

Factores ambientales y su relación con el nitrógeno contenido en proteínas solubles totales (PST) en *Carya illinoensis*

Environmental factors and their relationship with the nitrogen content of total soluble proteins (TSP) in *Carya illinoensis*

Juan Antonio Núñez-Colima¹, Cristina García-De La Peña^{*4}, Luis Manuel Valenzuela-Núñez², Anselmo González-Torres¹, Juan Ramón Esparza-Rivera³, Rafael Rodríguez-Martínez¹

¹Programa de Doctorado en Ciencias en Producción Agropecuaria, UAAAN-Unidad Laguna.

²Laboratorio de Biología y Ecología Forestal. Facultad de Ciencias Biológicas UJED. Av. Universidad S/N Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Dgo. México C. P. 35010.

³Facultad de Ciencias Químicas UJED Av. Universidad S/N Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Dgo. México C. P. 35010.

⁴Laboratorio de Medicina de la Conservación. Facultad de Ciencias Biológicas UJED. Av. Universidad S/N Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Dgo. México C. P. 35010. Teléfono (8717152077). cristina.g.delapena@gmail.com

*Autor de correspondencia

Resumen

El nitrógeno es uno de los elementos nutritivos más importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Este se almacena en los órganos perennes en forma de proteínas durante el otoño e invierno y se moviliza hacia los brotes durante la primavera. El presente estudio pretendió determinar qué variables ambientales tienen un efecto en el contenido de nitrógeno proteico almacenado en el tallo de nogal pecanero. Se seleccionaron cuatro árboles de cada variedad, y se extrajeron muestras de tronco mensualmente durante un ciclo anual productivo. Se realizó un análisis de regresión lineal múltiple para observar la influencia de las variables ambientales. Los resultados obtenidos sugieren que se puede predecir significativamente el contenido de nitrógeno proteico a partir de las variables temperatura, irradiación y humedad relativa.

Palabras clave: Nogal; nutrición; reservas; medio ambiente.

Abstract

Nitrogen is one of the most important nutritive elements for the growth and development of plants. Nitrogen is stored in perennial organs in the form of proteins during the fall and winter and is mobilized to the shoots during the spring. The present study aimed to determine which environmental variables influence the protein nitrogen content stored in the pecan stem. Four trees of each variety were selected, and trunk samples were extracted monthly during an annual productive cycle. A multiple linear regression analysis was performed to observe the influence of environmental variables. The results obtained suggest that the protein nitrogen content can be predicted from the variables temperature, irradiation, and relative humidity.

Keywords: Pecan; nutrition; reserves; environment.

Recibido: 31 de mayo de 2019

Aceptado: 04 de marzo de 2021

Publicado: 12 de mayo de 2021

Como citar: Núñez-Colima, J. A., García-De La Peña, C., Valenzuela-Núñez, L. M., González-Torres, A., Esparza-Rivera, J. R., & Rodríguez-Martínez, R. (2021). Factores ambientales y su relación con el nitrógeno contenido en proteínas solubles totales (PST) en *Carya illinoensis*. *Acta Universitaria* 31, e2581. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2021.2581>

Introducción

El nogal pecanero (*Carya illinoensis*) es una planta de la familia Juglandaceae (GBIF Secretariat, 2017), nativa del norte de México (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [Sagarpa], 2002). México es uno de los líderes en la producción de nuez a nivel mundial; el 97.39% de la producción de nuez del país se obtiene de los estados de Chihuahua, Nuevo León, Durango y Coahuila (Sagarpa, 2002).

La Comarca Lagunera posee una superficie sembrada de 9208 ha, con un rendimiento aproximado de 1459 t/ha⁻¹ de nuez (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]-Sagarpa, 2016). Las variedades que predominan en los huertos de la Comarca Lagunera son Wichita, que se encuentra presente en el 62% de las huertas laguneras, y Western, presente en el 100% (Sagarpa, 2002).

Las plantas consumen una cantidad significativa de nutrientes y energía para mantener funciones principales, como crecimiento, respiración, reproducción y defensa; en numerosas ocasiones estas ocurren simultáneamente (Chapin *et al.*, 1990; Li & Coleman, 2019; Villar-Salvador *et al.*, 2015). Uno de los elementos que tiene mayor demanda es el nitrógeno, ya que es un elemento nutritivo muy importante para el crecimiento (Butnariu, 2018; Hu *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2017) y el desarrollo (Zein *et al.*, 2011). El nitrógeno constituye parte esencial de ácidos nucleicos y proteínas de las plantas, por ello, es el cuarto elemento más abundante en la biomasa de las plantas (Kox & Jetten, 2015) y esencial para la formación del esqueleto de la clorofila (Moreau *et al.*, 2019), así como para el establecimiento de nuevas estructuras celulares, rutas metabólicas y codificación genética (Baker, 1983). El contenido de nitrógeno total en las plantas se encuentra formado por el nitrógeno proteico, aminoácidos y nitratos (Gomez & Faurobert, 2002; Kang & Titus, 1980).

El déficit de este elemento nutritivo tiene repercusiones en el aspecto productivo, conduciendo, por ejemplo, a tener frutos de menor tamaño, un llenado pobre, un aumento en el porcentaje de frutos con golpe de sol (Carranca *et al.*, 2018) y efectos en el crecimiento y desarrollo del árbol (Ferlian *et al.*, 2017). En múltiples ocasiones es muy alta la demanda de elementos nutritivos que no pueden ser satisfechos por la absorción, y los árboles dependen de las reservas de compuestos almacenados (Villar-Salvador *et al.*, 2015). Las reservas vegetativas se encuentran acumuladas en las plantas para ser utilizadas en los procesos de crecimiento y otras funciones (Babst & Coleman, 2018). En árboles de hoja caduca estos compuestos se almacenan durante la caída de las hojas y se movilizan durante la primavera (Babst & Coleman, 2018; Bazot *et al.*, 2013; Gilson *et al.*, 2014; Rennenberg *et al.*, 2010). Son escasos los estudios en especies leñosas. Algunas de estas especies reportadas en la literatura incluyen a *Pyrus pyrifolia* (Marafon *et al.*, 2016), *Quercus robur* (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2011), *Populus spp.* (Cooke & Weih, 2005), *Malus domestica* Borkh (Cheng & Fuchigami, 2002) y *Swietenia macrophylla* (Tian *et al.*, 2003). Las investigaciones que estudian el almacenamiento de compuestos nitrogenados en el tronco (Núñez-Colima *et al.*, 2019; Zein *et al.*, 2011) y la movilización hacia los tejidos de nuevo crecimiento también son escasos (Villar-Salvador *et al.*, 2015).

Por otra parte, los cambios ambientales pueden aumentar o retrasar el crecimiento de los árboles (Sellin *et al.*, 2017), existen factores como la humedad relativa que pueden causar un descenso en la disminución de la biomasa en los árboles (Sellin *et al.*, 2017); de igual forma, la radiación intensa solar puede reducir el crecimiento de las plantas (Dengel *et al.*, 2009). De manera análoga se ha comprobado que la temperatura juega un papel fundamental en el nitrógeno almacenado en el árbol (Coder, 2016) al reducir el crecimiento y la reproducción (Marias *et al.*, 2017). El nitrógeno proteico se almacena en los órganos perennes durante el otoño e invierno y se moviliza hacia los brotes (o meristemas) que inician el crecimiento durante la primavera. Es necesario conocer cuál es la variable ambiental (temperatura media, irradiación y humedad relativa) que más influye sobre el nitrógeno proteico almacenado en la biomasa del

tronco en dos variedades (Western y Wichita), con la finalidad de contribuir con el manejo agronómico del nogal, ya que se trata de un cultivo de gran importancia económica, con una derrama económica de 728 millones de pesos en la Comarca Lagunera (SIAP-Sagarpa, 2016). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar las variables ambientales que tienen un efecto en el porcentaje de nitrógeno proteico almacenado en el tronco del árbol de las variedades Western y Wichita, además de desarrollar una función matemática que describa el comportamiento del porcentaje de nitrógeno proteico respecto a las variables ambientales.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna en Torreón, México (25° 33' 22.63" N; 103° 22' 07.77" O). El clima del área de estudio es muy seco semiárido (BWh) (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2015; Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2015), con una precipitación promedio anual de 189.6 mm, una temperatura media anual de 22.64 °C (Sagarpa-INIFAP, 2017) y una altitud media de 1120 m. s. n. m. (Conagua, 2015).

Muestreo

El muestreo realizado fue de tipo sistemático para cada una de las variedades (Western y Wichita) y de acuerdo con la metodología desarrollada por Briceño *et al.* (2018). Se seleccionaron cuatro árboles jóvenes de manera intercalada de una edad cercana a los 30 años en el centro de la huerta (con una extensión de 4 ha) para minimizar el efecto borde. Se extrajeron muestras de manera mensual durante un ciclo anual desde julio de 2016 hasta junio de 2017. Se extrajeron dos muestras del tronco de los árboles a una altura de 1.3 m con un taladro Pressler (Haglof BS072 ®). Posteriormente, las muestras se introdujeron en una hielera para ser transportadas al laboratorio.

Procesamiento de 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 nitrógeno líquido, inmediatamente se almacenaron en un ultracongelador (Revco Value Plus® Thermo Scientific®) a una temperatura de -70 °C, para posteriormente ser liofilizadas (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 nitrógeno total

El nitrógeno se determinó 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. Se pesaron 2 mg de materia seca, previamente liofilizada, en una capsula de estaño, y se introdujeron en el analizador elemental de gases (Thermo Scientific® Fash 2000 Organic Elemental Analyzer ®) de acuerdo a la metodología propuesta por Valenzuela-Núñez *et al.* (2011).

Estimación de la biomasa del árbol

Se calculó el volumen de madera del tronco de los árboles utilizando los valores de densidad de la madera determinados para nogal por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial y el Centro de Investigación y Desarrollo de la Industria de la Madera y Afines (INTI-Citerna, 2003), además del uso de ecuaciones alométricas en *Carya*, según Rodríguez *et al.* (2006). La biomasa del tronco se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Biomasa del tronco (g)} = -320.9 * \text{Diámetro (1.30 m)} * 332.2 * \text{Diámetro (1.30m)}^2 \quad (1)$$

Una vez calculado el contenido de nitrógeno total (kg) en el tronco, se estimó el porcentaje de nitrógeno proteico para cada variedad mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de N proteico} = (\text{Proteínas totales solubles})(\text{Masa total del tronco})(\text{Constante } 0.226)/1000$$

La constante (0.226 gN/g Proteico) permite conocer el contenido de nitrógeno en las proteínas (Yeoh & Wee, 1994). La radiación, la humedad relativa y la temperatura media mensual fueron obtenidas de la base de datos del INIFAP Campo Experimental La Laguna (CLIMA-INIFAP, 2018).

Análisis estadístico

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 nitrógeno proteico en el tronco del árbol para cada una de las variedades de nogal. Una vez determinada la variable que más influyó sobre el porcentaje de nitrógeno proteico, se realizó un análisis de regresión lineal simple para observar su comportamiento con respecto al porcentaje de nitrógeno proteico en el tronco de nogal. Los procedimientos fueron realizados con la ayuda del *software* SPSS 18, con un nivel de significancia de 0.05.

Resultados

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 el contenido de nitrógeno proteico en el tronco del árbol para la variedad Wichita ($F = 6.87$; g.l. = 3,8; $P = 0.013$; $R^2 = 0.720$). La ecuación de regresión fue la siguiente:

$$\text{Porcentaje de Nitrógeno proteico} = 0.594 (\text{TMM}) - 0.482(\text{I}) - 0.071 (\text{HR}) + 5.845 \quad (2)$$

donde TMM = temperatura media mensual (°C); HR = humedad relativa (%); I = irradiación (MJ *m²); Constante= 5.845. La temperatura media mensual fue la variable que más influyó en el porcentaje de nitrógeno proteico en el tronco de nogal de esta variedad.

El resultado del análisis de regresión simple reveló que la temperatura predice de manera significativa la acumulación de nitrógeno proteico en el tronco del árbol en la variedad Wichita ($F = 9.29$; g.l. = 1,10; $P = 0.012$; $R^2 = 0.482$). De esta manera se obtiene la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de Nitrógeno Proteico} = 3.25 + 0.129(\text{TMM}) \quad (3)$$

La relación entre la temperatura y el porcentaje de nitrógeno proteico fue directamente proporcional. Si la temperatura aumenta, el porcentaje de nitrógeno proteico en el tronco tiende a aumentar, y si la temperatura disminuye, el porcentaje de nitrógeno proteico tiende a disminuir (figura 1).

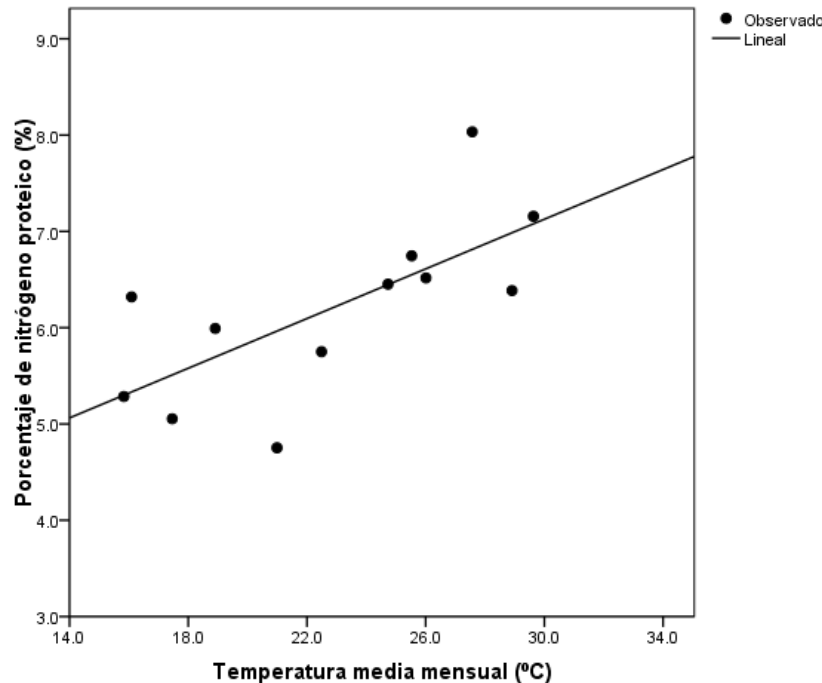


Figura 1. Regresión lineal simple entre la temperatura (°C) y el porcentaje de nitrógeno proteico en el tronco de nogal variedad Wichita durante un ciclo anual productivo en Torreón, Coahuila, México.

Fuente: Elaboración propia.

WESTERN

De igual manera, la temperatura, la irradiación y la humedad relativa predicen de manera significativa la acumulación de nitrógeno proteico en el tronco del árbol para la variedad Western ($F = 10.476$; g.l. = 3,8; $P = 0.004$; $R^2 = 0.797$). La ecuación de regresión obtenida para el porcentaje de nitrógeno proteico fue la siguiente:

$$\text{Porcentaje de Nitrógeno Proteico} = 0.447 (\text{TMM}) - 0.286(\text{I}) - 0.074 (\text{HR}) + 5.316 \quad (4)$$

donde TMM = temperatura media mensual (°C); HR = humedad relativa (%); I = irradiación ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$); Constante = 5.316. La temperatura media mensual fue la variable que más influyó en el porcentaje de nitrógeno proteico en el tronco de nogal, así como la variedad antes mencionada. El resultado del análisis de regresión simple indicó que la temperatura predijo de manera significativa la acumulación de nitrógeno proteico en el tronco del árbol en la variedad Wichita ($F = 16.70$; g.l. = 1,10; $P = 0.002$; $R^2 = 0.626$). La ecuación de la regresión obtenida fue la siguiente:

$$\text{Porcentaje de Nitrógeno proteico} = 2.396 + 0.178(\text{TMM}) \quad (5)$$

Se observó que la relación entre la temperatura y el porcentaje de nitrógeno proteico es directamente proporcional, ya que cuando la temperatura aumenta, también lo hace el porcentaje de nitrógeno proteico (figura 2).

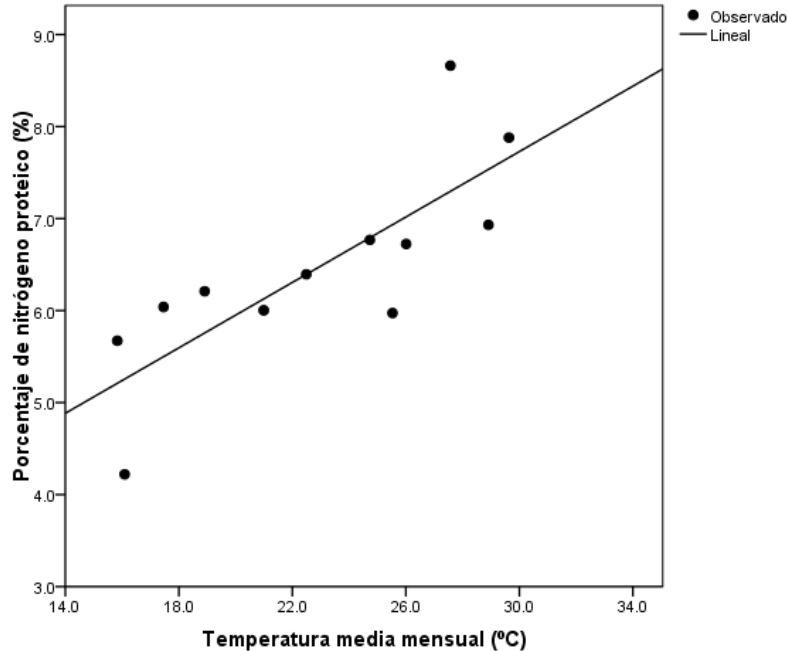


Figura 2. Regresión lineal simple entre la temperatura (°C) y el porcentaje de nitrógeno proteico en el tronco de nogal variedad Western durante un ciclo anual productivo en Torreón, Coahuila, México.
Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Staswick (1994), donde menciona que los cuerpos proteicos en las vacuolas deshidratadas representan cantidades superiores al 5%. El porcentaje de nitrógeno proteico de las variedades es muy similar al contenido de nitrógeno total reportado por Windels *et al.* (2003) en los troncos de *Acacia berlandieri* (1.8% a 6%).

Por otra parte, estos resultados difieren con el estudio de Kang & Titus (1980) en *Malus domestica* Borkh, donde se reportaron valores del 90% de nitrógeno de naturaleza proteica movilizado hacia el nuevo crecimiento y un 10% en forma de aminoácidos. De igual manera, en *Prunus persica* L. Batsch (Gomez & Faurobert, 2002) y en *Fraxinus excelsior* (Marmann *et al.*, 1997) el contenido de nitrógeno proteico fue inferior al 20% del nitrógeno total, muy por encima del presente estudio, ya que se obtuvieron valores del 4% al 9% aproximadamente. Las diferencias en el contenido de porcentaje proteico podrían deberse a la variedad de especies, la etapa de desarrollo y la estación climatológica en la que se encuentren los árboles (Tromp & Ova, 1973). Los compuestos tienen predisposición a fluctuar en horas o días debido a la plasticidad en las plantas, además de que varían conforme a los factores ambientales (Villar-Salvador *et al.*, 2013b).

En el presente estudio se puede observar que el porcentaje de nitrógeno proteico es proporcional a la temperatura, ya que cuando esta aumenta también lo hace el porcentaje de nitrógeno proteico. Del mismo modo, Brunner *et al.* (2015) reportan que cuando existen altos niveles de estrés por sequía, las plantas se ven obligadas a responder activando mecanismos que protegen a los tejidos contra el daño celular mediante el uso de proteínas. En el estudio de Taulavuori *et al.* (2014) se reportó que el contenido del nitrógeno aumenta con las bajas temperaturas. De igual forma, difiere con lo reportado por Coder

(2016), donde hace referencia a que el porcentaje de nitrógeno contenido en el tronco del árbol disminuye conforme aumenta la temperatura.

Way & Oren (2010), al estudiar *Quercus rubra*, reportaron que el calentamiento promueve el crecimiento en los árboles de hoja caduca. En el estudio de McClaran *et al.* (2013) se utilizaron ecuaciones para calcular el contenido de nitrógeno en *Prosopis velutina*, obteniendo un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.90$), lo que difiere con el presente estudio, ya que los coeficientes de la regresión lineal múltiple fueron menores en Wichita ($R^2 = 0.72$) y en Western ($R^2 = 0.79$), esta variación podría ser atribuida al tronco del árbol, ya que Northup *et al.* (2005) reporta que las predicciones de biomasa de troncos grandes son menos precisas que las de troncos pequeños.

Los resultados del presente estudio indican que las plantas pueden responder de manera positiva a las temperaturas (Wertin *et al.*, 2011), aunque la respuesta de los árboles a la sequía depende de diversos factores ambientales relacionados con el sitio, tales como precipitación, temperatura, topografía y características del suelo (Lévesque *et al.*, 2014; Weber *et al.*, 2013). El nitrógeno es uno de los elementos más importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Villar-Salvador *et al.*, 2013a), pero, así como toda reserva, puede fluctuar debido a las variables ambientales o geográficas (Núñez-Colima *et al.*, 2019).

Conclusiones

El nitrógeno almacenado en forma de proteínas en dos de las variedades de *Carya illinoensis* Koch (Western y Wichita) se puede predecir mediante una función matemática que involucre los factores ambientales siguientes: radiación solar, humedad relativa y temperatura media mensual. El nitrógeno presentó un comportamiento inversamente proporcional a la temperatura en las variedades estudiadas.

Agradecimientos

Se agradece al Dr. Ángel Lagarda-Murrieta las facilidades otorgadas para la realización del muestreo de la UAAAN; al Laboratorio de Ecología Forestal de la UJED, por permitir el uso de su equipo; al Dr. Abraham J. Escobar-Gutiérrez; 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.

Conflictos de intereses

Los autores expresan que no se tiene ningún conflicto de interés.

Referencias

- Babst, B. A., & Coleman, G. D. (2018). Seasonal nitrogen cycling in temperate trees: Transport and regulatory mechanisms are key missing links. *Plant Science*, 270, 268-277. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.02.021>
- Baker, D. A. (1983). Uptake of cations and their transport within the plant. *Metals and Micronutrients*, 3-19. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-589580-4.50007-9>

- Bazot, S., Barthes, L., Blanot, D., & Fresneau, C. (2013). Distribution of non-structural nitrogen and carbohydrate compounds in mature oak trees in a temperate forest at four key phenological stages. *Trees*, 27, 1023-1034. doi: <https://doi.org/10.1007/s00468-013-0853-5>
- Briceño, E. A., Valenzuela, L. M., Espino, D. A., García, C., Esparza-Rivera, J. R., & Borja, A. (2018). Contenido de almidón en organos de nogal (*Carya illinoensis* Koch) en dos etapas fenológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(20), 1–20. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.987>
- Brunner, I., Herzog, C., Dawes, M. A., Arend, M., & Sperisen, C. (2015). How tree roots respond to drought. *Frontiers in Plant Science*, 6(547). doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00547>
- Butnariu, M. (2018). The nitrogen cycle in the soil, impact on the environment. *Crimson Publishers*, 4(4), 1-3. doi: <https://doi.org/10.31031/EAES.2018.04.000593>
- Carranca, C., Brunetto, G., & Tagliavini, M. (2018). Nitrogen nutrition of fruit trees to reconcile productivity and environmental concerns. *Plants*, 7(1), 1-12. doi: <https://doi.org/10.3390/plants7010004>
- Chapin, F. S., Schulze, E., & Mooney, H. A. (1990). The ecology and economics of storage in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21(1990), 423–447. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.21.110190.002231>
- Cheng, L., & Fuchigami, L. H. (2002). Growth of young apple trees in relation to reserve nitrogen and carbohydrates. *Tree Physiology*, 22(18), 1297–1303. doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/22.18.1297>
- CLIMA-INIFAP. (2018). INIFAP. Retrieved July 24, 2018, from <http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/Estaciones/ConsultaDiarios15Min?Estado=5&Estacion=26812>
- Coder, K. D. (2016). *Heat damage in trees*. Georgia.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Principal-Región Lagunera (0523), Estado de Coahuila*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102876/DR_0523.pdf
- Cooke, J. E. K., & Weih, M. (2005). Nitrogen storage and seasonal nitrogen cycling in *Populus*: Bridging molecular physiology and ecophysiology. *New Phytologist*, 167(1), 19–30. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01451.x>
- Dengel, S., Aeby, D., & Grace, J. (2009). A relationship between galactic cosmic radiation and tree rings. *New Phytologist*, 184(3), 545–551. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03026.x>
- Ferlian, O., Wirth, C., & Eisenhauer, N. (2017). Leaf and root C-to-N ratios are poor predictors of soil microbial biomass C and respiration across 32 tree species. *Pedobiologia*, 65, 16-23. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2017.06.005>
- GBIF Secretariat. (2017). *Carya illinoensis* (Wangenh.). GBIF <https://www.gbif.org/species/7445032>
- Gilson, A., Barthes, L., Delpierre, N., Dufrêne, É., Fresneau, C., & Bazot, S. (2014). Seasonal changes in carbon and nitrogen compound concentrations in a *Quercus petraea* chronosequence. *Tree Physiology*, 34(7), 716–729. doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu060>
- Gomez, L., & 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. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erf098>
- Hu, B., Zhou, M., Dannenmann, M., Saiz, G., Simon, J., Bilela, S., Liu, X., Hou, L., Chen, H., Zhang, S., Butterbach-Bahl, K., & Rennenberg, H. (2017). Comparison of nitrogen nutrition and soil carbon status of afforested stands established in degraded soil of the Loess Plateau, China. *Forest Ecology and Management*, 389, 46–58. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.12.011>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). [mapas]. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial-Centro de Investigación y Desarrollo de la Industria de la Madera y Afines (INTI-CITEMA). (2003). *Catálogo de densidad de maderas por nombre científico*. INTI-CITEMA. <https://www.inti.gob.ar/publicaciones/descargac/365>
- Kang, S., & 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. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1980.tb04464.x>

- Kox, M., & Jetten, M. (2015). The nitrogen cycle. In B. Lugtenberg (ed.), *Principles of plant-microbe interactions*. Springer. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-08575-3_22
- Lévesque, M., Rigling, A., Bugmann, H., Weber, P., & Brang, P. (2014). Growth response of five co-occurring conifers to drought across a wide climatic gradient in Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, *197*, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.06.001>
- Li, G., & Coleman, G. D. (2019). Nitrogen storage and cycling in trees. *Advances in Botanical Research*, *89*, 127-155. doi: <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2018.11.004>
- Liu, M., Li, C., Xu, X., Wanek, W., Jiang, N., Wang, H., & Yang, X. (2017). Organic and inorganic nitrogen uptake by 21 dominant tree species in temperate and tropical forests. *Tree Physiology*, *37*(11), 1515–1526. doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpx046>
- Marafon, A. C., Herter, F. G., Hawerth, F. J., & Bierhals, A. N. (2016). Free amino acids in the xylem sap of pear trees during dormancy. *Ciência Rural*, *46*(7), 1136–1141. doi: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131515>
- Marias, D. E., Meinzer, F. C., Woodruff, D. R., & McCulloh, K. A. (2017). Thermotolerance and heat stress responses of Douglas-fir and ponderosa pine seedling populations from contrasting climates. *Tree Physiology*, *37*(3), 301–315. doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpw117>
- Marmann, P., Wendler, R., Millard, P., & Heilmeier, H. (1997). Nitrogen storage and remobilization in ash (*Fraxinus excelsior*) under field and laboratory conditions. *Trees*, *11*, 298–305. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-540-71095-0_4090
- McClaran, M. P., McMurtry, C. R., & Archer, S. R. (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*, 39–42. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.08.015>
- Moreau, D., Bardgett, R. D., Finlay, R. D., Jones, D. L., & Philippot, L. (2019). A plant perspective on nitrogen cycling in the rhizosphere. *Functional Ecology*, *33*(4), 540-552. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13303>
- Northup, B. K., Zitzer, S. F., Archer, S., McMurtry, C. R., & Boutton, T. W. (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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.09.019>
- Núñez-Colima, J. A., Valenzuela-Núñez, L. M., Esparza-Rivera, J. R., García-de-la-Peña, C., Moreno-Reséndez, A., Molina-Ochoa, J., Rodríguez-Martínez, R., & González-Torres, A. (2019). Influencia de variables climáticas en el contenido de N en *Carya illinoensis* Koch. *Nova Scientia*, *11*(22), 207-223. doi: <https://doi.org/10.21640/ns.v11i22.1823>
- Rennenberg, H., Wildhagen, H., & Ehling, B. (2010). Nitrogen nutrition of poplar trees. *Plant Biology*, *12*(2), 275–291. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00309.x>
- Rodríguez, R., Jiménez, J., Aguirre, O. A., & Treviño, E. J. (2006). Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en tamaulipas, México. *Ciencia UANL*, *9*(2), 179–188. <http://eprints.uanl.mx/1750/>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2002). *Tecnología de Producción en Nogal Pecanero*. <http://viverosacramento.com.mx/Tecnologia%20de%20produccion%20de%20nogal%20pecanero.pdf>
- Secretaría 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/Inmysr/Historicos/Datos?Estado=5&Estacion=26812&Anio=2017&Mes=>
- Sellin, A., Alber, M., Keinänen, M., Kupper, P., Lihavainen, J., Löhmus, K., Oksanen, E., Söber, A., Söber, J., & Tullus, A. (2017). Growth of northern deciduous trees under increasing atmospheric humidity: Possible mechanisms behind the growth retardation. *Regional Environmental Change*, *17*, 2135–2148. doi: <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1042-z>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera- Secretaría 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. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Staswick, P. E. (1994). Storage proteins of vegetative plant tissues. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, *45*, 303–322. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.45.060194.001511>

- Taulavuori, K., Taulavuori, E., & Sheppard, L. J. (2014). Truths or myths, fact or fiction, setting the record straight concerning nitrogen effects on levels of frost hardiness. *Environmental and Experimental Botany*, *106*, 132–137. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.12.022>
- Tian, W., Wu, J., Hao, B., & Hu, Z. (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. doi: <https://doi.org/10.1139/b03-045>
- Tromp, J., & Ova, J. C. (1973). Spring mobilization of protein nitrogen in apple bark. *Physiologia Plantarum*, *29*(1), 1–5. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1973.tb04799.x>
- Valenzuela-Núñez, L. M., Gérant, D., Maillard, P., Bréda, N., González-Cervantes, G., & Sánchez-Cohen, I. (2011). Evidence for a 26kDa vegetative storage protein in the stem sapwood of mature pedunculate oak. *Interciencia*, *36*(2), 142–147. <https://hal.inrae.fr/hal-02648442>
- Villar-Salvador, P., Peñuelas, J. L., & Jacobs, D. F. (2013). Nitrogen nutrition and drought hardening exert opposite effects on the stress tolerance of *Pinus pinea* L. seedlings. *Tree Physiology*, *33*(2), 221–232. doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/tps133>
- Villar-Salvador, P., Peñuelas, J. L., Nicolás-Peragón, J. L., Benito, L. F., & Domínguez-Lerena, S. (2013). Is nitrogen fertilization in the nursery a suitable tool for enhancing the performance of Mediterranean oak plantations? *New Forests*, *44*(5), 733–751. doi: <https://doi.org/10.1007/s11056-013-9374-8>
- Villar-Salvador, P., Uscola, M., & Jacobs, D. F. (2015). The role of stored carbohydrates and nitrogen in the growth and stress tolerance of planted forest trees. *New Forests*, *46*, 813–839. doi: <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9499-z>
- Way, D. A., & Oren, R. (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), 669–688. doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq015>
- Weber, P., Bugmann, H., Pluess, A. R., Walthert, L., & Rigling, A. (2013). Drought response and changing mean sensitivity of European beech close to the dry distribution limit. *Trees*, *27*, 171–181. doi: <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0786-4>
- Wertin, T. M., McGuire, M. A., & Teskey, R. O. (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), 1277–1288. doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpr091>
- Windels, S. K., Hewitt, D. G., & Forbes, T. D. A. (2003). Effects of aeration on phenolic amine content of guajillo. *Journal of Range Management*, *56*(5), 529–533. <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/viewFile/9837/9449>
- Wood, B. W., Conner, P. J., & Worley, R. E. (2003). Relationship of alternate bearing intensity in pecan to fruit and canopy characteristics. *HortScience*, *38*(3), 361–366. doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.38.3.361>
- Yeoh, H., & Wee, Y. (1994). Leaf protein contents and nitrogen-to-protein conversion factors for 90 plant species. *Food Chemistry*, *49*(3), 245–250. doi: [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(94\)90167-8](https://doi.org/10.1016/0308-8146(94)90167-8)
- Zein, R. E., Bréda, N., Gérant, D., Zeller, B., & Maillard, P. (2011). Nitrogen sources for current-year shoot growth in 50-year-old sessile oak trees: An in situ ¹⁵N labeling approach. *Tree Physiology*, *31*(12), 1390–1400. doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpr118>