

## Influencia de variables climáticas en el contenido de N en *Carya illinoensis* Koch

### Influence of climatic variables in N content in *Carya illinoensis* Koch

Juan Antonio Núñez Colima<sup>1</sup>, Alejandro Moreno Reséndez<sup>1</sup>, Luis Manuel Valenzuela Núñez<sup>2</sup>, Rafael Rodríguez Martínez<sup>1</sup>, Anselmo González Torres<sup>1</sup>, Cristina García De La Peña<sup>2</sup>, Juan Ramón Esparza Rivera<sup>3</sup> y Jaime Molina Ochoa<sup>4,5</sup>

**Palabras clave:** *Carya*; nogal; N; irradiación; temperatura

**Keywords:** *Carya*; pecan; N; irradiation; temperature

Recepción: 30-01-2019 / Aceptación: 14-03-2019

#### Resumen

En la Comarca Lagunera se estima que la superficie sembrada de nogal (*Carya illinoensis*) es de 9,208 ha<sup>-1</sup>, con un rendimiento aproximado de 1, 459 t de nuez ha<sup>-1</sup>. Las variedades que predominan en la Comarca Lagunera son Wichita y Western. Cuando la demanda de elementos nutritivos en las plantas no puede ser cubierta, estas dependen directamente de los compuestos almacenados. Uno de los elementos nutritivos más demandante por las plantas para su crecimiento y desarrollo es el nitrógeno (N); la falta de este elemento nutritivo puede provocar un bajo crecimiento. Se pretende tener conocimiento de la influencia de las variables ambientales (temperatura, irradiación y humedad relativa) sobre el porcentaje de nitrógeno almacenado en la biomasa de las dos variedades cultivadas en la zona de estudio (Western o Wichita) con la finalidad de contribuir al manejo agronómico. El objetivo del presente trabajo fue observar la variación del contenido de N en el tallo de nogal y desarrollar una función matemática que describa su comportamiento con respecto a variables ambientales (temperatura, humedad relativa, irradiación). El estudio se realizó en el campo experimental de la Universidad Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Se seleccionaron cuatro árboles de aproximadamente 30 años de edad de cada variedad. Se extrajeron virutas cada mes durante un año (julio de 2016 a junio de 2017). El porcentaje de N total se determinó mediante un analizador de gases, la biomasa se estimó mediante ecuaciones alométricas. Se realizó un análisis de varianza de dos factores (mes y variedad), para observar la diferencia entre el porcentaje de N en el tallo entre los meses. La relación de las variables ambientales con el porcentaje de N en el tallo se determinó mediante una

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, Programa de Doctorado en Ciencias en Producción Agropecuaria. E-mail: juanantonio\_2111@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas

<sup>3</sup> Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Químicas

<sup>4</sup> Universidad de Colima, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

<sup>5</sup> Universidad de Nebraska Lincoln, Departamento de Entomología

regresión lineal múltiple. El porcentaje de N no fue afectado por los factores (mes y variedad). La temperatura fue la variable que más afectó el contenido de N total en el tallo del árbol en comparación con la humedad relativa e irradiación. No se encontró diferencia significativa entre los meses y las variedades (Western y Wichita). La predicción del contenido de N es menos precisa debido al tamaño del tallo del árbol. El nogal tiende a aumentar el contenido de N cuando se registran bajas temperaturas. Los compuestos almacenados pueden fluctuar en cualquier momento debido a su plasticidad.

### **Abstract**

In the Comarca Lagunera the area estimated of pecan (*Carya illinoensis*) is 9,208 ha<sup>-1</sup>, with an approximate yield of 1, 459 t of pecan ha<sup>-1</sup>. Varieties predominant in the Comarca Lagunera are Wichita and Western. When the demand for nutrients in the plants cannot be covered, they depend directly on the stored compounds. One of the most demanding nutrients by plants for their growth and development is nitrogen (N), the lack of this nutritive element can lead to low growth. It's necessary to know the influence of climate variables (temperature, irradiation and relative humidity) on nitrogen percentage stored in the biomass of two varieties cultivated in the study area (Western and Wichita) in order to contribute to agronomical management. The objective of this research was to observe the variation of the N content in the trunk and to develop a mathematical function that describes its behavior from the environmental variables (temperature, relative humidity, and irradiation). The study was conducted in the experimental field of the Universidad Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Four trees of approximately 30 years of each variety were selected. Cores were extracted monthly for one year (July 2016 to June 2017). The content of total N was determined through gas analyzer, the biomass was estimated by through of allometric equations. An analysis of variance of two factors (month and variety) was performed to observe the difference between the N percentage in the trunk in the different months. The relationship of the environmental variables with the N percentage in the trunk was determined through multiple linear regression. The percentage of N was not affected by the factors (month and variety). The average monthly temperature was the variable that most affected the total N content in the trunk of the tree, in comparison with the relative humidity and irradiation. No significant difference was found between the sampling months and the varieties (Western and Wichita). The prediction of the percentage of N is less precise due to the size of the

trunk of the tree. Pecan tends to increase the N percentage when low temperatures are recorded. The stored compounds can fluctuate at any time due to their plasticity.

---

## **Introducción**

El nogal pecanero (*Carya illinoensis*) es una planta de la familia Juglandaceae (Hurrell *et al.*, 2011, 47) nativo del sur de Estados Unidos y del norte de México (SAGARPA, 2002, 01). Se tienen registros de árboles que han llegado a medir 30 m y alcanzar una edad superior a los 100 años, con una producción individual de más de 100 kg de nuez por año (Medina-Morales, 2004, 446). Según el estudio de Zermeño-González *et al.*, (2014, 24) el 97.39 % de la producción de nuez del país se obtiene en Chihuahua, Nuevo León, Durango y Coahuila.

En la Comarca Lagunera se estimó que en 2016 la superficie sembrada fue de 9,208 ha<sup>-1</sup>, con un rendimiento aproximado de 1, 459 t de nuez ha<sup>-1</sup> (SIAP-SAGARPA, 2016); representando una derrama monetaria de 728 mil millones de pesos aproximadamente (SIAP-SAGARPA, 2016). Las variedades que predominan en los huertos de la Comarca Lagunera son Wichita, presente en un 62 % y la variedad Western que se encuentra presente en el 100 % de las huertas (SAGARPA, 2002, 02).

Las plantas requieren gran cantidad de nutrientes y energía para mantener sus funciones principales (crecimiento, respiración, reproducción y protección) y en diversas ocasiones estas pueden llegar a ocurrir de manera simultánea (Uscola *et al.*, 2015, 814). El nitrógeno (N) es uno de los elementos que tiene más demanda por las plantas, ya que es un elemento nutritivo muy importante para el crecimiento (Frak, 2002, 1043) y el desarrollo (El Zein *et al.*, 2011, 1390). La asimilación del N desde el suelo se ve afectada principalmente por la etapa de desarrollo de la planta (Dawson *et al.*, 2008, 90; Xu *et al.*, 2012, 158) y su falta es un factor limitante para el crecimiento y desarrollo (Ferlian *et al.*, 2017, 17; Frak, 2002, 1043). Cuando la cantidad de elementos nutritivos no pueden ser satisfechos por la absorción, los arboles dependen directamente de los compuestos almacenados en forma de reservas (como proteínas, aminoácidos y nitratos en el caso de compuestos nitrogenados) (Villar-Salvador *et al.*, 2015, 814).

Existen compuestos que se pueden almacenar en todos los órganos de la planta o en órganos específicos y se movilizan para apoyar el crecimiento y el funcionamiento (Face, 2013, 1096). En los arboles caducifolios existen compuestos que se almacenan anualmente durante la

caída de las hojas y se movilizan en primavera (Bazot *et al.*, 2013, 1024; Gilson *et al.*, 2014, 117; Rennenberg *et al.*, 2010, 276).

Los estudios realizados sobre las reservas de N se han llevado a cabo en plantas herbáceas anuales (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2010, 76), mientras las investigaciones en especies leñosas son escasas, resaltando *Populus spp.* (Cooke y Weih, 2005, 20), *Hevea brasiliensis* (Tian *et al.*, 1998, 153), *Swietenia macrophylla* (Tian *et al.*, 2003, 492), *Picea sitchensis* (Proe y Millard, 1994, 76), *Prunus avium* (Millard *et al.*, 2006, 528), *Quercus robur* (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2011, 142) y *Pyrus pyrifolia* (Marafon *et al.*, 2016, 1137), sin embargo, la mayoría de los trabajos se han realizado en condiciones controladas (Millard y Grelet, 2010, 1083).

Los estudios que abordan el almacenamiento de compuestos nitrogenados en el tallo (El Zein *et al.*, 2011, 1391) y la movilización de nutrientes hacia los tejidos de nuevo crecimiento son escasos (Villar-Salvador *et al.*, 2015, 819). En múltiples ocasiones los elementos nutritivos satisfacen la demanda de las plantas, ya sea por factores ambientales o por su disponibilidad en el medio ambiente (Millard y Grelet, 2010, 1091). La longevidad de los árboles no permite una adaptación rápida a los cambios ambientales, propiciando que sean susceptibles a los efectos del cambio climático (Sellin *et al.*, 2017, 2136; Zwieniecki y Secchi, 2015, 4).

Los cambios ambientales pueden aumentar o retrasar el crecimiento de los árboles (Sellin *et al.*, 2017, 2136). La baja humedad relativa puede causar un descenso en la productividad y la biomasa de los árboles (Lendzion y Leuschner 2008,649; Sellin *et al.*, 2017, 2143), de igual forma la radiación puede reducir el crecimiento de las plantas (Dengel *et al.*, 2009, 548) y se ha comprobado que las temperaturas altas influyen sobre el N en los árboles (Coder, 2016, 03). Debido a que el nitrógeno es un elemento nutritivo que se almacena en los órganos perennes durante el otoño e invierno y se moviliza durante la primavera hacia el nuevo crecimiento, se pretende tener conocimiento de la influencia de las variables ambientales (temperatura, irradiación y humedad relativa) sobre el porcentaje de nitrógeno almacenado en la biomasa de las dos variedades cultivadas en la zona de estudio (Western o Wichita) con la finalidad de contribuir al manejo agronómico. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la variación del contenido de N en nogal durante un ciclo anual productivo de las variedades Wichita y Western y desarrollar una función matemática que describa el comportamiento del contenido de N con respecto a variables ambientales (temperatura, humedad relativa, irradiación).

## **Método**

### **Área de estudio**

El estudio se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna en Torreón, México en las coordenadas 25° 33'22.63'' LN y 103° 22'07.77'' LW. El clima del área de estudio es muy seco semiárido (BWh) (Briceño-Contreras *et al.*, 2018, 4163), con una precipitación promedio anual de 189.6 mm, una temperatura media anual de 22.64 °C (SAGARPA-INIFAP, 2017) y con una altitud media de 1,120 m.

### **Muestreo**

El muestreo realizado fue sistemático para cada una de las variedades (Western y Wichita), de acuerdo a la metodología desarrollada por (Briceño-Contreras *et al.*, 2018, 4164; Espino-Castillo *et al.*, 2018, 311; Valenzuela-Núñez *et al.*, 2010, 76; Valenzuela-Núñez *et al.*, 2011, 142; Valenzuela Núñez *et al.*, 2014, 35). Cuatro árboles jóvenes de una edad aproximada de 30 años fueron seleccionados de manera intercalada en el centro de la huerta, para minimizar el efecto borde. Se extrajeron muestras de manera mensual durante un ciclo anual productivo desde julio de 2016 hasta junio de 2017. Para cada uno de los árboles se extrajo una viruta en el tallo a una altura de 1.3 m con la ayuda de un taladro Pressler (Haglof BS072 ®). Las muestras se introdujeron en una hielera para ser transportadas al laboratorio siguiendo la metodología de Briceño-Contreras *et al.* (2018, 4164).

### **Procesamiento de las muestras**

Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Biología y Ecología Forestal en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango; se introdujeron y se etiquetaron en bolsas de papel aluminio previamente perforadas para su conservación. Las muestras se congelaron con N líquido, después se almacenaron en un ultracongelador (Revco Value Plus® Thermo Scientific®) a una temperatura de -70 °C, para posteriormente someterlas a un proceso de liofilización (Liofilizador Labconco® Freezone Triad Freeze Dry Systems®) durante siete días a -40 °C con el propósito de deshidratar las muestras y evitar toda actividad enzimática. Una vez liofilizadas las muestras fueron molidas en un equipo Pulverisette 15 Fritsch® para obtener un polvo fino.

### **Determinación de N total**

La determinación de N total se realizó en el Laboratorio de Genética INRA-URP3F Génétique en el Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) del Centre de Recherche Nouvelle-Aquitaine- Poitiers, Francia y se determinó la cantidad de N total expresado en kg y en porcentaje en la muestra por medio de un analizador elemental de gases (Thermo Scientific® Flash 2000 Organic Elemental Analyzer ®).

### **Estimación de la biomasa del tallo del árbol**

Para calcular el volumen de madera de cada uno de los tallos de los arboles fue necesario utilizar los valores de densidad de la madera determinados para nogal por el (INTI-CITEMA, 2003, 8) además del uso de ecuaciones alométricas en *Carya* según (Rodríguez-Laguna *et al.*, 2006, 180). La biomasa del tallo se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Biomasa del tronco (g)} = -320.9 * \text{Diámetro (1.30 m)} * 332.2 * \text{Diámetro (1.30m)}^2$$

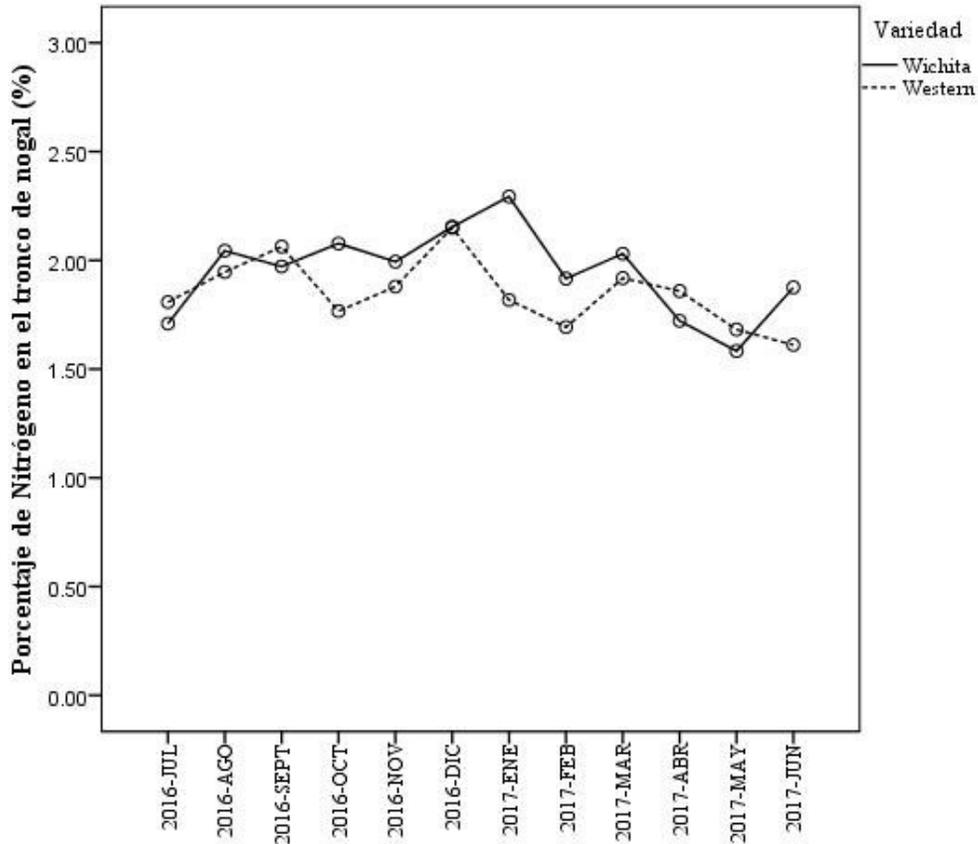
Una vez calculado el contenido de N (kg) en el tallo, se utilizó una regla de tres simple para calcular el porcentaje de nitrógeno contenido en el tallo del nogal. La radiación, la humedad relativa y la temperatura media mensual fueron obtenidas de la base de datos del INIFAP campo experimental La Laguna (INIFAP, 2018).

### **Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianza de dos factores (variedad, mes e interacción) para observar la influencia sobre el porcentaje de N en el tallo del árbol; asimismo se realizó un análisis de regresión lineal múltiple para observar la influencia de las variables ambientales (temperatura, humedad relativa e irradiación) sobre el porcentaje de N en el tallo del árbol. Una vez determinada la variable que más influyó sobre el porcentaje de N se realizó un análisis de regresión lineal simple para observar su comportamiento con respecto al porcentaje de N en el tallo de nogal. Los procedimientos fueron realizados con la ayuda del software SPSS 18, con un nivel de significancia de 0.05.

**Resultados**

Las variedades (Wichita y Western) de nogal ( $F=0.846$ ,  $g.l.= 1,72$ ,  $P = 0.361$ ), así como los meses del año ( $F=0.682$ ,  $g.l.= 11, 72$ ,  $P= 0.751$ ) y la interacción (mes y variedad) ( $F=0.273$ ,  $g.l. = 11, 72$ ,  $P=0.989$ ) (Figura 1) no influyeron significativamente en el porcentaje de N en el tallo de los árboles. La variedad Wichita estadísticamente fue igual a la variedad Western.



**Figura 1.** Porcentaje mensual de N en las variedades de nogal Wichita y Western durante un ciclo anual productivo en Torreón, Coahuila

El resultado del análisis de regresión lineal múltiple de la variedad Western indicó que la temperatura, la irradiación y la humedad relativa no predicen de manera significativa la acumulación de N en el tallo del árbol ( $F = 1.99$ ,  $g.l. = 3,8$ ,  $P = 0.193$ ,  $R^2= 0.42$ ).

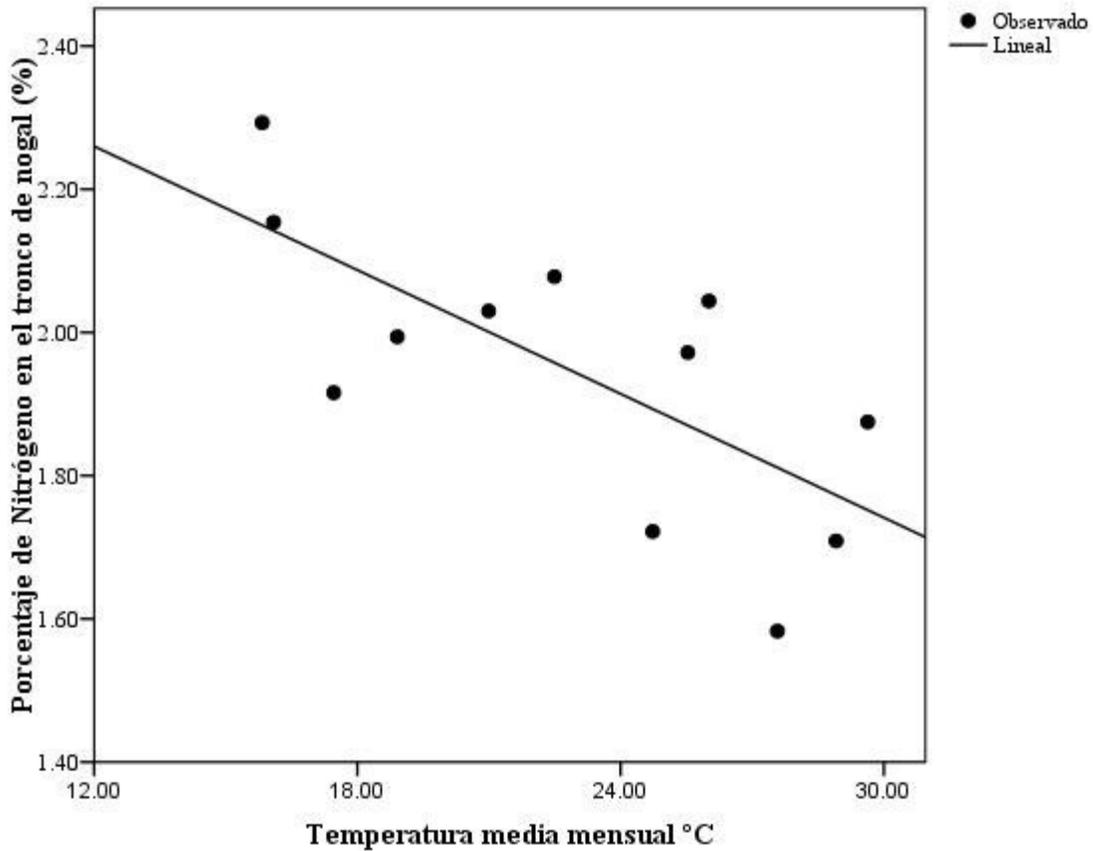
El resultado del análisis de regresión lineal múltiple de la variedad Wichita indicó que la temperatura, la irradiación y la humedad relativa predicen de manera significativa la acumulación de N en el tallo del árbol para la variedad Wichita ( $F = 5.81$ ,  $g.l. = 3,8$ ,  $P = 0.02$ ,  $R^2= 0.68$ ). La

ecuación de regresión obtenida para la acumulación del porcentaje N fue la siguiente, siendo la temperatura media mensual la variable que más influyó en el porcentaje de N en el tallo de nogal de esta variedad.

El resultado del análisis de regresión simple indicó que la temperatura predijo de manera significativa la acumulación de N en el tallo del árbol en la variedad Wichita ( $F = 10.07$ , g.l. = 1,10,  $P = 0.010$ ,  $R^2 = 0.50$ ). La ecuación de la regresión obtenida fue la siguiente:

$$N = 2.602 - 0.029(\text{Temperatura})$$

Se observó que la relación entre la temperatura y el porcentaje de N fue inversamente proporcional, ya que si la temperatura es mayor el porcentaje de N en el tallo tiende a decrecer, y si la temperatura es menor el porcentaje de N aumenta como se puede observar en la Figura 2.



**Figura 2.** Regresión lineal simple entre la temperatura (°C) y el porcentaje de N en el tallo de nogal variedad Wichita durante un ciclo anual productivo en Torreón, Coahuila, México

## **Discusión o Conclusiones**

Los resultados obtenidos no concuerdan con lo observado por Muñoz *et al.* (1993, 268) ya que reportaron un aumento en el N en los tejidos desde agosto a noviembre en *Prunus persica*. Además Jordan *et al.*, (2014, 61) encontró que en *Prunus persica* el N aumenta a finales de otoño. En las especies leñosas caducifolias, la reabsorción de N normalmente tiene lugar en otoño, ya que el follaje envejece en respuesta a las bajas temperaturas o a la disminución del fotoperiodo (Yasumura *et al.*, 2005, 29). Sin embargo Cheng y Fuchigami, (2002, 1299) y Jordan *et al.*, (2014, 62) reportaron que las observaciones en el contenido de N pueden alterarse debido a la movilización de este elemento, antes de la caída de las hojas hacia los órganos perenes.

Los resultados en la variedad Western son similares a lo reportado por Northup *et al.*, (2005, 35) ya que presentó contenidos muy similares en *C. pallida*, *C. taxensis*, *E. texana* y *S. cuneifolia* (1.69 %, 1.37 %, 1.27 % y 1.29 % respectivamente). Los resultados en la variedad Wichita coinciden con lo reportado con Northup *et al.* (2005, 35) en *G. angustifolia* donde se encontró que los porcentajes de N fueron de 2.70 %.

El presente estudio difiere con lo reportado por Gérant (2017, 793) en *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake en el que se comparó el porcentaje de N en la materia seca a diferentes alturas del tallo en septiembre y en abril, observándose un ligero aumento en el porcentaje de N en septiembre. Asimismo, los resultados de este estudio de las dos variedades concuerdan con lo reportado por Jordan *et al.* (2014, 68) en árboles de *Prunus persica* para el mes de mayo donde se reportó 1.39 % de contenido de N.

Por otra parte el porcentaje de N en las dos variedades (Western y Wichita) coincide con los reportados por Windels *et al.*, (2003, 529), en los tallos de *Acacia berlandieri* (1.8 a 6.0 %). El porcentaje de N en el tallo en las dos variedades es superior a lo reportado por Gérant *et al.*, (2017, 793) en *Eucalyptus urophylla* S.T. y Northup *et al.* (2005, 35) en el tallo de *Acacia farnesiana*. Los resultados de este estudio también concuerdan con lo reportado por Ledgard y Smith (1992, 62) en kiwi (*Actinidia deliciosa*) ya que no se reportaron cambios en el porcentaje de N ( $p > 0.05$ ) en el tallo.

Los compuestos almacenados tienen tendencia a fluctuar a corto plazo (horas-días) porque muestran plasticidad en la planta y varían conforme a los factores ambientales (Villar-Salvador *et al.*, 2015, 815). El N se ve afectado por el frío y la sequía, pero no existe un consenso claro sobre la magnitud o la dirección de su efecto (Villar-Salvador *et al.*, 2013, 222).

Sin embargo Zhu *et al.*, (2001, 250) reportan que un alto contenido de N puede reducir la tolerancia a las heladas de las plántulas o promover la resistencia al frío. La baja concentración de N en los tejidos generalmente dificulta la aclimatación en frío (Taulavuori *et al.*, 2014, 135).

En el presente estudio se puede observar que el porcentaje de N es mayor cuando la temperatura es baja. Taulavuori *et al.*, (2014, 134) realizaron una revisión de los estudios publicados de 1990 hasta el 2014 y reportaron que en 40 % de los casos un alto contenido de N aumenta la resistencia a heladas, también comprobando además que cuando existe un mayor contenido de N en los tejidos también aumenta la tolerancia a bajas temperaturas. Villar-Salvador *et al.*, (2015, 823) establecen que la movilización de los recursos almacenados muestra plasticidad y varía según los factores ambientales y endógenos en las plantas. Gérant *et al.* (2017, 796) asociaron las fuertes fluctuaciones de N a las estaciones secas y lluviosas. Lenzion y Leuschner (2008, 654) señalan que una combinación de precipitación, veranos calurosos, heladas tardías, frialdad extrema en el invierno y un corto período de vegetación probablemente influyen en el contenido de N, aunque los estudios sobre los efectos de alta temperatura en el crecimiento de árboles de hoja caduca han reportado que el calentamiento promueve el crecimiento (Way y Oren, 2010, 669).

En el presente estudio se observa una tendencia de disminución en el porcentaje de N contenido en el tallo del árbol cuando aumenta la temperatura. Coder (2016, 03) reportó que las temperaturas altas pueden dañar e inducir la muerte de los tejidos en los árboles. El estrés por calor afecta la función de la planta desde la escala celular hasta la planta completa (Marias *et al.*, 2017, 302 ). El aumento de la temperatura actúa directamente sobre la membrana celular y deshidrata el tejido, dentro de los meristemos (puntos o áreas de crecimiento), la división y expansión celular se inhiben y la regulación del crecimiento se interrumpe (Coder, 2016, 04). En el estudio realizado por Way y Oren (2010, 6787) en *Quercus rubra* también se observó un efecto negativo de la temperatura elevada sobre el crecimiento lineal y sustancial, lo que concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio.

McClaran *et al.*, (2013, 39) utilizaron ecuaciones para estimar el contenido de N en *Prosopis velutina*, obteniendo una correlación positiva con una  $R^2 = 0.90$  utilizando una función de potencia, lo que difiere en el presente estudio ya que una vez realizada la regresión lineal múltiple se identificó la variable que más influía en el porcentaje de N en el tallo (temperatura); la ecuación que se ajustó de mejor manera a los resultados fue de tipo lineal para la variedad

Wichita con una  $R^2 = 0.50$  para esta variedad. Northup *et al.* (2005, 29) encontraron que las predicciones de biomasa de tallos grandes son menos precisas que la de tallos pequeños ( $x > 2.5$ ), y se encontraron una baja relación, ( $R^2 = 0.32$ ) no significativa en *Z. fargara* (por debajo de los valores reportados en el presente estudio).

La respuesta de los árboles a la sequía depende de muchos factores ambientales y relacionados con el sitio, como la precipitación, la temperatura, la topografía y las características del suelo (Lévesque *et al.*, 2014, 02; Weber *et al.*, 2013, 179). Los resultados del presente estudio así como el de Wertin *et al.* (2011, 1287) indican que las plantas pueden responder de manera positiva o negativa a la temperaturas, además de que esto puede ser atribuido a la ubicación del sitio de crecimiento, dentro del rango geográfico de una especie en particular. El N es un elemento muy importante para las plantas, pero así como toda reserva vegetativa tiende a fluctuar con respecto a diferentes variables ambientales.

### **Agradecimientos**

Se agradece al Dr. Ángel Lagarda Murrieta las facilidades otorgadas para la realización del muestreo de la UAAAN, y al Laboratorio de Ecología Forestal de la UJED por permitir el uso de su equipo, al Dr. Abraham J. Escobar-Gutierrez así como al laboratorio de genética INRA-URP3F Génétique en el Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) y al Centre de Recherche Nouvelle-Aquitaine- Poitiers, Francia por permitirme la oportunidad de realizar una estancia de investigación con el propósito de determinar el contenido de N total, y finalmente al CONACYT por el gran apoyo económico brindado en la realización del presente estudio.

### **Referencias**

- Bazot, Stephane, Laure Barthes, D. Blanot y C. Fresneau. (2013). Distribution of non-structural nitrogen and carbohydrate compounds in mature oak trees in a temperate forest at four key phenological stages. *Trees - Structure and Function* 27 (4):1023–34. <<https://doi.org/10.1007/s00468-013-0853-5>>.
- Briceño-Contreras, Edwin Amir, Luis Manuel Valenzuela-Núñez, Daniel Alejandro Espino-Castillo, Cristina García-De La Peña, Juan Ramon Esparza-Rivera y Amparo Borja-De La Rosa. (2018). Contenido de almidón en organos de nogal (*Carya illinoensis*) en dos etapas fenológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1 (20):1–20.

- Cheng, Lailang y Leslie H. Fuchigami. (2002). Growth of young apple trees in relation to reserve nitrogen and carbohydrates. *Tree Physiology* 22 (18):1297–1303 <<https://doi.org/10.1093/treephys/22.18.1297>>.
- Coder, Kim D. (2016). Heat Damage In Trees. University of Georgia. Agosto 2016
- Cooke, Janice E. K. y Martin Weih. (2005). Nitrogen storage and seasonal nitrogen cycling in populus: bridging molecular physiology and ecophysiology. *New Phytologist* 167 (1):19–30. <<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01451.x>>
- Dawson, Julie C., David R. Huggins y Stephen S. Jones. (2008). Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. *Field Crops Research* 107 (2): 89–101. <<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.01.001>>.
- Dengel, Sigrid, Dominik Aebly y John Grace. (2009). A relationship between galactic cosmic radiation and tree rings. *The New Phytologist* 184 (3):545–51. <<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03026.x>>
- El Zein, Rana, Nathalie Bréda, Dominique Gérant, Bernd Zeller y P. Maillard. (2011). Nitrogen sources for current-year shoot growth in 50-year-old sessile oak trees: an in situ <sup>15</sup>N labeling approach. *Tree Physiology* 31 (12):1390–1400. <<https://doi.org/10.1093/treephys/tpr118>>.
- Espino-Castillo, Daniel Alejandro, Luis Manuel Valenzuela-Núñez, German Rodríguez-Bautista, Juan Ramón Esparza-Rivera, Cristina García-de-la-Peña, Juan Porfirio Legaria-Solano y Edwin Amir Briceño-Contreras. (2018). Evidencia de una proteína de reserva vegetativa de 20 kDa en raíz de nogal (*Carya illinoensis* Koch) durante la etapa de letargo. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, 5(14): 309-317. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1616>
- Face, Duke. (2013). Does Carbon Storage Limit Tree? *New Phytologist* 201 (2014):1096–1100.
- Ferlian, Olga, Christian Wirth y Nico Eisenhauer. (2017). Leaf and root C-to-N ratios are poor predictors of soil microbial biomass C and respiration across 32 tree species. *Pedobiologia*. <<https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2017.06.005>>.
- Frak, Ela, Peter Millard, Xavier Le Roux, Sabine Guillaumie y Renate Wendler. (2002). Coupling sap flow velocity and amino acid concentrations as an alternative method to

- <sup>15</sup>N labeling for quantifying nitrogen remobilization by walnut trees. *Plant Physiology* 130 (2):1043–53. <<https://doi.org/10.1104/pp.002139>>.
- Gérant, Dominique, Morgane Pluchon, Louis Mareschal, Lydie Stella Koutika y Daniel Epron. (2017). Seasonality of nitrogen partitioning (non-structural vs structural) in the leaves and woody tissues of tropical eucalypts experiencing a marked dry season. *Tree Physiology* 37 (6):790–98 <<https://doi.org/10.1093/treephys/tpx032>>.
- Gilson, Angélique, Laure Barthes, Nicolas Delpierre, Éric Dufrêne, Chantal Fresneau y Stéphane Bazot. (2014). Seasonal changes in carbon and nitrogen compound concentrations in a *Quercus Petraea* chronosequence. *Tree Physiology* 34 (7):716–729. <<https://doi.org/10.1093/treephys/tpu060>>
- Hurrell, Julio A., Gustavo Delucchi y Héctor A. Keller. (2011). *Carya Illinoensis*. *Bonplandia* 20 (1):47–54
- Instituto Nacion de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2018). <<http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/Estaciones/ConsultaDiarios15Min?Estado=5&Estacion=26812>> (24 July 2018)
- INTI-CITEMA. (2003). Catálogo de densidad de maderas por nombre científico. (Buenos Aires, Argentina).
- Jordan, Marie Odile, Gilles Vercambre, Laurent Gomez, Loïc Pagès y Peter Millard. (2014). The early spring n uptake of young peach trees (*Prunus Persica*) is affected by past and current fertilizations and levels of C and N stores. *Tree Physiology* 34 (1):61–72. <<https://doi.org/10.1093/treephys/tpt109>>.
- Ledgard, S. F. y G. S. Smith. (1992). Fate of lsn-labelled nitrogen fertilizer applied to kiwifruit (*Actinidia Deliciosa*) vines. *Plant and Soil*. 147. 59–68.
- Lenzion, Jasmin y Christoph Leuschner. (2008). Growth of European beech (*Fagus Sylvatica* L.) saplings is limited by elevated atmospheric vapour pressure deficits. *Forest Ecology and Management* 256 (4):648–55. <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.008>>
- Lévesque, Mathieu, Andreas Rigling, Harald Bugmann, Pascale Weber y Peter Brang. (2014). Growth response of five co-occurring conifers to drought across a wide climatic gradient in central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* 197 (2014):1–12. <<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.06.001>>.

- Marafon, Anderson Carlos, Flavio Gilberto Herter, Fernando José Hawerth y Adriana Neutzling Bierhals. (2016). Free amino acids in the xylem sap of pear trees during dormancy. *Ciência Rural*. Santa Maria 46 (7):1136–41. <<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131515>>
- Marias, Danielle E., Frederick C. Meinzer, David R. Woodruff y Katherine A. McCulloh. (2017). Thermotolerance and heat stress responses of douglas-fir and ponderosa pine seedling populations from contrasting climates. *Tree Physiology* 37 (3):301–15. <<https://doi.org/10.1093/treephys/tpw117>>.
- McClaran, M. P., C. R. McMurtry y S. R. Archer. (2013). A tool for estimating impacts of woody encroachment in arid grasslands: Allometric equations for biomass, carbon and nitrogen content in *Prosopis Velutina*. *Journal of Arid Environments* 88 (2013):39–42. <<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.08.015>>.
- Medina-Morales, Ma. del Consuelo. (2004). Normas dris preliminares para nogal pecanero. *Terra Latinomaericana* 22 (4): 445–50.
- Millard, Peter y Gwen Aelle Grelet. (2010). Nitrogen storage and remobilization by trees: ecophysiological relevance in a changing world *Tree Physiology* (9):1083–95. <<https://doi.org/10.1093/treephys/tpq042>>.
- Millard, Peter, Renate Wendler, Giacomo Grassi, Gwen-Aelle Grelet y Massimo Tagliavini. (2006). Translocation of nitrogen in the xylem of field-grown cherry and poplar trees during remobilization. *Tree Physiology* 26 (4):527–36. <<https://doi.org/10.1093/treephys/26.4.527>>.
- Muñoz, N., J. Guerri, F. Legaz y E. Primo-millo. (1993). Seasonal uptake of <sup>15</sup>N-nitrate and distribution of absorbed nitrogen in peach trees. *Plant and Soil* 150 (2):263–69. <<https://doi.org/10.1007/BF00013023>>
- Northup, B. K., S. F. Zitzer, S. Archer, C. R. McMurtry y T. W. Boutton. (2005). Above-ground biomass and carbon and nitrogen content of woody species in a subtropical thornscrub parkland. *Journal of Arid Environments* 62 (1):23–43. <<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.09.019>>.
- Proe, M. F. y Peter Millard. (1994). Relationships between nutrient supply, nitrogen partitioning and growth in young sitka spruce (*Picea Sitchensis*). *Tree Physiology* 14 (1):75–88. <<https://doi.org/10.1093/treephys/14.1.75>>.

- Rennenberg, H., H. Wildhagen y B. Ehlting. (2010). Nitrogen nutrition of poplar trees. *Plant Biology* 12 (2):275–91. <<https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00309.x>>.
- Rodríguez-Laguna, Rodrigo, Javier Jiménez-Pérez, Oscar Aguirre-Calderón y Eduardo Javier Treviño-Garza. (2006). Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia UANL* 9 (2):179–87. <<http://eprints.uanl.mx/1750/>>
- Secretaria de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2002). Tecnología de Producción En Nogal Pecanero. <<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>>
- Secretaria de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (SAGARPA-INIFAP). (2017). Estación Meteorológica: Campo Experimental La Laguna. <<http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/Historicos/Datos?Estado=5&Estacion=26812&Anio=2017&Mes=>> (6 February 2018)
- Sellin, Arne, Meeli Alber, Markku Keinänen, Priit Kupper, Jenna Lihavainen, Krista Lõhmus, Elina Oksanen, Anu Sõber, Jaak Sõber y Arvo Tullus. (2017). Growth of northern deciduous trees under increasing atmospheric humidity: possible mechanisms behind the growth retardation. *Regional Environmental Change* 17 (7): 2135–48 <<https://doi.org/10.1007/s10113-016-1042-z>>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaria de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SIAP-SAGARPA). (2016). Cierre de la producción agrícola por cultivo en ciclos perennes 2016 modalidad riego en la región Lagunera. México. [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gob](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gob). (16 Febrero 2018)
- Taulavuori, Kari, Erja Taulavuori y Lucy J. Sheppard. (2014). Truths or myths, fact or fiction, setting the record straight concerning nitrogen effects on levels of frost hardiness. *Environmental and Experimental Botany* 106 (2014):132–37. <<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.12.022>>.
- Tian, Wei-Min, Ji-Lin Wu, Bing-Zhong Hao y Zheng-Hai Hu. (2003). Vegetative storage proteins in the tropical tree *Swietenia Macrophylla*: seasonal fluctuation in relation to a fundamental role in the regulation of tree growth. *Canadian Journal of Botany* 81 (5):492–500. <<https://doi.org/10.1139/b03-045>>.

- Tian, Wei Min, Ya Qin Han, Ji Lin Wu y Bing Zhong Hao. (1998). Characteristics of protein-storing cells associated with a 67 kda protein in *Hevea Brasiliensis*. *Trees - Structure and Function* 12 (3):153–59. <<https://doi.org/10.1007/s004680050134>>.
- Uscola, Mercedes, Pedro Villar-Salvador, Patrick Gross y Pascale Maillard. (2015). Fast growth involves high dependence on stored resources in seedlings of mediterranean evergreen trees. *Annals of Botany* 115 (6):1001–13. <<https://doi.org/10.1093/aob/mcv019>>.
- Valenzuela-Núñez, Luis Manuel, Dominique Gérant, Pascale Maillard y Nathalie Bréda. (2010). Seasonal dynamics of total soluble proteins in adult trees of *Quercus Petraea* (Matts.) Liebl. and *Fagus Sylvatica* L. *Revista Mexicana Ciencias Forestales* 1 (1):75–83.
- Valenzuela-Núñez, Luis Manuel, Dominique Gérant, Pascale Maillard, Nathalie Bréda, Guillermo González-Cervantes y Ignacio Sánchez-Cohen. (2011). Evidence for a 26kDa vegetative storage protein in the stem sapwood of mature pedunculate oak. *Interciencia* 36 (2):142–47.
- Valenzuela Núñez, Luis Manuel, Pascale Maillard, José Luis González Barrios, y Guillermo González Cervantes. (2014). Carbohydrate balance in different plant compartments of oak (*Quercus petraea*) and beech (*Fagus sylvatica*) subjected to defoliation and shade. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, XIII(1): 33–38. <https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2012.06.027>
- Villar-Salvador, Pedro, Juan L. Peñuelas y Douglass F. Jacobs. (2013). Nitrogen nutrition and drought hardening exert opposite effects on the stress tolerance of *Pinus Pinea* L. seedlings. *Tree Physiology* 33 (2):221–32. <<https://doi.org/10.1093/treephys/tps133>>
- Villar-Salvador, Pedro, Mercedes Uscola y Douglass F. Jacobs. (2015). The role of stored carbohydrates and nitrogen in the growth and stress tolerance of planted forest trees. *New Forests* 46 (5-6):813–39. <<https://doi.org/10.1007/s11056-015-9499-z>>
- Way, Danielle A. y Ram Oren. (2010). Differential responses to changes in growth temperature between trees from different functional groups and biomes: a review and synthesis of data. *Tree Physiology* 30 (6):669–88. <<https://doi.org/10.1093/treephys/tpq015>>.
- Weber, P., H. Bugmann, A. R. Pluess, L. Walthert y A. Rigling (2013). Drought response and changing mean sensitivity of european beech close to the dry distribution limit. *Trees - Structure and Function* 27 (1):171–81. <<https://doi.org/10.1007/s00468-012-0786-4>>

- Wertin, Timothy M., Mary Anne McGuire, Robert O. Teskey y David Tissue. (2011). Higher growth temperatures decreased net carbon assimilation and biomass accumulation of northern red oak seedlings near the southern limit of the species range. *Tree Physiology* 31 (12):1277–88. <<https://doi.org/10.1093/treephys/tpr091>>.
- Windels, S.K., D.G. Hewitt y D.A. Forbes. (2003). Effects of Aeration on Phenolic Amine Content of Guajillo. *Journal of Range Management* 56 (5):529-533. <<https://doi.org/10.2307/4003846>>
- Xu, G H, X Fan y A. J. Miller. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology* 63 (1):153–82. <<https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105532>>.
- Yasumura, Yuko, Yusuke Onoda, Kouki Hikosaka y Tadaki Hirose (2005). Nitrogen resorption from leaves under different growth irradiance in three deciduous woody species. *Plant Ecology* 178 (1):29–37. <<https://doi.org/10.1007/s11258-004-2485-8>>.
- Zermeño-Gonzalez, Alejandro, Claudia Cruz-Santes, Juan Plutarco Munguía-López, Ernesto Alonso Catalán-Valencia, Santos Gabriel Campos-Magaña y Javier de Jesús Cortés-Bracho. (2014). Efecto del sistema de riego y clima en la eficiencia del uso de agua de nogal pecanero. *Terra Latinomaericana* 32 (1):23–33.
- Zhu, X. B., R. M. Cox, F. R. Meng y P. A. Arp. (2001). Responses of xylem cavitation, freezing injury and shoot dieback to a simulated winter thaw in yellow birch seedlings growing in different nursery culture regimes. *Forest Ecology and Management* 145 (3):243–53. <[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00440-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00440-0)>.
- Zwieniecki, Maciej A. y Francesca Secchi. (2015). Threats to xylem hydraulic function of trees under “new climate normal” conditions plant. *Cell and Environment* 38 (9):1713–24. <<https://doi.org/10.1111/pce.12412>>