coahuila

Diciembre 2022

DINÁMICA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN NOGAL (*Carya illinoensis*) EN DOS VARIEDADES: WESTERN Y WICHITA EN UN CICLO DE PRODUCCIÓN

Tesis

Elaborada por JOSÉ NICOLÁS GARCÍA RAMÍREZ como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



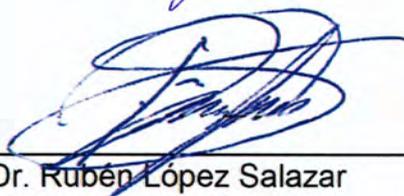
Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Director de Tesis



Dr. Luis Manuel Valenzuela Núñez
Asesor



Dra. Viridiana Contreras Villarreal
Asesor



Dr. Rubén López Salazar
Asesor



Dr. Edwin Amir Briceno Contreras
Asesor



Dra. Dalia I. Carrillo Moreno
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

A mi **Dios**, por permitirme concluir satisfactoriamente una meta en mi vida

A mi **familia**, por siempre brindarme su apoyo incondicional en cada proyecto que me propongo, así como darme esa motivación para poder realizarlo.

Al programa de **Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria**, permitirme ser parte de su comunidad universitaria para poder realizar mi maestría, brindándome los conocimientos y así como las herramientas para poder adquirir los conocimientos durante mis estudios.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACyT**), por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de maestría.

A la **Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno**, mi asesora principal y maestra agradezco la oportunidad que me brindo para pertenecer como su asesorado quien siempre me brindo se apoyó y disponibilidad para realización mis estudios.

Al **Dr. Luis Manuel Valenzuela Núñez** mi asesor externo por siempre brindarme su confianza, su apoyo durante la realización de mis análisis bioquímicos brindándome un espacio en el laboratorio a su cargo, le agradezco su amistad, así como la motivación que siempre ha brindado para poder concluir esta meta de manera satisfactoria.

A la **Dra. Viridiana Contreras Villareal** por ser de mi comité, así como orientarme durante mis estudios de maestría

Al Dr. **Edwin Amir Briceño Contreras** por orientarme durante realización de los análisis bioquímicos

A la **Sra. Aurelia Nájera Cruz** por siempre tener la disponibilidad para orientarme durante mis estudios de posgrado.

DEDICATORIA

A **mis padres** quienes son parte fundamental en mi vida quienes siempre me han apoyado en cada proyecto de vida, dando la motivación y las ganas para cada ser mejor y dar lo mejor en cada momento para poder lograrlo.

A **mi novia** por siempre estar presente en cada proyecto y brindándome su apoyo incondicional.

A **mis hermanos** agradezco por siempre estar a mi lado alegarme mis días, brindándome su apoyo y cariño incondicional.

A **mi sobrino** por ser esa personita tan especial llena de alegría y energía positiva.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
3.1 Reservas vegetativas	3
3.2 Reservas de carbohidratos.....	3
3.3 Reservas de compuestos nitrogenados	3
3.4 Nogal <i>Carya illinoensis</i> (Wangenh) K. Koch.....	4
3.4.1 Características y generalidades.....	4
3.5 Producción de nuez en la Comarca Lagunera	5
3.6 Importancia del nitrógeno en frutales	6
3.7 Trabajos enfocados en la estacionalidad de los compuestos nitrogenados	7
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	8
4.1 Muestreo	8
4.2 Determinación de proteínas totales solubles.....	9
4.3 Determinación de aminoácidos totales solubles.....	10
4.4 Análisis estadístico.....	11
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	11
VI. CONCLUSIONES.....	18
VII. LITERATURA CITADA.....	19

ÍNDICE CUADROS

Cuadro 1. Prueba efectos de inter-sujetos en concentración PTS en raíz de nogal	12
Cuadro 2. Prueba efectos de inter-sujetos en concentración PTS en tallo de nogal	12
Cuadro 3. Prueba efectos de inter-sujetos en concentración ATS en raíz de nogal	14
Cuadro 4. Prueba efectos de inter-sujetos en concentración ATS en tallo de noga	14

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área experimental.....	8
Figura 2. Muestreo sistematizado	9
Figura 3. Media de la concentración en mg de PTS por g/MS en la raíz de las variedades Wichita y Western.....	12
Figura 4. Media de la concentración en mg de PTS por g/MS en tallo de las variedades Wichita y Western.....	13
Figura 5. Media de la concentración en mg de ATS por g/MS en la raíz de las variedades Wichita y Western.....	15
Figura 6. Media de la concentración en mg de ATS por g/MS en tallo de las variedades Wichita y Western.....	15

RESUMEN

DINÁMICA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN NOGAL (*Carya illinoensis*) EN DOS VARIEDADES: WESTERN Y WICHITA EN UN CICLO DE PRODUCCIÓN

Por:

José Nicolás García Ramírez

Para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Director de tesis: Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno

Dentro de los compuestos nitrogenados se encuentran las proteínas totales solubles (PTS) y aminoácidos totales solubles (ATS), elementos que forman parte de las reservas vegetativas mismas que son imprescindibles para el metabolismo, crecimiento y formación de nuevos tejidos en especies caducifolias. El objetivo de la presente investigación fue cuantificar la concentración de PTS y ATS en raíz y tallo en *Carya illinoensis* (Western y Wichita). Se tomaron muestras mensuales de raíz y tallo, en cuatro árboles adultos de cada variedad durante un ciclo productivo. Las concentraciones de PTS y ATS se determinaron mediante espectrofotometría UV visible. Se detectaron diferencias en la concentración de PTS en la raíz ($F=134.57$, g.l.=1; $p < 0.001$) y el tallo ($F=134.57$, g.l.=1; $p < 0.001$). Para el caso de la concentración de ATS, al menos un mes presentó diferencia estadística ($F= 11.85$, g.l.= 11; $p < 0.001$), para el caso de la interacción de las raíces de las dos variedades no se detectaron diferencias significativas ($F=3.41$, g.l.= 1; $p > 0.065$). En la concentración ATS en tallo se detectaron diferencias significativas ($F=294.30$, g.l. = 1; $p < 0.001$). Por lo que se concluye que la mayor acumulación de los compuestos nitrogenados que comprenden PTS y ATS es durante la etapa de letargo misma que disminuirá gradualmente con el inicio de etapa reproductiva.

Palabras clave: *Reservas vegetativas, proteínas, aminoácidos, Carya*

ABSTRACT

DYNAMIC OF NITROGENOUS COMPOUNDS IN WALNUT (*Carya illinoensis*) IN TWO VARIETIES: WESTERN AND WICHITA IN ONE PRODUCTION CYCLE.

By:

José Nicolás García Ramírez

To obtain the degree of Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Thesis director:

Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno

The total soluble proteins (PTS) and total soluble amino acids (ATS) are elements that are part of the vegetative reserves, which are essential for the metabolism, growth and formation of new tissue in deciduous species. The objective of this research was to quantify the PTS and ATS concentration in the root and stem in *Carya illinoensis* (Western and Wichita). Root and stem monthly samples in four adult trees of each variety during a productive cycle. The PTS and ATS concentrations were determined by visible UV spectrophotometry. Differences were noticed in the PTS root concentration ($F = 134.57$, g.l.=1; $p < 0.001$) and stem ($F = 134.57$, g.l.=1; $p < 0.001$). The ATS concentration, at least one month showed statistical difference ($F = 11.85$, g.l.= 11; $p < 0.001$), interaction of the roots in both varieties no significant differences were identified ($F = 3.41$, g.l.= 1; $p > 0.065$). In ATS stem concentration significant differences were identified ($F = 294.30$, g.l. = 1; $p < 0.001$). Therefore, it is concluded that the greatest accumulation of nitrogenous compounds that include PTS and ATS is during the lethargy stage, which will decrease gradually when the reproductive stage starts.

Key words: Vegetative reserves, proteins, amino acids, *Carya*

I. INTRODUCCIÓN

El nogal pecanero *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch es un frutal caducifolio de la familia Juglandaceae, es una especie nativa del norte de México y el sureste de los Estados Unidos (Briceño-Contreras *et al.*, 2021; USDA, 2019), que puede alcanzar una altura de 30 m con una longevidad de más de 100 años (Madero, 2003; Valenzuela-Núñez, Briceño-Contreras *et al.*, 2019). Actualmente en México se registra una superficie sembrada de 144 653 ha con una producción de 164,651 t (SIAP-SAGARPA, 2021a), se cultiva principalmente en los estados del norte, donde predomina el clima árido o semiárido como en Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango y Sonora cumpliendo con las condiciones óptimas para su desarrollo (SIAP-SAGARPA, 2021b). Actualmente la Comarca Lagunera cuenta con una superficie de 15 131 ha con una producción anual de 15 459 t (SIAP-SAGARPA, 2021c).

Las especies vegetales requieren de elementos nutritivos que son de vital importancia para su desarrollo, mismas que se acumulan como una fuente de reserva vegetativa (Usola *et al.*, 2015). El almacenamiento de reservas es de las principales funciones de los árboles, las cuales se acumulan durante un periodo de abundancia mismas que estarán disponibles en épocas desfavorables (Chapin *et al.*, 1990), los árboles almacenan fuentes de reserva en forma de carbohidratos, lípidos y compuestos nitrogenados (Pallardy, 2008).

El nitrógeno es uno de los elementos de mayor demanda además de ser uno de los elementos más limitantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Franche *et al.*, 2009; Santi *et al.*, 2013), esto es debido a que la abundancia de este elemento en la atmósfera y en el suelo no se encuentra en una forma biodisponible por lo que es necesario pasar por un proceso de mineralización (Rennenberg and Dannenmann, 2015).

Dentro de las reservas nitrogenadas se encuentran las proteínas totales solubles, así como también los aminoácidos totales. Las reservas de aminoácidos en árboles frutales se acumulan principalmente en las raíces (Tromp, 1983), la

acumulación estará en función con la estacionalidad de los árboles (Millard and Grelet, 2010).

Los aminoácidos se pueden considerar como una fuente importante de nitrógeno de las plantas (Yang *et al.*, 2020), sino que también ayuda a la asimilación y movilización del nitrógeno orgánico (Yao *et al.*, 2020) en especies caducifolias los aminoácidos se caracterizan a tolerar el estrés y las condiciones desfavorables evitando un gasto energético en la síntesis de proteínas (Hildebrandt *et al.*, 2015; Valenzuela-Núñez *et al.*, 2019) así como también favorecerá a la formación de nuevos tejidos con el inicio de la etapa reproductiva (Yao *et al.*, 2020)

Las proteínas se forman a partir de la biosíntesis de los aminoácidos (Hildebrandt *et al.*, 2015; Yokoyama *et al.*, 2016), mismas que se acumulan en los tejidos vegetativos y reproductivos de los órganos perennes, la mayor concentración de proteínas es durante la etapa de letargo (Espino-Castillo *et al.*, 2018), una de las funciones esenciales de las proteínas es que se almacenan nitrógeno como una fuente de reserva (Fujiwara *et al.*, 2002) mismas que disminuirán durante el inicio de la brotación (Valenzuela-Nuñez *et al.*, 2010).

Las concentraciones de las proteínas totales solubles y aminoácidos totales en raíz y tallo de *Carya Illinoensis* son distintas, así como las concentraciones de cada órgano durante las etapas fenológicas durante un ciclo anual.

Actualmente la información es limitada con respecto al comportamiento de los compuestos nitrogenados enfatizados a la fisiología del árbol; se requieren más estudios a nivel fisiológico, así como a las condiciones climáticas, variedades, entre otros factores que permitan comprender el comportamiento de las proteínas y aminoácidos dentro de las especies caducifolias. Por lo que el objetivo de la presente investigación fue cuantificar las concentraciones de proteínas y aminoácidos solubles en árboles de *Carya illinoensis* durante un ciclo de producción, para conocer su comportamiento en cada una de las variedades durante el ciclo productivo.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Reservas vegetativas

La acumulación de reservas es una de las principales características de los árboles mediante la adquisición de nutrientes y su transporte en los tejidos vegetativos (Chapin *et al.*, 1990). Las reservas vegetativas o también denominadas como elementos de reservas son acumulados durante un periodo de abundancia con el fin de que estén disponibles en épocas desfavorables (Chapin *et al.*, 1990; Staswick, 1994), las principales reservas vegetativas son los carbohidratos, lípidos y compuestos nitrogenados (Pallardy, 2008). Los cuales son acumulados en la raíz, tallo y órganos superiores (Tromp, 1983; Valenzuela *et al.*, 2010)

3.2 Reservas de carbohidratos

El almacenamiento de carbohidratos en árboles se considera como una de las funciones esenciales (Silpi *et al.*, 2007), dichos compuestos conforman a las reservas vegetativas mismas que son elaborados a partir de la fotosíntesis (Wiley, 2020), estos compuestos son una fuente importante de reserva de las especies perennes las cuales comprenden los azúcares solubles y el almidón (Briceño-Contreras *et al.*, 2018; Concilco-Alberto *et al.*, 2022), mismas que son acumuladas en la raíz, tallo y órganos superiores (Hennion *et al.*, 2019) cabe señalar que la mayor acumulación es en periodos de abundancia mismas que estarán disponibles en etapas desfavorables o en el inicio de la etapa reproductiva (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2019).

3.3 Reservas de compuestos nitrogenados

Dentro de los compuestos nitrogenados se encuentran las proteínas totales solubles y los aminoácidos totales que son parte de las reservas vegetativas (Tromp, 1983; Valenzuela-Núñez *et al.*, 2011), la acumulación de estos compuestos es durante la etapa de letargo así como en periodos de abundancia (Valenzuela- Nuñez *et al.*, 2010), las cuales serán acumulados en los órganos raíz, tallo y órganos superiores (Barbaroux *et al.*, 2003; Hennion *et al.*, 2019), cabe señalar que las raíz se considera como uno de los órganos donde se concentra el mayor contenido de los compuestos nitrogenados, los cuales serán

removilizados con el inicio de la etapa reproductiva (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2010), el mayor contenido de proteínas y aminoácidos estará en función de la estacionalidad del año y la fenología de los árboles (Millard y Grelet, 2010), la mayor variación estacional del contenido de estas reservas nitrogenadas es durante la etapa de letargo (El-Zein *et al.*, 2011). Los reservorios de estos compuestos serán acumulados durante un ciclo anterior (Tromp, 1983).

Una de las funciones de las reservas de aminoácidos es que influyen en el transporte y movilización dentro la planta (Yokoyama *et al.*, 2016), así como ayudan a tolerar el estrés cuando se presentan condiciones adversas mismas que dará origen a evitar la síntesis de proteínas para generar un gasto energético innecesario (Hildebrandt *et al.*, 2015; Valenzuela-Núñez *et al.*, 2019).

Las proteínas se originan a partir de la síntesis de aminoácidos (Hildebrandt *et al.*, 2015), estos elementos son acumulados en el tallo, raíz y órganos superiores (Espino-Castillo *et al.*, 2018) la raíz es el órgano con la mayor demanda de proteínas (Barbaroux *et al.*, 2003), la función principal de las proteínas es la formación de nuevos tejidos con el inicio de la etapa reproductiva (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2011) a lo cual se le atribuye porque las proteínas almacenan el nitrógeno como fuente reserva (El-Zein *et al.*, 2011; Fujiwara *et al.*, 2002).

3.4 Nogal *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch

3.4.1 Características y generalidades

El nogal pecanero, conocido también como nuez encarcelada, *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch es un frutal caducifolio de la familia Juglandaceae (Briceño-Contreras *et al.*, 2021), es una especie nativa del norte de México y el sureste de los Estados Unidos (Medina y Cano, 2002; USDA, 2019), el árbol puede alcanzar una altura de 30 metros y una longevidad de 100 años (Madero, 2003), las primeras plantaciones para su explotación comercial fueron establecidas en 1871 (Medina and Cano, 2002).

De las especies que pertenecen al género *Carya* la más viable para producción de nuez es *illinoensis* de las cuales comprende las variedades Wichita y Western para su explotación agrícola (Giuseppe *et al.*, 2018), los principales

países de nuez son Estados Unidos y México se posiciona en el segundo lugar como productor y exportador de nuez (Orona-Castillo *et al.*, 2019).

El cultivo de nuez se caracteriza por ser una especie de amplio crecimiento dado que este cultivo se adapta a las condiciones climatológicas así como también las condiciones edafológicas de los estados del norte (Orona-Castillo *et al.*, 2013), donde es cultivada en los estados Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango y Sonora donde se cumplen con las condiciones óptimas para su desarrollo (Orona-Castillo *et al.*, 2019; SIAP-SAGARPA, 2021b).

La producción de este frutal es de vital importancia para la economía generando una importante fuente de ingresos dentro del sector agrícola (Orona-Castillo *et al.*, 2013), dentro de consumo de la nuez se le atribuye que es una fuente importante de vitaminas y minerales, así como también ayuda a reducir problemas cardiovasculares (Gardea *et al.*, 2011), cabe recalcar que las variedades que no se encuentran dentro de la explotación agrícola contribuyen a la alimentación de la vida silvestre (Peterson, 1990) y el uso para elaborar cosméticos.

3.5 Producción de nuez en la Comarca Lagunera

Actualmente el cultivo de la nuez en el estado de Coahuila es uno de los más importantes dentro de la producción de cultivos frutales (Orona-Castillo *et al.*, 2013), la Comarca Lagunera comprende parte de los estados de Coahuila y Durango donde cuenta con una superficie de 15 131 ha con una producción anual de 15 459 t (SIAP-SAGARPA, 2021c), donde se encuentran establecidas las variedades Wichita y Western para su explotación agrícola (Medina y Cano, 2002; Orona-Castillo *et al.*, 2013), la variedad predominante es Western con un 50% seguido de Wichita con un 33% el resto corresponde a las variedades criollas dentro de la Comarca Lagunera (Orona-Castillo *et al.*, 2013).

De acuerdo a la fenología del nogal al ser especie caducifolia se caracteriza por tener etapas fenológicas que comprenden la formación de brotes, floración, amarre y cuajado de fruto, maduración (cosecha) y letargo, cabe recalcar que

este comportamiento no será igual dentro de las variedades (Medina y Cano, 2002; Valenzuela- Nuñez *et al.*, 2011).

Una de las etapas fenológicas del árbol de nogal es la de letargo (latencia), esta etapa se caracteriza por entrar en un estado de senescencia lo que quiere decir que el árbol perderá todo su aparato fotosintético, con ello reducirá al mínimo su actividad fisiológica, todo esto conlleva a que durante esta etapa, se tendrán que cumplir con ciertos parámetros de los cuales comprende, acumular las horas frío que necesita el árbol así como también se tienen que acumular las reservas vegetativas de la cuales comprenden azúcares, almidón, proteínas y aminoácidos (Briceño-Contreras *et al.*, 2021; Concilco-Alberto *et al.*, 2022; Espino-Castillo *et al.*, 2018; Valenzuela-Nuñez *et al.*, 2011), mismas que disminuirán gradualmente con el inicio de la etapa reproductivas mismas que dará origen a la formación de nuevos tejidos.

3.6 Importancia del nitrógeno en frutales

Los elementos esenciales para el óptimo desarrollo tanto fisiológico como reproductivo del nogal pecanero son variados, es recomendable la aplicación de macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), azufre (S) y magnesio (Mg) y micronutrientes: zinc (Zn), fierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), boro (B), cloro (Cl) y molibdeno (Mo) (Medina y Cano, 2002).

Se ha demostrado que para que se obtenga un óptimo desarrollo del cultivo nogal es indispensable contar una buena lámina de riego, disponibilidad de nitrógeno y buen suelo, si alguno de estos factores está limitado durante el ciclo vegetativo que comprende el desarrollo habrá repercusiones en la calidad del fruto así como en el rendimiento de la cosecha (Smith *et al.*, 2004).

La acumulación del nitrógeno dentro de los tejidos se almacena principalmente como una fuente de reserva de compuestos nitrogenados de los cuales comprende a las proteínas y los aminoácidos mismos que serán una fuente de reserva (Espino-Castillo *et al.*, 2018), la presencia de estas reservas dentro del árbol siempre una tiende a predominar una más que la otra (Kang y Titus, 1980).

De acuerdo con la literatura el nitrógeno representa el 1% de la materia de un árbol (Bollmark, 1999).

3.7 Trabajos enfocados en la estacionalidad de los compuestos nitrogenados

El interés en comprender las reservas vegetativas es la disponibilidad de los nutrientes en los ecosistemas y el aporte que tienen los árboles dentro del mismo (Babst y Coleman, 2018), dentro de los cuales se encuentra el nitrógeno que es uno de los macroelementos esenciales para el desarrollo de las plantas (Zhang *et al.*, 2018), la importancia de este elemento ha conllevado a investigar su comportamiento en especies de árboles frutales y especies perennes. Para ello se parte de investigar el ciclo estacional del nitrógeno (Li y Coleman, 2019). Cabe resaltar que para comprender la acumulación de reservas vegetativas dentro de los árboles tanto frutales así como las especies perennes, donde se encuentran principalmente proteínas y aminoácidos está regulado por los siguientes factores: la estacionalidad, latencia, desarrollo reproductivo, longevidad, fisiología del árbol y los cambios climáticos, este es uno de los factores con mayor importancia (Tromp, 1983; Larisch *et al.*, 2012; Delaporte y Damesin, 2016; Espino-Castillo *et al.*, 2018; Li y Coleman, 2019).

Los estudios enfocados en las reservas de N se han realizado en árboles frutales de los cuales se mencionan: *Carya illinoensis* (Espino-Castillo *et al.*, 2018), *Malus domestica* (Cheng y Ranwala, 2004), *Prunus pérsica* (Gomez and Faurobert, 2002). De igual manera se han considerado especies de árboles maderables para evaluar su estacionalidad de las reservas de los principales compuestos nitrogenados de las cuales destacan: *Quercus petraea* (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2011), *Fagus sylvatica* (El-Zein *et al.*, 2011), *Pinus sylvestris* (Näsholm, 1990; Wyka y Oleksyn 2016).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (Figura 1) en la ciudad de Torreón, Coahuila ubicado en las coordenadas 25° 33' 22.63" N y 103° 22' 07.77" O, en una huerta sembrada en marco real, con densidad de plantación de 100 árboles ha⁻¹ con la variedad Western y Wichita, la edad promedio de los árboles es de 40 años. El calendario de riego incluye ocho riegos con intervalos de 12 a 47 d, dependiendo de la etapa fenológica con una lámina de riego anual de 748 mm. La región se caracteriza por tener un clima seco desértico, altitud de 1 120 m y promedios anuales de temperatura y una precipitación de 21 °C y 230 mm (INEGI, 2012).



Figura 1. Localización del área experimental

4.1 Muestreo

El muestreo se realizó de forma sistematizada (Figura 2), se eligieron cuatro árboles de la parte media de la parcela para evitar el efecto de borde. En cada árbol se extrajeron dos muestras de la raíz principal se tomó a 40 cm de profundidad y tallo a una altura de 1.30 m. Las muestras de raíz se colectaron

después de hacer una zanja, se identificó la raíz principal, se realizó un corte con ayuda de una navaja para extraer la muestra, las muestras de tallo se obtuvieron en forma de viruta con ayuda de un taladro Pressler (Haglöf® Langsele, Sweden). Cada muestra se limpió, y se colocaron en bolsas de aluminio perforadas y etiquetadas, para almacenar y congelar en una hielera con nitrógeno líquido para inhibir cualquier actividad bioquímica en los tejidos, posteriormente se procedió a trasladarlas al laboratorio, donde se almacenaron en un ultracongelador (Revco Value Plus® ThermoScientific® Waltham, United States) a $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante una semana, para luego liofilizarlas (Liofilizador LabconcoFreezone Triad® Freeze Dry Systems® USA) durante 7 días a una temperatura de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las muestras liofilizadas se pulverizaron con un molino de cuchillas (Fritsch® Pulverisette 15®), para obtener un polvo fino.

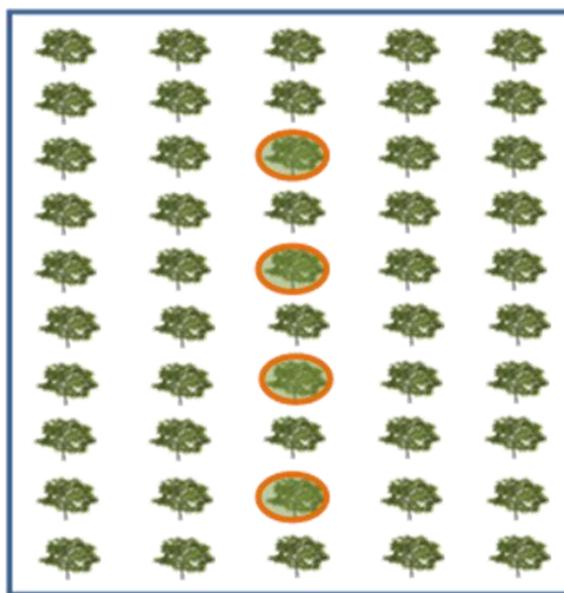


Figura 2. Muestreo sistematizado

4.2 Determinación de proteínas totales solubles

La concentración de proteínas totales solubles se determinó mediante la metodología de Bradford (1976). Para lo cual se pesaron 10 mg de materia seca en una balanza analítica (PW 250 Adam® Ox-ford, United States). Colocándola en microtubos Eppendorf de 2 ml (MCT-200-C ClearAxygen Scientific® Schwerte, Germany), luego se preparó una solución de extracción de proteínas

(0.1 M (0.1 M KH_2PO_4 , 0.1 M NaHPO_4 y 13 mg PVP). De la cual se les agregó 1 mL a los microtubos que contenía los 10 mg de materia seca, para luego colocar un balín de acero a cada uno de los microtubos y se agitó en un vortex (Maxi Mix II® Thermo Scientific®) durante 10 min para romper las paredes celulares, posteriormente los microtubos se centrifugaron en una centrífuga Spectrafuge 16M R Labnet® a 10 000 rpm a 4 °C durante 15 min, para luego extraer 500 μL de cada microtubo y colocarlos en celdillas de lectura para agregar 500 μL de la solución Quickstart® Bradford®, se agitó y se dejó reposar por 5 min a temperatura ambiente. La lectura se realizó a una absorbancia de 595 nm en un espectrofotómetro UV-Visible (Genesys 20® Thermo Scientific®).

43 Determinación de aminoácidos totales solubles

La concentración de aminoácidos totales solubles se determinó mediante la metodología de Yemm y Cocking (1955). Para lo cual se pesaron 10 mg de materia seca en una balanza analítica (PW 250 AdamR® Ox-ford, United States), colocándola en microtubos Eppendorf de 2 ml (MCT-200-C ClearAxygen ScientificR® Schwerte, Germany), a los que se agregaron 650 μL de una solución de extracción (etanol/agua 70/30) a cada microtubo, dejándolo reposar durante 5 min en una hielera (hielo+agua), posteriormente se centrifugaron en una centrífuga Spectrafuge 16M R Labnet® a 10 000 rpm a 4 °C durante 5 min, luego se realizó un trasvase a un nuevo microtubo Eppendorf de 2 ml (MCT-200-C ClearAxygen ScientificR® Schwerte, Germany), (sin vaciar el sedimento al nuevo microtubo), en el sedimento restante se agregarán 650 μL de la solución de extracción+ reposar+centrifugar+vaciado, este proceso se repitió un total de tres veces. De las tres extracciones se mezclan en un solo microtubo Eppendorf de 2 ml para extraer 800 μL de la solución de extracción para agregar 200 μL de solución de ninhidrina (disolver 2 g de ninhidrina en 1 L de etanol). Los microtubos Eppendorf se pusieron a hervir durante 5 minutos a 100 °C, después de hervir se dejaron reposar a temperatura ambiente por 5 minutos para posteriormente pasar a lectura. La lectura se realizó a una absorbancia de 570 nm en un espectrofotómetro UV-Visible (Genesys 20® Thermo Scientific®).

4.4 Análisis estadístico

Se realizó la prueba de intersujetos, la prueba de Tukey con una significancia de $p < 0.05$, y comparación de medias entre los órganos perennes. Todos los análisis se realizaron con el software SPSS® Versión 18.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Concentración de proteínas totales solubles en los órganos raíz y tallo durante un ciclo de producción.

Se observó que al menos un mes presentó diferencia estadística en concentraciones de PTS con respecto al resto de los meses ($F=10.55$, g.l.=11 $p < 0.001$), Para el caso de la concentración de PTS en la raíz (figura 3) se observaron diferencias altamente significativas en las dos variedades ($F=33.58$, g.l.=1 $p < 0.001$) en la variedad Wichita julio ($\bar{x}=3.88$ mg/g MS) y agosto ($\bar{x}= 4.48$ mg/g MS) fueron los meses que presentaron la menor concentración PTS en la raíz mientras que en el mes de junio ($\bar{x}= 7.19$ mg/g MS) se presentó la mayor concentración. En comparación con la variedad Western el mes de noviembre ($\bar{x}= 5.18$ mg/g MS) presentó la menor concentración de PTS y la mayor concentración en el mes de octubre ($\bar{x}= 7.86$ mg/g MS). La acumulación de PTS en el tallo al menos un mes presentó diferencia estadística en concentraciones de PTS (figura 4) con respecto al resto de los meses ($F=12.04$, g.l.=11 $p < 0.001$). En la concentración de PTS en las dos variedades se observaron diferencias altamente significativas ($F=134.57$, g.l.=1 $p < 0.001$), el mes que presentó la menor concentración de PTS fue noviembre ($\bar{x}= 4.71$ mg/g MS) y la mayor concentración fue en el mes de enero ($\bar{x}= 6.67$ mg/g MS) de la variedad Wichita, caso contrario en la variedad Western donde el mes de marzo ($\bar{x}= 4.54$ mg/g MS) fue la menor concentración y la mayor acumulación fue durante los meses de junio ($\bar{x}= 8.06$ mg/g MS) y diciembre ($\bar{x}= 8.49$ mg/g MS) de PTS.

Cuadro 1. Prueba efectos de inter-sujetos en concentración PTS en raíz de nogal

	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	319.334 ^a	23	13.884	13.124	0.000
Intersección	15206.078	1	15206.078	14373.314	0.000
Variedad*Raiz	35.533	1	35.533	33.587	0.001
Mes	122.873	11	11.170	10.558	0.001
VariedadOrgano * Mes	160.928	11	14.630	13.829	0.000
Error	380.858	360	1.058		
Total	15906.269	384			
Total corregida	700.191	383			

$R^2 = 0.456$ (R cuadrado ajustado = 0.421)

Cuadro 2. Prueba efectos de inter-sujetos en concentración PTS en tallo de nogal

	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	400.701 ^a	23	17.422	17.492	0.000
Intersección	15455.786	1	15455.786	15518.108	0.000
Variedad*Tallo	134.036	1	134.036	134.577	0.001
Mes	132.007	11	12.001	12.049	0.001
VariedadOrgano * Mes	134.657	11	12.242	12.291	0.000
Error	358.554	360	0.996		
Total	16215.041	384			
Total corregida	759.255	383			

$R^2 = 0.528$ (R cuadrado ajustado = 0.498)

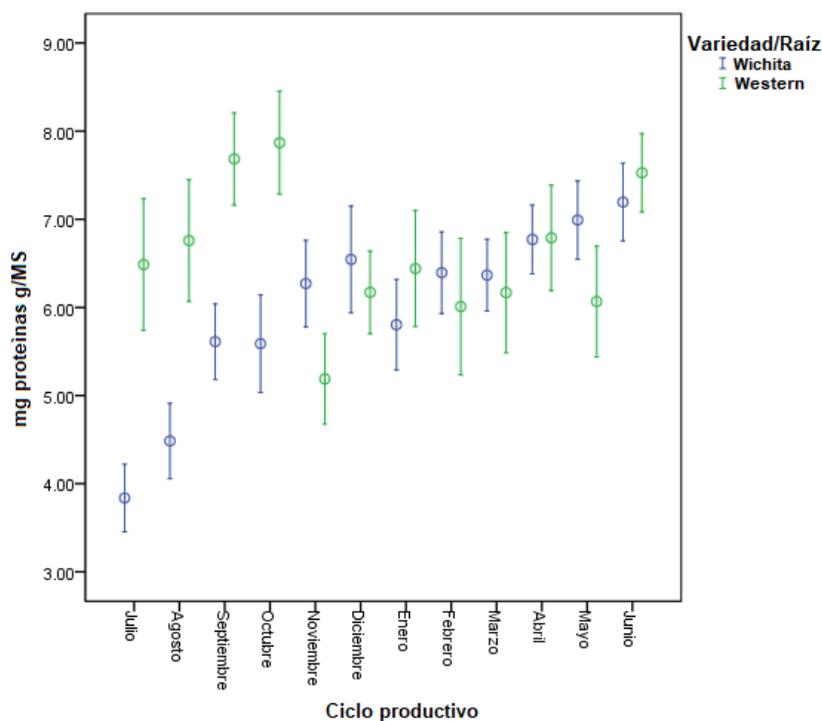


Figura 3. Media de la concentración en mg de PTS por g/MS en la raíz de las variedades Wichita y Western

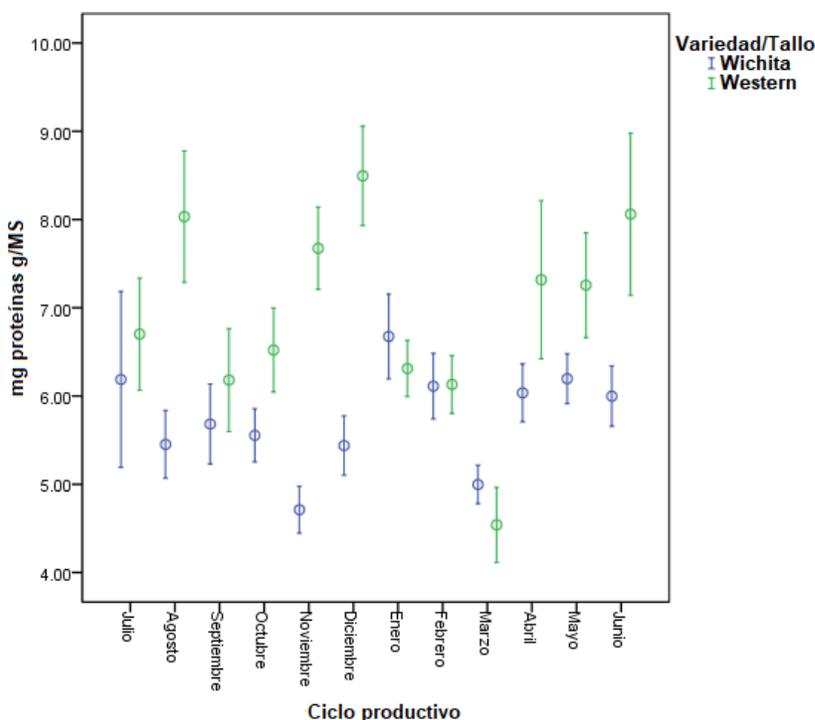


Figura 4. Media de la concentración en mg de PTS por g/MS en tallo de las variedades Wichita y Western

5.2 Concentración de aminoácidos totales solubles en los órganos raíz y tallo durante un ciclo de producción.

Para el caso de la estacionalidad de ATS se observaron diferencia estadística en concentraciones de ATS con respecto al resto de los meses ($F=11.85$, g.l.=11 $p<0.001$), en las concentraciones de ATS en las raíces de las dos variedades (figura 5) no se encontraron diferencias significativas en la comparación de las medias ($F=3.41$, g.l.=1 $p>.065$) la menor concentración de ATS en la variedad Wichita fue en el mes de diciembre ($\bar{x}= 1.04$ mg/g MS) y la mayor concentración fue en el mes de junio ($\bar{x}= 2.68$ mg/g MS) en la variedad Western los meses con la menor concentración de ATS fueron agosto ($\bar{x}= .117$ mg/g MS) y junio ($\bar{x}= 1.22$ mg/g MS), registrando la mayor concentración en el mes de marzo ($\bar{x}= 2.70$ g/g MS). En al menos un mes se presentó diferencia estadística en concentraciones de ATS en el tallo (figura 6) con respecto al resto de los meses ($F=15.68$, g.l.=11 $p<0.001$). Para el caso de la concentración de ATS en las dos variedades se observaron diferencias altamente significativas ($F=294.30$, g.l.=1 $p<0.001$), la variedad Wichita en el tallo registra la menor concentración en los meses de junio

(\bar{x} = 1.07 mg/g MS) y mayo (\bar{x} = 1.09 mg/g MS) así como mayor acumulación en el mes de marzo (\bar{x} = 1.58 mg/g MS), al respecto en la variedad Western noviembre (\bar{x} = 0.5825 mg/g MS) y octubre (\bar{x} = 0.5856 mg/g MS) fueron los meses con la menor concentración de ATS y agosto (\bar{x} = 1.09 mg/g MS) y julio (\bar{x} = 1.57 mg/g MS) son los meses con la mayor concentración.

Cuadro 3. Prueba efectos de inter-sujetos en concentración ATS en raíz de nogal

	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	105.516 ^a	23	4.588	12.302	0.000
Intersección	1220.442	1	1220.442	3272.703	0.000
Variedad*Raiz	1.274	1	1.274	3.417	0.065
Mes	48.618	11	4.420	11.852	0.001
VariedadRaiz * Mes	55.624	11	5.057	13.560	0.000
Error	134.250	360	0.373		
Total	1460.208	384			
Total corregida	239.766	383			

R² cuadrado = 0.440 (R cuadrado ajustado = 0.404)

Cuadro 4. Prueba efectos de inter-sujetos en concentración ATS en tallo de nogal

	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	34.866 ^a	23	1.516	27.944	0.000
Intersección	394.754	1	394.754	7276.730	0.000
Variedad*Tallo	15.966	1	15.966	294.308	0.001
Mes	9.361	11	0.851	15.687	0.001
VariedadTallo * Mes	9.539	11	0.867	15.986	0.000
Error	19.530	360	0.054		
Total	449.150	384			
Total corregida	54.396	383			

R² cuadrado = 0.641 (R cuadrado ajustado = 0.618)

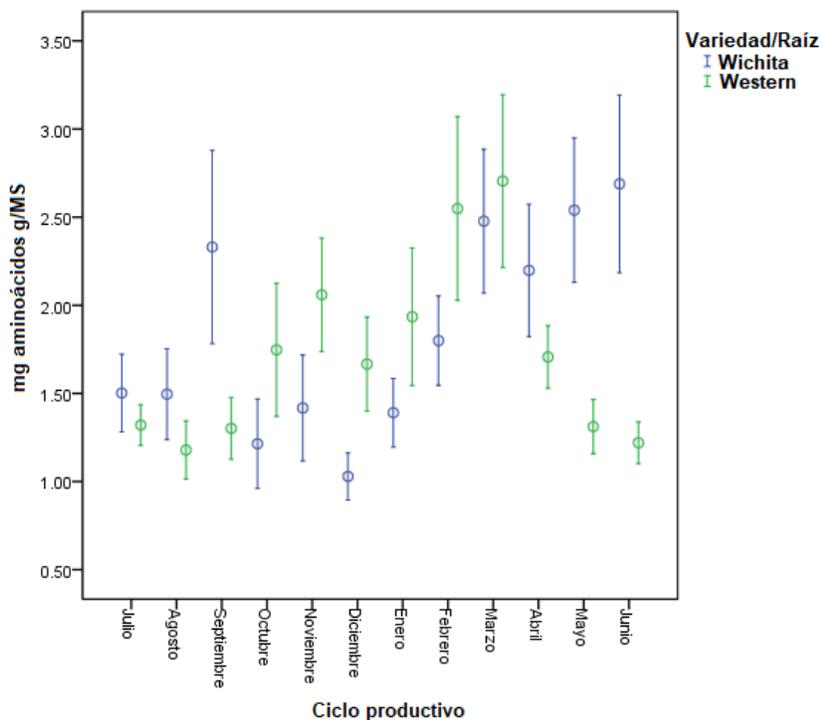


Figura 5. Media de la concentración en mg de ATS por g/MS en la raíz de las variedades Wichita y Western

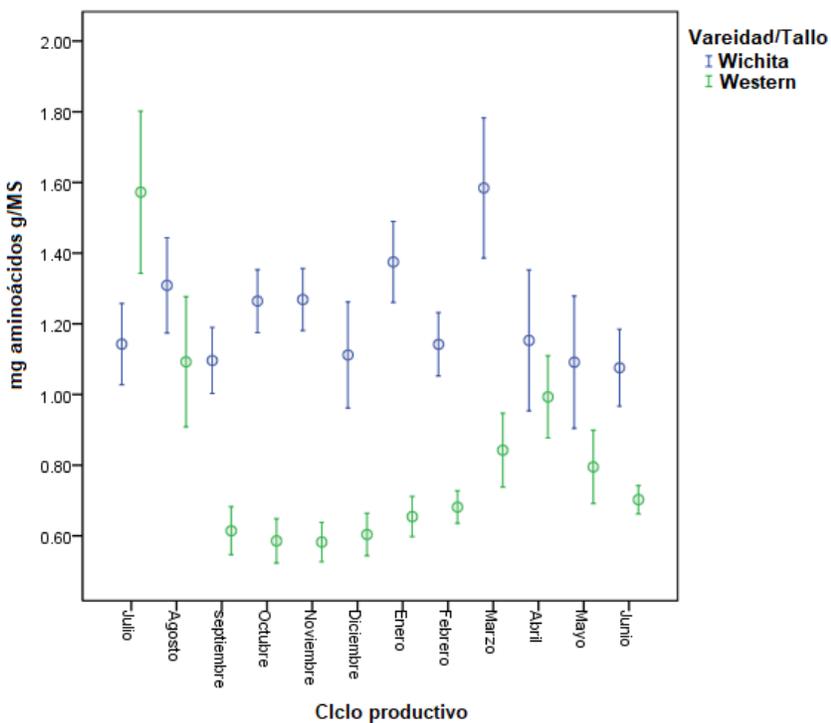


Figura 6. Media de la concentración en mg de ATS por g/MS en tallo de las variedades Wichita y Western

VI. DISCUSIÓN

Las proteínas se acumulan en los diferentes tejidos vegetativos y reproductivos, los cuales fungen como una fuente de reserva (Fujiwara *et al.*, 2002); por otra parte (Barbaroux *et al.*, 2003), mencionan que las proteínas tienen mayor demanda en la raíz para el crecimiento de las plantas, aunado a lo anterior (Valenzuela-Nuñez *et al.*, 2010), quienes encontraron un comportamiento similar de PTS en *Quercus petraea* y *Fagus sylvatica* L. por otra parte (Valenzuela-Nuñez *et al.*, 2011) menciona que antes de la brotación hay un mayor crecimiento en el sistema radicular en árboles de *Quercus robur* L. lo cual se le atribuye a la acumulación PTS durante etapa de letargo, estos resultados concuerdan a los reportados en esta investigación en la concentración de PTS en nogal pecanero, (Espino-Castillo *et al.*, 2018), reporta que la mayor acumulación de PTS es durante la etapa de letargo, lo que coincide con los resultados de esta investigación.

El mayor contenido de proteínas está presente en la etapa invernal (Wetzel and Greenwood, 1989), lo que garantiza que las proteínas sean una fuente importante de almacenamiento de nitrógeno, (El-Zein *et al.*, 2011), donde reportó que en *Quercus petraea* y *Fagus sylvatica* durante el invierno hay más variaciones en las concentraciones de proteínas; este comportamiento fue similar en lo reportado en este experimento. (Mousavi *et al.*, 2008), reporta que la mayor concentración de PTS en *Olea europaea* L. comprende de otoño a invierno. Al respecto (Rosnitschek-Schimmel, 1985), menciona que en *Urtica dioica* la mayor acumulación de PTS se lleva a cabo durante el invierno, este comportamiento es similar al reportado, aunado a lo anterior en *Cichorium intybus* y *Taraxacum officinale* la mayor acumulación de PTS fue durante la etapa de invierno (Cyr *et al.*, 1990).

En arboles jóvenes de *Malus domestica* los cuales estuvieron bajo fertilización inorgánica, la mayor acumulación de PTS fue durante el invierno (Cheng y Ranwala, 2004), por otro lado en *Caladium bicolor* el cual estuvo bajo una fertilización orgánica donde reporta que la mayor acumulación de PTS es durante

la etapa de letargo (Ortiz-Sánchez *et al.*, 2015). Se observó una similitud en *Pinus sylvestris* el cual estuvo bajo una fertilización inorgánica donde registra la mayor concentración de PTS durante el invierno (Näsholm y Ericsson, 1990).

El tallo es un órgano de transporte de nutriente (Valenzuela-Nuñez *et al.*, 2011) menciona que en árboles de *Quercus robur* L. durante el mes de octubre hay una mayor movilización de PTS para el almacenamiento en los segmentos superiores, para lo cual es similar al reportado en esta investigación ya que en el mes de octubre en nogal pecanero hay una mayor movilización en la concentración PTS. Así como también (Gomez y Faurobert, 2002), reporta que en árboles de durazno *Prunus persica* L. Batsch, durante el invierno hay una mayor acumulación de proteínas en el floema, mismas que disminuirán en la etapa de brotación en los meses de marzo y abril lo cual se encontró en el nogal pecanero donde se reportó en los meses de marzo y abril hubo una disminución en la concentración de PTS en el tallo. Por otra parte, (El-Zein *et al.*, 2011), reporta lo inverso en *Quercus petraea* y haya *Fagus sylvatica* en ambas especies no se encontraron diferencias estacionales en la concentración de proteínas.

Las reservas de aminoácidos totales (ATS) se encuentran en forma asimilable en las raíces de los árboles frutales así mismo estos son acumulados durante el inicio del invierno (Tromp, 1983), dichas reservas estarán reguladas por las estacionalidades del año así como la fenología de los árboles para su almacenamiento y posteriormente su removilización (Millard y Grelet, 2010) menciona que a medida del crecimiento de los árboles aumenta su tasa de almacenamiento de ATS (Millard, 1996), lo anterior coincide con (Rosnitschek-Schimmel, 1985) quien reportó en *Urtica dioica* que la mayor acumulación de ATS es durante invierno, un comportamiento similar se reportó en *Cichorium intybus* y *Taraxacum officinale* donde la mayor acumulación de ATS es en invierno (Cyr *et al.*, 1990), al respecto (Wyka *et al.*, 2016), menciona que en las acículas de *Pinus sylvestris* se encuentra la mayor concentración de ATS pero con el inicio de la brotación esta concentración disminuirá gradualmente.

En árboles jóvenes de *Malus domestica* el cual estuvo bajo una fertilización inorgánica, la mayor acumulación de ATS fue durante la etapa de letargo (Cheng *et al.*, 2004). Un estudio en *Prunus pérsica* donde se evaluaron dos genotipos Flordas y Tudia, los cuales estuvieron bajo una fertilización inorgánica donde demostraron que las concentraciones de las reservas de ATS hay disminución gradual con el inicio de la etapa reproductiva (Policarpo *et al.*, 2002).

Las reservas de ATS son recuperadas a través de su removilización por medio del tallo (Policarpo *et al.*, 2002), lo anterior coincide con (Malaguti *et al.*, 2001) quien reporta que en árboles de *Malus domestica* los cuales estuvieron bajo una fertilización inorgánica durante un ciclo anterior donde hubo una mayor acumulación de ATS mismas que disminuyeron gradualmente con el inicio de la brotación y la floración.

VII. CONCLUSIONES

Las cantidades de compuestos nitrogenados que comprenden las proteínas totales solubles y aminoácidos totales solubles almacenados durante un ciclo de producción pueden ser variables dependiendo de la variedad, así como se debe de considerar la capacidad de almacenamiento de los órganos vegetales y las etapas fenológicas.

En *Carya illinoensis* la raíz y tallo presentaron variaciones en las concentraciones de proteínas totales solubles y aminoácidos totales solubles durante todo el ciclo de producción. La mayor movilización de estas reservas, es un fenómeno que ocurre en este árbol frutal misma que se lleva a cabo durante la etapa de letargo donde se concentra la mayor acumulación de reservas y con ello el árbol tendrá la capacidad eventual durante la etapa de producción para la formación de nuevos tejidos.

VIII. LITERATURA CITADA

- [1]. Babst, B. A., y Coleman, G. D. (2018). Seasonal nitrogen cycling in temperate trees: Transport and regulatory mechanisms are key missing links. *Plant Science*, 270, 268–277. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.02.021>
- [2]. Barbaroux, C., Bréda, N., y 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. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00681.x>
- [3]. Bollmark, L., Sennerby-Forsse, L., y Ericsson, T. (1999). Seasonal dynamics and effects of nitrogen supply rate on nitrogen and carbohydrate reserves in cutting-derived *Salix viminalis* plants. *Canadian Journal of Forest Research*, 29(1), 85–94. <https://doi.org/10.1139/x98-183>
- [4]. 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). Content of starch in walnut organs (*Carya illinoensis* Koch) in two phenological stages. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(20), 4161–4173.
- [5]. Briceño-Contreras, E. A., Moreno-Reséndez, A., Valenzuela-Núñez, L. M., 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), 1–12. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021017>
- [6]. Chapin, F. S., Schulze, E. D., y Mooney, H. A. (1990). The ecology and economics of storage in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21(1), 423–447. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.21.110190.002231>
- [7]. Cheng, L., Fengwang, M., y Ranwala, D. (2004). Nitrogen storage and its interaction with carbohydrates of young apple trees in response to nitrogen supply. *Tree Physiology*, 24(1), 91–98. <https://doi.org/10.1093/treephys/24.1.91>
- [8]. Concilco-Alberto, E., Valenzuela-Núñez, L. M., González-Torres, A., Briceño-Contreras, E. A., García-De-la-Peña, C., y Reyes-Carrillo, J. L. (2022). Azúcares totales solubles en *Carya illinoensis*, balance entre etapas fenológicas clave. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.19136/era.a9n1.3084>
- [9]. Cyr, D. R., Bewley, J. D., y Dumbroff, E. B. (1990). Seasonal dynamics of carbohydrate and nitrogenous components in the roots of perennial weeds. *Plant, Cell & Environment*, 13(4), 359–365. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1990.tb02139.x>
- [10]. Delaporte, A., Bazot, y Damesin, C. (2016). Reduced stem growth, but no reserve depletion or hydraulic impairment in beech suffering from long-term

- decline. *Trees - Structure y Function*, 30(1), 265–279. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1299-8>
- [11]. Dickson, R. E. (1989). Carbon and nitrogen allocation in trees. *Annales Des Sciences Forestières*, 46, 631–647. <https://doi.org/10.1051/forest:198905art0142>
- [12]. El Zein, R., Maillard, P., Bréda, N., Marchand, J., Montpied, P., y Gérant, D. (2011). Seasonal changes of C and N non-structural compounds in the stem sapwood of adult sessile oak and beech trees. *Tree Physiology*, 31(8), 843–854. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpr074>
- [13]. Espino-Castillo, D. A., Valenzuela-Núñez, L. M., Legaria-Solano, J. P., Briceño-Contreras, E. A., Esparza-Rivera, J. R., 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*) durante la etapa de letargo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(14), 309–318.
- [14]. Franche, C., Lindström, K., y Elmerich, C. (2009). Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. *Plant and Soil*, 321(1), 35–59. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9833-8>
- [15]. Fujiwara, T., Nambara, E., Yamagishi, K., Goto, D. B., y Naito, S. (2002). Storage protein. In *The Arabidopsis Book The American practitioner and digest of treatment* (Vol. 1, pp. 896–898). <https://doi.org/10.1199/tab.0020>
- [16]. Gardea, A. A., Martínez-Téllez, M. A., y Yahia, E. M. (2011). *Pecan (Carya illinoensis (Wangenh.) K. Koch.) Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (Vol. 4). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857092618.143>
- [17]. Giuseppe, C. F., Van der W, E., y Maria C, G. (2018). Propagation of Pecan (*Carya illinoensis*): A review. *African Journal of Biotechnology*, 17(18), 586–605. <https://doi.org/10.5897/ajb2017.16183>
- [18]. Gomez, L., y Faurobert, M. (2002). Contribution of vegetative storage proteins to seasonal nitrogen variations in the young shoots of peach trees (*Prunus persica* L. Batsch). *Journal of Experimental Botany*, 53(379), 2431–2439. <https://doi.org/10.1093/jxb/erf098>
- [19]. 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. *Physiologia Plantarum*, 165(1), 44–57. <https://doi.org/10.1111/ppl.12751>
- [20]. Hildebrandt, T. M., Nunes, A. N., Araújo, W. L., y Braun, H. P. (2015). Amino Acid Catabolism in Plants. *Molecular Plant*, 8(11), 1563–1579. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.09.005>
- [21]. INEGI. (2012). Anuario estadístico del Estado de Coahuila de Zaragoza. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)*. Aguascalientes,

México, 642.

- [22]. Kang, S. -M, y Titus, J. S. (1980). Qualitative and quantitative changes in nitrogenous compounds in senescing leaf and bark tissues of the apple. *Physiologia Plantarum*, 50(3), 285–290. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1980.tb04464.x>
- [23]. Larisch, C., Dittrich, M., Wildhagen, H., Lautner, S., Fromm, J., Polle, A., Hedrich, R., Rennenberg, H., Müller, T., y Ache, P. (2012). Poplar wood rays are involved in seasonal remodeling of tree physiology. *Plant Physiology*, 160(3), 1515–1529. <https://doi.org/10.1104/pp.112.202291>
- [24]. Li, G., y Coleman, G. D. (2019). Chapter Four - Nitrogen storage and cycling in trees. *Advances in Botanical Research*, 89, 127–155.
- [25]. Madero, E. (2003). La Nuez Pecán. *Revista IDIA XXI*, 3(5), 1–5.
- [26]. Malaguti, D., Millard, P., Wendler, R., Hepburn, A., y Tagliavini, M. (2001). Translocation of amino acids in the xylem of apple (*Malus domestica* Borkh.) trees in spring as a consequence of both N remobilization and root uptake. *Journal of Experimental Botany*, 52(361), 1665–1671. <https://doi.org/10.1093/jxb/52.361.1665>
- [27]. Medina, M, M. del C., and Cano, R. P. (2002). Aspectos Genrales del Nogal pecanero. *Tecnología de Produccion En Nogal Pecanero*, 3, 1–13.
- [28]. Millard, P. (1996). Ecophysiology of the internal cycling of nitrogen for tree growth. *Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde*, 159(1), 1–10. <https://doi.org/10.1002/jpln.1996.3581590102>
- [29]. Millard, P., y Grelet, G. A. (2010). Nitrogen storage and remobilization by trees : ecophysiological relevance in a changing world. *Tree Physiology*, 30(9), 1083–1095. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq042>
- [30]. Mousavi, A., Lessani, H., Babalar, M., Talaei, A. R., y Fallahi, E. (2008). Influence of salinity on chlorophyll, leaf water potential, total soluble sugars, and mineral nutrients in two young olive cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 31(11), 1906–1916. <https://doi.org/10.1080/01904160802402807>
- [31]. Näsholm, T., y Ericsson, A. (1990). Seasonal changes in amino acids, protein and total nitrogen in needles of fertilized Scots pine trees. *Tree Physiology*, 6(3), 267–281.
- [32]. Orona-Castillo, I., Sangerman-Jarquín, D. M., Cervantes Vázquez, M. G., Espinoza-Arellano, J. de J., y Núñez-Moreno, J. H. (2019). The production and commercialization of pecan nut in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(8), 1797–1808. Retrieved from
- [33]. 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* Koch) en el norte de Coahuila, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3), 461–476.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v4i3.1207>

- [34]. Ortiz-Sánchez, I. A., Álvarez-Reyna, V. D. P., González-Cervantes, G., Valenzuela-Núñez, L. M., Potisek-Talavera, M. D. C., y Chávez-Simental, J. A. (2015). Concentración de almidón y proteínas solubles en tubérculos de *Caladium bicolor* en diferentes etapas fenológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(3), 483–494. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i3.633>
- [35]. Pallardy, S. G. (2008). Carbohydrates. In *Physiology of Woody Plants*. ed trird (pp. 199–215).
- [36]. Peterson, J. K. . K. (1990). *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch. *Silvics of North America*, 2(1), 205–210.
- [37]. Policarpo, M., Marco, L. D., Caruso, T., y Gioacchini, P. (2002). Dynamics of nitrogen uptake and partitioning in early and late fruit ripening peach (*Prunus persica*) tree genotypes under a mediterranean climate. *Plant and Soil*, 239(2), 207–214.
- [38]. Rennenberg, H., y Dannenmann, M. (2015). Nitrogen nutrition of trees in temperate forests-the significance of nitrogen availability in the pedosphere and atmosphere. *Forests*, 6(8), 2820–2835. <https://doi.org/10.3390/f6082820>
- [39]. Rosnitschek-Schimmel, I. (1985). Seasonal dynamics of nitrogenous compounds in a nitrophilic weed I. Changes in inorganic and organic nitrogen fractions of the different plant parts of *Urtica dioica*. *Plant and Cell Physiology*, 26(1), 169–176.
- [40]. Santi, C., Bogusz, D., y Franche, C. (2013). Biological nitrogen fixation in non-legume plants. *Annals of Botany*, 111(5), 743–767. <https://doi.org/10.1093/aob/mct048>
- [41]. SIAP-SAGARPA. (2021a). Anuario estadístico de la producción agrícola. En ciclos perennes 2021 en modalidad riego-temporal. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 27 de mayo de 2022.
- [42]. SIAP-SAGARPA. (2021b). Anuario estadístico de la producción agrícola. En ciclos perennes 2021 modalidad riego-temporal en La Región Lagunera: Coahuila, Durango, México. <https://nube.SIAP.https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fechade consulta: 1 de junio de 2021.
- [43]. SIAP-SAGARPA. (2021c). Anuario Estadístico de la producción agrícolas nacional por cultivo en ciclos perennes 2021 modalidad riego-temporal: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>: Fecha de consulta 26 de mayo 2022.
- [44]. Silpi, U., Lacoite, A., Kasempsap, P., Thanysawanyangkura, S., Chantuma, P., Gohet, E., Musigamart, N., Clément, A., Améglio, T., y Thaler, P. (2007).

- Carbohydrate reserves as a competing sink: Evidence from tapping rubber trees. *Tree Physiology*, 27(6), 881–889. <https://doi.org/10.1093/treephys/27.6.881>
- [45]. Smith, M. W., Cheary, B. S., y Carroll, B. L. (2004). Response of pecan to nitrogen rate and nitrogen application time. *HortScience*, 39(6), 1412–1415. <https://doi.org/10.21273/hortsci.39.6.1412>
- [46]. Staswick, P. . E. (1994). Storage Proteins of Vegetative Plant Tissues. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 45(1), 303–322. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.45.060194.001511>
- [47]. Tromp, J. (1983). Nutrient reserves in roots of fruit trees, in particular carbohydrates and nitrogen. *Plant and Soil*, 71(1), 401–413. <https://doi.org/10.1007/BF02182682>
- [48]. USDA. (2019). <https://plants.usda.gov/home/plantProfile?symbol=CAIL2>. Fecha de consulta: 26 de mayo 2022.
- [49]. Usola, M., Villar-Salvador, P., Gross, P., y Maillard, P. (2015). Fast growth involves greater use of stored resources for seedling spring shoot growth in Mediterranean evergreen trees. *Annals of Botany*, 115(6), 1001–1013.
- [50]. Valenzuela-Núñez, L. M., Briceño-Contreras, E. A., Esparza-Rivera, J. R., García-De-la-Peña, C., Rodríguez-Bautista, G., y Núñez-Colima, J. A. (2019). Cambios estacionales en la concentración de azúcares solubles en órganos perennes de nogal [(*Carya illinoensis* (Wangenh.) Koch)]. *Acta Universitaria*, 29, 1–13. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2423>
- [51]. Valenzuela-Núñez, L. M., Ortiz-Sánchez, I. A., González-Cervantes, G., García de la Peña, C., Potisek-Talavera, C., Briceño-Contreras, E. A., Espino-Castillo, D. A., Barraza-Moran, S., y Núñez-Colima, J. A. (2019). Productos orgánicos y fitohormonas: efecto en la concentración de aminoácidos en tubérculos de *Caladium bicolor* en dos etapas fenológicas. In *Tópicos selectos de sustentabilidad: un reto permanente Volumen* (pp. 136–155).
- [52]. Valenzuela, L. ., Gérant, D., Maillard, P., y Bréda, N. (2010). SEASONAL DYNAMICS OF TOTAL SOLUBLE PROTEINS IN ADULT TREES OF *Quercus petraea* (Matts.) Liebl. AND *Fagus sylvatica* L. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(1), 75–83. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v1i1.655>
- [53]. Valenzuela, L. M., Gérant, D., Maillard, P., Bréda, N., Cervantes, G. G., y Cohen, S. I. (2011). Evidence for a 26kDa vegetative storage protein in the stem sapwood of mature pedunculate oak. *Interciencia*, 36(2), 142–147.
- [54]. Wetzal, S., y Greenwood, J. S. (1989). Proteins as a potential nitrogen storage compound in bark and leaves of several softwoods. *Trees*, 3(3), 149–153. <https://doi.org/10.1007/BF00226650>
- [55]. Wiley, E. (2020). Do Carbon Reserves Increase Tree Survival during Stress

- and Following Disturbance? *Current Forestry Reports*, 6(1), 14–25. <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00106-2>
- [56]. Wyka, T. P., Żytkowiak, R., y Oleksyn, J. (2016). Seasonal dynamics of nitrogen level and gas exchange in different cohorts of Scots pine needles: a conflict between nitrogen mobilization and photosynthesis? *European Journal of Forest Research*, 135(3), 483–493. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0947-x>
- [57]. Yang, G., Wei, Q., Huang, H., y Xia, J. (2020). Amino acid transporters in plant cells: A brief review. *Plants*, 9(8), 1–17. <https://doi.org/10.3390/plants9080967>
- [58]. Yao, X., Nie, J., Bai, R., y Sui, X. (2020). Amino acid transporters in plants: Identification and function. *Plants*. <https://doi.org/10.3390/plants9080972>
- [59]. Yokoyama, R., Kuki, H., Kuroha, T., y Nishitani, K. (2016). Arabidopsis regenerating protoplast: A powerful model system for combining the proteomics of cellwall proteins and the visualization of cell wall dynamics. *Proteomes*, 4(4), 2–15. <https://doi.org/10.3390/proteomes4040034>
- [60]. Zhang, X., Misra, A., Nargund, S., Coleman, G. D., y Sriram, G. (2018). Comparison between different D-Dimer cutoff values to assess the individual risk of recurrent venous thromboembolism: Analysis of results obtained in the DULCIS study. *International Journal of Laboratory Hematology*, 93(3), 472–488. <https://doi.org/10.1111/ijlh.12426>