

Influence of temperature and irradiation on starch concentration in *Carya illinoensis* K. Koch varieties Wichita and Western

Influencia de la temperatura e irradiación en la concentración de almidón en *Carya illinoensis* K. Koch variedades Wichita y Western

Edwin A. Briceño-Contreras¹; Alejandro Moreno-Reséndez¹; Luis M. Valenzuela-Núñez²; Cristina García-De la Peña^{2*}; Juan R. Esparza-Rivera³; Rafael Rodríguez-Martínez¹; Jaime Molina-Ochoa^{4,5}

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Programa de Doctorado en Ciencias en Producción Agropecuaria. Periférico Raúl López Sánchez s/n, col. Valle Verde. C. P. 27054. Torreón, Coahuila, México.

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

³Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Químicas. Av. Universidad s/n, fracc. Filadelfia. C. P. 35010. Gómez Palacio, Durango, México.

⁴Universidad de Colima, Coordinación General de Investigación Científica-CUIDAFMVZ. km 40 autopista Colima-Manzanillo, Crucero de Tecmán s/n. C. P. 28930. Tecmán, Colima, México.

⁵University of Nebraska-Lincoln, Department of Entomology. Lincoln, NE 68583-0816, USA.

*Corresponding author: cristina.garcia@ujed.mx, tel.: +52 (871) 221 7702.

Abstract

Introduction: The pecan tree (*Carya illinoensis* K. Koch) is a species native to northern Mexico and the Southeastern United States; the two countries dominate pecan production worldwide.

Objective: To determine the influence of temperature and irradiation on the starch concentrations in the root and trunk of *C. illinoensis* varieties Wichita and Western.

Materials and methods: Starch was quantified monthly during the July 2016 - June 2017 production cycle. Average monthly temperature and irradiation data were obtained from the INIFAP weather station at the La Laguna Experimental Field. Regression analyses were done using SPSS 18.0.

Results and discussion: The Wichita and Western varieties showed a significant relationship ($P < 0.05$) between root starch concentrations and environmental factors; in the trunk, the relationship was not significant. In both varieties, the maximum starch concentrations in the root is recorded when the temperature ranges from 15 to 20 °C, and the irradiation rate ranges from 10 to 15 MJ·m⁻².

Conclusion: The Wichita variety is the best adapted to high temperatures and irradiation rates in the Comarca Lagunera region.

Resumen

Introducción: El nogal pecanero (*Carya illinoensis* K. Koch) es una especie nativa del norte de México y del sureste de Estados Unidos; ambos países dominan la producción de nuez a nivel mundial.

Objetivo: Determinar la influencia de la temperatura e irradiación sobre la concentración de almidón en la raíz y tronco de *C. illinoensis* variedades Wichita y Western.

Materiales y métodos: El almidón se cuantificó mensualmente durante el ciclo productivo julio 2016 – junio 2017. Los datos mensuales promedio de temperatura e irradiación se obtuvieron de la estación meteorológica del INIFAP, Campo Experimental La Laguna. Se hicieron análisis de regresión utilizando SPSS 18.0.

Resultados y discusión: Las variedades Wichita y Western mostraron relación significativa ($P < 0.05$) entre las concentraciones de almidón en la raíz y los factores ambientales; en el tronco, la relación no fue significativa. En ambas variedades, la concentración máxima de almidón en la raíz se registra cuando la temperatura varía de 15 a 20 °C y la tasa de irradiación oscila entre 10 y 15 MJ·m⁻².

Conclusión: La variedad Wichita es la mejor adaptada a las temperaturas y tasas altas de irradiación en la región de la Comarca Lagunera.

Keywords: pecan tree; vegetative reserves; environmental factors; deciduous fruit tree; linear regression.

Palabras clave: nogal pecanero; reservas vegetativas; factores ambientales; frutal caducifolio; regresión lineal.

Introduction

Agroclimatic suitability for fruit growing depends on the dormancy characteristics in deciduous trees; if the accumulation of chilling in dormancy is deficient, physiological disorders occur in the production of biomass and fruits (Gariglio, Dervis, Leva, García, & Bouzo, 2006). In this sense, temperature is one of the main controls over plant distribution and productivity, with effects on physiological activity at all temporal and spatial scales (Sage & Kubien, 2007; Yepes & Silveira, 2011). Plants are adapted to temperatures between 5 °C and 40 °C, in which dry mass production and growth occur (Yepes & Silveira, 2011). High temperatures cause stress (heat stroke) that produces adverse effects on plants, but it can be prevented with good nutritional status. Heat stroke is a series of metabolic dysfunctions and physical restrictions that can not be adjusted, avoided or corrected, and that causes excessive transpiration that can alter a tree's food reserves. Trees find optimum growing conditions across a range of temperatures from 21 °C to 29 °C, so high temperatures can damage and cause death at a threshold of 46 °C (Coder, 2016); damage varies depending on the duration of high temperatures at the site. Irradiation is also important for the physical and biological processes of living beings: plants use it to produce carbohydrates through photosynthesis (Taiz & Zeiger, 2002). Also, Irradiation, when interacting with temperature and precipitation, influences plant growth and yield (Rivetti, 2006).

The pecan tree (*Carya illinoensis* K. Koch) is a deciduous fruit tree of the family Juglandaceae (Briceño et al., 2018; Muncharaz, 2012; United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service USDA-NRCS, 2016), native to Mexico and the United States, leaders in global production (Gardea, Martínez, & Yahia, 2011; Orona, Sangerman, Fortis, Vázquez, & Gallegos, 2013). According to the Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, 2004), pecan does not require chilling in winter. The buds respond to temperatures above 10 °C, regardless of the accumulation of chilling. Climate influences pecan tree development since it directly generates physiological damage (Medina & Cano, 2002; Grageda, Ruiz, Jiménez, & Fu, 2014). Pecans develop at an average of 26.7 °C; in winter they require from 7.2 to 12.3 °C. High temperatures in the Comarca Lagunera occur from May to August (25.3 to 26.7 °C), and the coldest occur from December to February (7.2 to 13.0 °C), which are optimal for the development and production of biomass and pecan fruits (Medina & Cano, 2002). The temperature in the Comarca Lagunera between 2013 and 2016 was 27.06 °C from May to August and 14.82 °C from December to February (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP, 2017). On the other hand, pecan requires an adequate amount of light from 700

Introducción

La aptitud agroclimática para la fruticultura depende de las características del letargo en árboles caducifolios; si la acumulación de frío en letargo es deficiente, se producen desórdenes fisiológicos en la producción de biomasa y frutos (Gariglio, Dervis, Leva, García, & Bouzo, 2006). En este sentido, la temperatura es uno de los principales controladores de la distribución y productividad de las plantas, con efectos en la actividad fisiológica en todas las escalas temporales y espaciales (Sage & Kubien, 2007; Yepes & Silveira, 2011). Las plantas están adaptadas a temperaturas entre 5 °C y 40 °C, en las cuales ocurren la producción de masa seca y el crecimiento (Yepes & Silveira, 2011). Las temperaturas altas ocasionan estrés (golpe de calor) que produce efectos adversos en las plantas, pero puede prevenirse con un buen estado nutricional. El golpe de calor es una serie de disfunciones metabólicas y restricciones físicas que no se pueden ajustar, evitar o corregir, y que provoca transpiración excesiva que puede ocasionar alteración en las reservas del árbol. Los árboles cuentan con intervalos óptimos de temperaturas de 21 °C a 29 °C, por lo que las temperaturas altas pueden dañar y ocasionar la muerte en un umbral de 46 °C (Coder, 2016); el daño varía dependiendo de la duración de las temperaturas altas en el sitio. La irradiación también es importante para los procesos físicos y biológicos de los seres vivos; los vegetales la utilizan para la elaboración de carbohidratos mediante la fotosíntesis (Taiz & Zeiger, 2002). Asimismo, la irradiación, al interactuar con la temperatura y precipitación, influye en el crecimiento y rendimiento de las plantas (Rivetti, 2006).

El nogal (*Carya illinoensis* K. Koch) es un frutal caducifolio de la familia Juglandaceae (Briceño et al., 2018; Muncharaz, 2012; United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service [USDA-NRCS], 2016), nativo de México y Estados Unidos, quienes lideran la producción a nivel mundial (Gardea, Martínez, & Yahia, 2011; Orona, Sangerman, Fortis, Vázquez, & Gallegos, 2013). De acuerdo con el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, 2004), el nogal no requiere de frío en invierno. Las yemas responden a temperaturas superiores a 10 °C, independientemente de la acumulación de frío. El clima influye en el desarrollo del nogal, ya que genera daños fisiológicos de una manera directa (Medina & Cano, 2002; Grageda, Ruiz, Jiménez, & Fu, 2014). Los nogales se desarrollan a un promedio de 26.7 °C; en invierno requieren de 7.2 a 12.3 °C. Las temperaturas altas en la Comarca Lagunera se presentan de mayo a agosto (25.3 a 26.7 °C) y las más frías ocurren de diciembre a febrero (7.2 a 13.0 °C), que son óptimas para el desarrollo y producción de biomasa y frutos del nogal (Medina & Cano, 2002). La temperatura en la Comarca Lagunera entre 2013 y 2016 fue de 27.06 °C de mayo a agosto y de 14.82 °C de diciembre a febrero (Instituto Nacional

to 800 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) (Lombardini, Restrepo, & Volder, 2009) to achieve an optimal photosynthetic rate. This light intensity requirement exceeds that of other fruit trees, so pecan is a fruit tree that is relatively intolerant to shade. Pecan leaves require high light intensities due to their high photosynthetic capacity (Gómez, Arreola, Trejo, & Flores, 2006).

Currently, studies concerning vegetative reserves in trees are still incomplete or have been carried out on a limited number of species. The starch concentration in perennial organs is an indicator of the ability of trees to cope with stress conditions such as defoliation, drought, and pollution (Kozłowski, Kramer, & Pallardy 1991). In the case of pecan, at varietal level, there are no approaches to study the physiological processes in starch in relation to environmental factors. Therefore, the aim of the present study was to determine the influence of temperature and irradiation on the starch concentration in the root and trunk of *C. illinoensis* varieties Wichita and Western.

Materials and methods

Study area

The study was carried out at the Laguna Unit Experimental Field of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (25° 33' 22.63" N and 103° 22' 07.77" W) in Torreón, Coahuila de Zaragoza, Mexico. The region has a desert climate with average annual rainfall of 230 mm (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA], 2005) and an elevation of 1120 m (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2012). The *C. illinoensis* orchard is under agronomic management with flood irrigation using well water and a planting density of 100 trees·ha⁻¹ established in a real frame. Scheduling includes eight irrigations with intervals of 12 to 47 days, depending on the phenological stage, with a total irrigation depth of 748 mm·year⁻¹. The water has pH 8.2 and electrical conductivity of 1480 $\mu\Omega\cdot\text{cm}^{-1}$.

Tree sampling

A systematized sampling method consisting of randomly selecting trees was used (Valenzuela et al., 2011). Four adult trees of the Western (WN) and Wichita (WA) varieties were selected with an average age of 30 years. The plots of each variety were 1 ha in size; in each plot, sampling was carried out in an area of 0.3 ha in monthly periods during an annual production cycle. Two root and two trunk samples (Valenzuela et al., 2011) were taken from each tree. The trunk samples were obtained in the form of chips with a Pressler® drill; for the root samples, a conventional pick was used to make a small trench to locate the main root and extract the sample. The samples were carefully cleaned

de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP], 2017). Por otra parte, el nogal requieren una cantidad de luz adecuada de 700 a 800 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) (Lombardini, Restrepo, & Volder, 2009), para lograr una tasa fotosintética óptima. Este requerimiento de intensidad lumínica supera el de otros frutales, por lo que el nogal es un frutal poco tolerante al sombreado. Las hojas del nogal requieren intensidades lumínicas altas por su capacidad fotosintética alta (Gómez, Arreola, Trejo, & Flores, 2006).

En la actualidad, los estudios que conciernen a las reservas vegetativas en árboles son todavía incompletos o se han realizado en un número limitado de especies. La concentración de almidón en los órganos perennes es un indicador de la capacidad de los árboles para hacer frente a condiciones de estrés como defoliación, sequías y contaminación (Kozłowski, Kramer, & Pallardy 1991). En el caso del nogal, a nivel varietal, no existen aproximaciones de estudio de los procesos fisiológicos en almidón en relación con los factores ambientales. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar la influencia de la temperatura e irradiación sobre la concentración de almidón en la raíz y tronco de *C. illinoensis* variedades Wichita y Western.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (25° 33' 22.63" N y 103° 22' 07.77" O) en Torreón, Coahuila de Zaragoza. El clima de la región es seco desértico con precipitación media anual de 230 mm (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA], 2005) y altitud de 1120 m (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2012). La huerta de *C. illinoensis* se encuentra bajo manejo agronómico con riego por inundación con agua de pozo y la densidad de plantación es de 100 árboles·ha⁻¹ establecidos en marco real. El calendario incluye ocho riegos con intervalos de 12 a 47 días, dependiendo de la etapa fenológica, con lámina de riego total de 748 mm·año⁻¹. El agua tiene pH 8.2 y conductividad eléctrica de 1480 $\mu\Omega\cdot\text{cm}^{-1}$.

Muestreo de árboles

El método de muestreo fue de tipo sistemático que consiste en seleccionar árboles utilizando un orden establecido al azar (Valenzuela et al., 2011). Cuatro árboles adultos de las variedades Western (WN) y Wichita (WA) se eligieron con una edad promedio de 30 años. Las parcelas de cada variedad tienen extensión de 1 ha; en cada parcela, el muestreo se realizó en un área de 0.3 ha en periodos mensuales durante un ciclo de producción anual. Dos muestras de raíz y dos muestras de tronco (Valenzuela et al., 2011) se tomaron

by removing soil debris and placed in perforated and labeled aluminum bags in a refrigerator at 5 °C.

Determination of starch concentration

The starch concentration was determined using the technique established by Ebell (1969) and Haissig and Dickson (1982). For the determination, 10 mg of pulverized root and trunk dry matter was weighed in microtubes on an analytical balance, and 1 mL of distilled water was added and mixed with a vortex mixer for 1 min. Subsequently, the root and trunk samples were boiled on an electric plate for 10 min at 100 °C to gelatinize the starch.

The samples were centrifuged at 2500 rpm for 2 min, and 300 µL of the extract was taken and placed in new microtubes. Then 900 µL of absolute ethyl alcohol was added and centrifuged at 10000 rpm for 5 min to precipitate the starch. The microtube alcohol was carefully emptied to leave only the precipitated starch, and 1 mL of distilled water was added. The microtubes were placed in the vortex mixer for 3 min, and 50 µL of iodine solution (0.01 N) was added to each of the microtubes. Finally, the absorbance was recorded in a UV-Visible spectrophotometer (Genesys 20, Thermo Scientific®, USA) at 595 nm using 1 mL of distilled water and 50 µL of iodine as controls.

Environmental factors

Monthly data on average temperature (°C) and irradiation (MJ·m⁻²) were obtained from the INIFAP weather station at the La Laguna Experimental Field (INIFAP, 2017). The units and conversion factors of solar irradiation for plants were obtained from the International System of Units and INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) models (Bonhomme, 1993).

Statistical analysis

Pearson correlation and multiple regression analyses were performed. In the latter, the relationship that offered a better fit (linear or quadratic) was considered to determine the relationship between the starch concentration in each compartment (root and trunk) and environmental factors (temperature and irradiation); residual analysis was developed for each test. The tests were considered significant with $P < 0.05$, and the analyses were carried out in the SPSS (2009) version 18.0 statistical program.

Results

Correlation and regression analyses of the Western variety root

The value of the multiple correlation between starch concentrations and the temperature and irradiation in

de cada árbol. Las muestras de tronco se obtuvieron en forma de virutas con un taladro Pressler®, y las de raíz, con un pico convencional haciendo una zanja pequeña para localizar la raíz principal y extraer la muestra. Las muestras se limpiaron cuidadosamente retirando restos de suelo y se colocaron en bolsas de aluminio perforadas y etiquetadas en una nevera a 5 °C.

Determinación de la concentración de almidón

La concentración de almidón se determinó con la técnica establecida por Ebell (1969), y Haissig y Dickson (1982). Para la determinación se pesaron 10 mg de materia seca pulverizada de raíz y tronco en microtubos en una balanza analítica, se agregó 1 mL de agua destilada y se agitaron con vortex durante 1 min. Posteriormente, las muestras de raíz y tronco se hirvieron en una plancha eléctrica durante 10 min a 100 °C para gelatinizar el almidón.

Las muestras se centrifugaron a 2500 rpm durante 2 min, se tomaron 300 µL del extracto y se colocaron en microtubos nuevos. Enseguida se añadieron 900 µL de alcohol etílico absoluto y se centrifugaron a 10000 rpm durante 5 min, para precipitar el almidón. El alcohol del microtubo se vació cuidadosamente para dejar solo el almidón precipitado y se añadió 1 mL de agua destilada. Los microtubos se colocaron en el vortex durante 3 min y a cada uno de los microtubos se añadieron 50 µL de solución de yodo (0.01 N). Finalmente, la absorbancia se registró en un espectrofotómetro UV-Visible (Genesys 20, Thermo Scientific®, USA) a 595 nm usando 1 mL de agua destilada y 50 µL de yodo como testigos.

Factores ambientales

Los datos mensuales de temperatura promedio (°C) e irradiación (MJ·m⁻²) se obtuvieron de la estación meteorológica del INIFAP, Campo Experimental La Laguna (INIFAP, 2017). Las unidades y factores de conversión de irradiación solar para plantas se obtuvieron del Sistema Internacional de Unidades y modelos del INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) (Bonhomme, 1993).

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de correlación de Pearson y regresión múltiple. En esta última se consideró aquella relación que ofreció mejor ajuste (lineal o cuadrática), para determinar la relación entre la concentración de almidón en cada compartimento (raíz y tronco) y los factores ambientales (temperatura e irradiación); se desarrolló análisis de residuos para cada prueba. Las pruebas se consideraron significativas con $P \leq 0.05$ y los análisis se llevaron a cabo en el programa estadístico SPSS (2009) versión 18.0.

the root of the WN variety was significant ($R = 0.954$, $P < 0.001$). The multiple linear regression analysis indicated a significant relationship between root starch concentrations and environmental factors ($F = 44.394$, $df = 2,9$, $P < 0.001$, $R^2 = 0.908$). The regression equation obtained was:

$$\text{Starch concentration} = -2.405(\text{Temperature}) + 0.908(\text{Irradiation}) + 74.681$$

The R^2 of 0.908 indicates that 90.8 % of the variability in starch concentration can be explained by the temperature and irradiation present in the crop. The remaining 9.2 % is explained by other factors not analyzed in this research. There was no violation of the normality assumptions of the residuals. Figure 1 shows the relationship of temperature and irradiation in relation to the starch concentration in the Western variety.

Correlation and regression analyses of the Western variety trunk

The value of the multiple correlation between starch concentrations and environmental factors in the trunk of the WN variety was not significant ($R = 0.725$, $P = 0.200$). The best fit in the regression analysis was quadratic; however, it was not significant ($F = 1.946$, $df = 4,7$; $P = 0.207$, $R^2 = 0.526$). There was no violation of the normality assumptions of the residuals. The regression equation obtained was:

$$\text{Starch concentration} = -0.235(\text{Temperature})^2 + 11.251(\text{Temperature}) + 0.093(\text{Irradiation})^2 - 5.105(\text{Irradiation}) - 24.353$$

Resultados

Análisis de correlación y regresión de la variedad Western en raíz

El valor de la correlación múltiple entre las concentraciones de almidón y la temperatura e irradiación en la raíz de la variedad WN fue significativo ($R = 0.954$, $P < 0.001$). El análisis de regresión lineal múltiple indicó una relación significativa entre las concentraciones de almidón en la raíz y los factores ambientales ($F = 44.394$, $gl = 2,9$, $P < 0.001$, $R^2 = 0.908$). La ecuación de regresión obtenida fue:

$$\text{Concentración de almidón} = -2.405(\text{Temperatura}) + 0.908(\text{Irradiación}) + 74.681$$

La R^2 de 0.908 indica que 90.8 % de la variabilidad en la concentración de almidón puede ser explicada por la temperatura e irradiación presentes en el cultivo. El 9.2 % restante debe ser explicado por otros factores no analizados en esta investigación. No se presentó violación a los supuestos de normalidad de los residuos. En la Figura 1 se observa la relación de la temperatura e irradiación con respecto a la concentración de almidón en la variedad Western.

Análisis de correlación y regresión de la variedad Western en tronco

El valor de la correlación múltiple entre las concentraciones de almidón y los factores ambientales en el tronco de la variedad WN no fue significativo ($R = 0.725$, $P = 0.200$). El mejor ajuste en el análisis de regresión fue cuadrático; sin embargo, resultó no

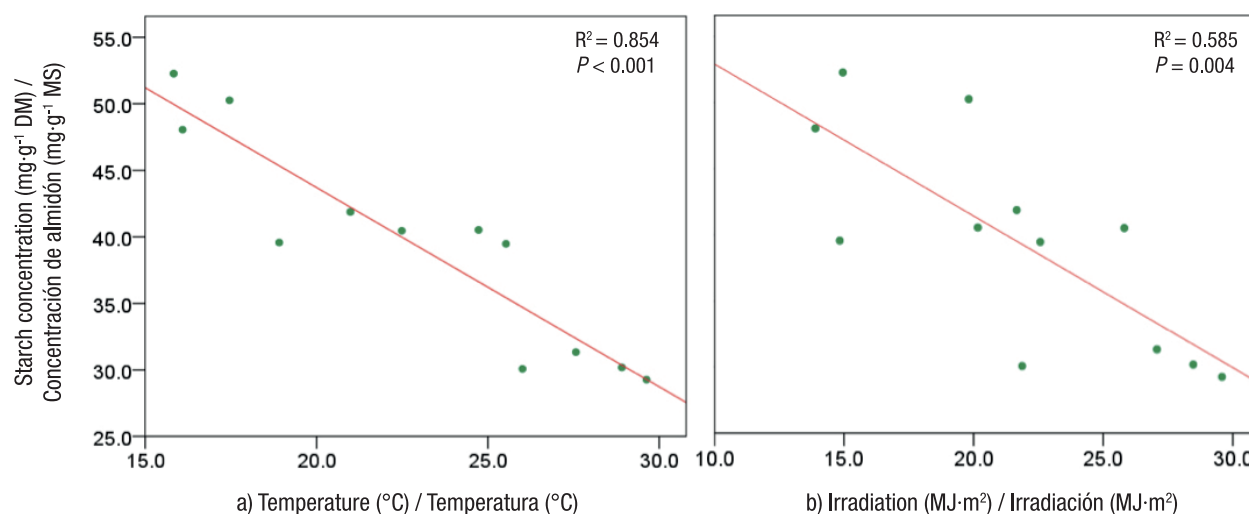


Figure 1. Relationship between starch concentration and temperature (a) and starch concentration and irradiation (b) in the root of *Carya illinoensis* variety Western. DM: dry matter.

Figura 1. Relación entre la concentración de almidón y temperatura (a) y la concentración de almidón e irradiación (b) en la raíz de *Carya illinoensis* variedad Western. MS: materia seca.

Correlation and regression analyses of the Wichita variety root

The value of the multiple correlation between starch concentrations and the temperature and irradiation in the root of the WA variety was significant ($R = 0.922$, $P < 0.001$). The multiple linear regression analysis indicated a significant relationship between root starch concentrations and environmental factors ($F = 25.608$, $df = 2,9$; $P < 0.001$, $R^2 = 0.851$). The regression equation obtained was:

$$\text{Starch concentration} = -3.399(\text{Temperature}) + 1.170(\text{Irradiation}) + 96.924$$

The value $R^2 = 0.851$ means that 85.1 % of the variability in concentration can be explained by the temperature and irradiation present in the crop, while the remaining 14.9 % is explained by other factors not analyzed in this research. There was no violation of the normality assumptions of residuals. Figure 2 shows the relationship of temperature and irradiation with respect to the starch concentration in the Wichita variety.

Correlation and regression analyses of the WA variety trunk

The value of the multiple correlation between starch concentrations and environmental factors in the trunk of the WA variety was not significant ($R = 0.732$, $P = 0.154$). The best fit in the regression analysis was quadratic; however, there was no significant

significativo ($F = 1.946$, $gl = 4,7$; $P = 0.207$, $R^2 = 0.526$). No se presentó violación a los supuestos de normalidad de los residuos. La ecuación de regresión obtenida fue:

$$\begin{aligned} \text{Concentración de almidón} = & -0.235(\text{Temperatura})^2 \\ & + 11.251(\text{Temperatura}) + 0.093(\text{Irradiación})^2 \\ & - 5.105(\text{Irradiación}) - 24.353 \end{aligned}$$

Análisis de correlación y regresión de la variedad Wichita en raíz

El valor de la correlación múltiple entre las concentraciones de almidón y la temperatura e irradiación en la raíz de la variedad WA fue significativo ($R = 0.922$, $P < 0.001$). El análisis de regresión lineal múltiple indicó una relación significativa entre las concentraciones de almidón en raíz y los factores ambientales ($F = 25.608$, $gl = 2,9$; $P < 0.001$, $R^2 = 0.851$). La ecuación de regresión obtenida fue:

$$\text{Concentración de almidón} = -3.399(\text{Temperatura}) + 1.170(\text{Irradiación}) + 96.924$$

El valor $R^2 = 0.851$ significa que 85.1 % de la variabilidad en la concentración puede ser explicada por la temperatura e irradiación presentes en el cultivo, mientras que 14.9 % restante es explicado por otros factores no analizados en esta investigación. No se presentó violación a los supuestos de normalidad de los residuos. En la Figura 2 se observa la relación de la temperatura e irradiación con respecto a la concentración de almidón en la variedad Wichita.

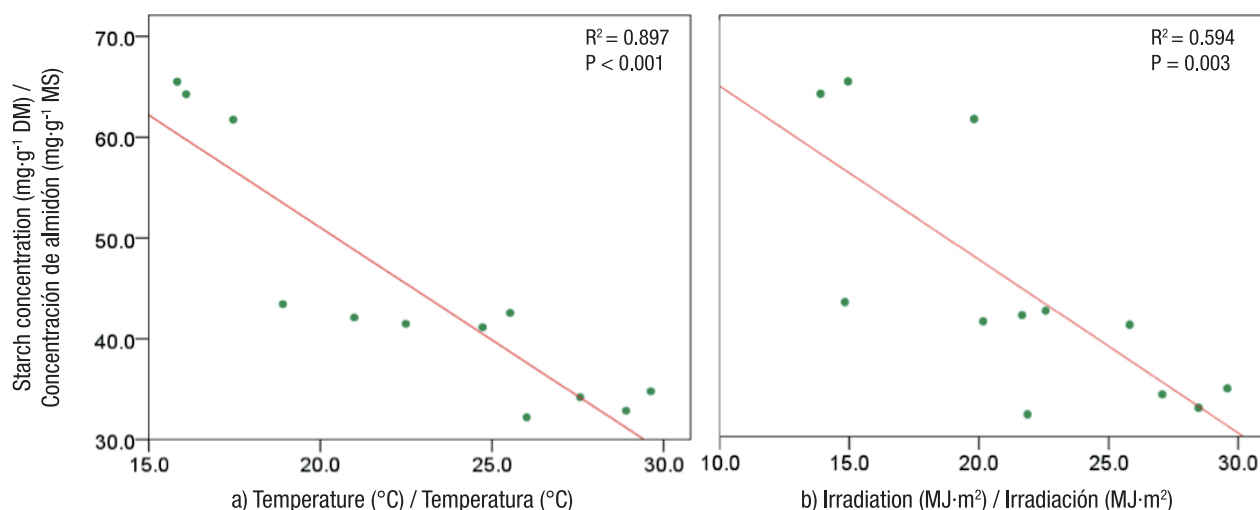


Figure 2. Relationship between starch concentration and temperature (a) and starch concentration and irradiation (b) in the root of *Carya illinoensis* variety Wichita. DM: dry matter.

Figura 2. Relación entre la concentración de almidón y temperatura (a) y la concentración de almidón e irradiación (b) en la raíz de *Carya illinoensis* variedad Wichita. MS: materia seca.

relationship between starch concentrations and environmental factors ($F = 2.030$, $df = 4,7$, $P = 0.194$, $R^2 = 0.537$). There was no violation of the normality assumptions of the residuals. The regression equation obtained was:

$$\text{Starch concentration} = -0.258(\text{Temperature})^2 + 11.120(\text{Temperature}) + 0.092(\text{Irradiation})^2 - 4.123(\text{Irradiation}) - 19.690$$

Discussion

In Mexico, pecan trees develop well where the average temperature in summer is 25 °C to 30 °C without wide variation between day and night, with an average of 26.7 °C. In the coldest months, an average between 7.2 °C and 12.3 °C is required for pecan trees to have good probabilities for proper development and production (Medina & Cano, 2002). Potisek, González, Chávez, and González (2009) state that pecan in its natural environment develops with average annual temperatures ranging from 10 °C to -1 °C during the winter and maximums of 41 °C to 46 °C during the summer; INIA (2004) indicates that the species does not require chilling in winter. The floral and vegetative buds respond to temperatures above 10 °C that occur at the beginning of spring, regardless of the accumulation of chilling during the winter period. Yepes and Silveira (2011) note that terrestrial plants are adapted to temperatures between 5 °C and 40 °C, within which dry mass production and growth takes place. Finally, Restrepo-Díaz, Melgar, and Lombardini (2010) note optimal temperatures in other fruit trees: *Malus domestica* Borkh., 20 °C (Higgins et al., 1992); *Mangifera indica* L., 30 °C (Yamada, Fukumachi, & Hidaka, 1996); *Annona cherimola* Mill., 20 °C (Higuchi, Sakuratani, & Utsunomiya, 1999); *Vitis vinifera* L., 27 °C (Higgins et al., 1992); *Prunus armeniaca* L., 25 °C (Wang, Wang, & Wang, 2007) and *Ficus carica* L., 28 °C (Can & Aksoy, 2007). In the present study with pecan, the winter stage temperature was 15 °C to 17 °C and in summer it was 25 °C to 30 °C, an interval that covers the temperatures indicated by the aforementioned authors, which gives guidelines for subsequent studies to focus on evaluating the growth and production of pecan in the region. The inversely proportional behavior of the starch concentration in the pecan root with respect to temperature coincides with that reported by Vasconcelos-Ribeiro, Caruso-Machado, Espinoza-Núñez, Augusto-Ramos, and São Pedro-Machado (2012), who indicate that high temperatures promote vegetative growth and thereby decrease starch in the *Citrus* root.

Chávez, González, Valenzuela, Potisek, and González (2009) reported that PAR (Photosynthetically Active Irradiation) levels range from 1011 to 1181 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in the final period of the maximum vegetative growth stage in pecan seedlings. Yepes and

Análisis de correlación y regresión de la variedad WA en tronco

El valor de la correlación múltiple entre las concentraciones de almidón y los factores ambientales en el tronco de la variedad WA no fue significativo ($R = 0.732$, $P = 0.154$). El mejor ajuste en el análisis de regresión fue cuadrático; sin embargo, no hubo relación significativa entre las concentraciones de almidón y los factores ambientales ($F = 2.030$, $gl = 4,7$, $P = 0.194$, $R^2 = 0.537$). No se presentó violación a los supuestos de normalidad de los residuos. La ecuación de regresión obtenida fue:

$$\text{Concentración de almidón} = -0.258(\text{Temperatura})^2 + 11.120(\text{Temperatura}) + 0.092(\text{Irradiación})^2 - 4.123(\text{Irradiación}) - 19.690$$

Discusión

En México, los nogales se desarrollan adecuadamente donde la temperatura media en verano es de 25 °C a 30 °C sin variación amplia entre el día y la noche, con un promedio de 26.7 °C. En los meses más fríos se requiere una media entre 7.2 °C y 12.3 °C, razón por la cual el nogal tiene buenas probabilidades para su desarrollo y producción (Medina & Cano, 2002). Potisek, González, Chávez, y González (2009) mencionan que el nogal pecanero en su ambiente natural se desarrolla con temperatura media anual que oscila de 10 °C a -1 °C durante el invierno y máximas de 41 °C a 46 °C durante el verano; por su parte, el INIA (2004) indica que la especie no requiere de frío en invierno. Las yemas florales y vegetativas responden a temperaturas superiores a 10 °C que se producen a inicios de primavera, independientemente de la acumulación de frío durante el periodo invernal. Yepes y Silveira (2011) mencionan que las plantas terrestres están adaptadas a temperaturas entre 5 °C y 40 °C, dentro de las cuales se lleva a cabo la producción de masa seca y el crecimiento. Finalmente, Restrepo-Díaz, Melgar, y Lombardini (2010) mencionan las temperaturas óptimas en otros frutales: *Malus domestica* Borkh., 20 °C (Higgins et al., 1992); *Mangifera indica* L., 30 °C (Yamada, Fukumachi, & Hidaka, 1996); *Annona cherimola* Mill., 20 °C (Higuchi, Sakuratani, & Utsunomiya, 1999); *Vitis vinifera* L., 27 °C (Higgins et al., 1992); *Prunus armeniaca* L., 25 °C (Wang, Wang, & Wang, 2007) y *Ficus carica* L., 28 °C (Can & Aksoy, 2007). En el presente estudio con nogal, la temperatura en la etapa invernal fue de 15 °C a 17 °C y en verano fue de 25 °C a 30 °C, intervalo que abarca las temperaturas indicadas por los autores citados previamente, lo que da pauta a que los estudios posteriores se enfoquen en evaluar el crecimiento y producción del nogal en la región. El comportamiento inversamente proporcional de la concentración del almidón en la raíz de nogal con respecto a la temperatura coincide con lo reportado

Silveira (2011) explain that, in *Hymenaea courbaril* L. plants, the photosynthetic response to light is 150 to 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Finally, Restrepo et al. (2010) report the following sunlight saturation values of other fruit trees: 1000 to 1100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in *Olea europea* L.; 1800 to 1900 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in *M. domestica*; 1800 to 1900 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in *V. vinífera*; 1100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in *F. carica*; 1300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in *Prunus persica* L. (Higgins et al., 1992); 1130 to 1330 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in *Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb (De Herralde, Biel, & Savé, 2003); 750 to 1000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in *Citrus sinensis* L. (Caruso, Tambelli, Lázaro, & Vasconcelos, 2005) and 700 to 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in *C. illinoensis* (Lombardini et al., 2009). During the present study, the pecan trees received irradiation of 13 to 19 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ or its equivalent of approximately 700 to 900 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, so the solar irradiation received in the study area is suitable for development by avoiding stress, since light interception is an important factor affecting photosynthesis in fruit trees. Taiz and Zeiger (2002) and Restrepo-Díaz et al. (2010) reported that the effect of environmental factors (drought, temperature and irradiation) on plant growth and development results in response mechanisms such as acclimatization and adaptation.

This study showed that temperature influenced starch concentrations, mainly in the root, obtaining significant regression for both pecan varieties, slightly higher in WA (WN, $R^2 = 0.854$, $P < 0.001$; WA, $R^2 = 0.897$, $P < 0.001$), which indicates that this variety is better adapted to the region's climate. The results show that temperature has an effect inversely proportional to the starch concentration in the root; that is, if the temperature increases, the starch concentration in the root decreases. This is due to the demand for carbohydrates in the aerial parts of the plant, which occurs when the environmental temperatures increase during the whole growing period, mainly for the emission of foliage (Restrepo-Díaz et al., 2010; Taiz & Zeiger, 2002, 2006). In addition, it was observed that, for both the Western and Wichita varieties, the maximum starch concentration in the root is recorded when temperatures are in the order of 15 to 20 °C. On the other hand, irradiation had a similar impact, since it was observed that the starch concentration in the root decreases at a higher irradiation rate; in both varieties, the highest concentrations were obtained between 10 and 15 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$. According to the results, the Wichita variety is the best adapted to the temperature conditions and high irradiation rates in the region.

Conclusions

Of the two varieties with the largest cultivated area, the Wichita variety was found to have better conditions for the accumulation of starch reserves in the root and trunk, since its requirements for development are lower than in the Western variety. The influence

por Vasconcelos-Ribeiro, Caruso-Machado, Espinoza-Núñez, Augusto-Ramos, y São Pedro-Machado (2012), quienes indican que las temperaturas altas promueven el crecimiento vegetativo y con ello la disminución del almidón en la raíz de *Citrus*.

Chávez, González, Valenzuela, Potisek, y González (2009) dieron a conocer que los niveles de PAR (Photosynthetically Active Irradiation) van de 1011 a 1181 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en el periodo final de la etapa de máximo crecimiento vegetativo en plántulas de nogal. Yepes y Silveira (2011) explican que, en plantas de *Hymenaea courbaril* L., la respuesta fotosintética a la luz es de 150 a 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Finalmente, Restrepo et al. (2010) informan los siguientes valores de saturación de luz solar de otros frutales: 1000 a 1100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en *Olea europea* L.; 1800 a 1900 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en *M. domestica*; 1800 a 1900 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en *V. vinífera*; 1100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en *F. carica*; 1300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en *Prunus persica* L. (Higgins et al., 1992); 1130 a 1330 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en *Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb (De Herralde, Biel, & Savé, 2003); 750 a 1000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en *Citrus sinensis* L. (Caruso, Tambelli, Lázaro, & Vasconcelos, 2005) y 700 a 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en *C. illinoensis* (Lombardini et al., 2009). Durante el presente estudio, los nogales pecaneros recibieron una irradiación de 13 a 19 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ o su equivalente 700 a 900 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ aproximadamente, por lo que la irradiación solar percibida en la zona de estudio es apta para el desarrollo evitando estrés, ya que la intercepción de luz es un factor importante que afecta la fotosíntesis en los árboles frutales. Taiz y Zeiger (2002) y Restrepo-Díaz et al. (2010) dieron a conocer que el efecto de los factores ambientales (sequías, temperatura e irradiación) sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas dan como resultado mecanismos de respuesta como la aclimatación y adaptación.

En este estudio se visualizó que la temperatura influyó en las concentraciones de almidón, principalmente en la raíz, obteniendo una regresión significativa para ambas variedades de nogal, ligeramente mayor en WA (WN, $R^2 = 0.854$, $P < 0.001$; WA, $R^2 = 0.897$, $P < 0.001$), lo cual indica que esta variedad se encuentra mejor adaptada al clima de la región. Los resultados muestran que la temperatura tiene un efecto inversamente proporcional a la concentración de almidón en la raíz; es decir, si la temperatura aumenta, la concentración de almidón en la raíz disminuye. Esto se debe a la demanda de carbohidratos en las partes aéreas de la planta, que ocurre cuando las temperaturas ambientales aumentan durante todo el periodo vegetativo, principalmente para la emisión de follaje (Restrepo-Díaz et al., 2010; Taiz & Zeiger, 2002, 2006). Además, se pudo observar que, tanto para la variedad Western como Wichita, la concentración máxima de almidón en la raíz se registra cuando las temperaturas se encuentran en el orden de los 15 a 20 °C. Por otra

of environmental factors on a given variety is of great importance, as having the proper conditions does not affect the growth and development of the plant; that is, selecting a good variety depends on knowing the effect that an environmental factor can have on the physiology of the crop. The study was carried out on adult trees, so it would be advisable to make a comparison of carbohydrate reserves in young trees, as well as relate environmental factors to the starch concentration at different ages, to know at what point in the life of the tree its starch reserves are most affected.

Acknowledgments

The authors wish to thank the following: Dr. Ángel Lagarda-Murrieta for the facilities granted for sampling in the pecan orchards of the UAAAN-UL; the UJED-FCB Forest Biology and Ecology Laboratory for allowing the use of its equipment; M. C. José Antonio Hernández-Herrera for his assistance in carrying out the sampling; and Dr. Abraham Escobar-Gutiérrez for his support in processing environmental factor data at the INRA Centre de Recherches Poitou-Charentes "URP3F ÉCOPHYSIOLOGIE".

End of English version

References / Referencias

- Bonhomme, R. (1993). The solar irradiation: characterization and distribution in the canopy. In C. Varlet-Grancher, R. Bonhomme, & H. Sinoquet (Eds.), *Crop structure and light microclimate: Characterization and applications* (pp. 17–28). France: INRA Editions. doi: 10.1002/qj.49712052020
- Briceño, E. A., Valenzuela, L. M., Espino, D. A., García, C., Esparza, J. R., & Borja, A. (2018). Content of starch in walnut organs (*Carya illinoensis* Koch) in two phenological stages. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(20), 1–20. doi: 10.29312/remexca.v0i20.987
- Can, H., & Aksoy, U. (2007). Seasonal and diurnal photosynthetic behaviour of fig (*Ficus carica* L.) under semi-arid climatic conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 57(4), 297–306. doi: 10.1080/09064710600982753
- Caruso, E., Tambelli, P., Lázaro, C., & Vasconcelos, R. (2005). Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(12), 1161–1170. doi: 10.1590/S0100-204X2005001200002
- Chávez, E., González, J. L., Valenzuela, L., Potisek, C., & González, G. (2009). Morfología, índice y densidad estomática en plántulas de nogal pecanero cultivadas bajo tres niveles de radiación solar. *Agrofaz*, 9(3), 85–90. Retrieved from <http://www.agrofaz.mx/tr/Doc/DOCUMENTOFINAL9-3.pdf>
- Coder, K. D. (2016). Heat damage in trees. Retrieved from <https://www.warnell.uga.edu/sites/default/files/publications/WSFNR-16-29%20Coder.pdf>
- De Herralde, F., Biel, C., & Savé, R. (2003). Leaf photosynthesis in eight almond tree cultivars. *Biologia Plantarum*, 46(4), 557–561. doi: 10.1023/A:1024867612478

parte, la irradiación influyó de manera similar, ya que se observó que la concentración de almidón en la raíz disminuye a mayor tasa de irradiación; en ambas variedades, las concentraciones más altas se obtuvieron entre 10 y 15 MJ·m⁻². De acuerdo con los resultados, la variedad Wichita es la mejor adaptada a las condiciones de temperatura y tasas altas de irradiación en la región.

Conclusiones

De las dos variedades con mayor superficie cultivadas se encontró que la variedad Wichita presentó mejores condiciones de acumulación de reservas de almidón en la raíz y tronco, debido a que sus requerimientos para desarrollarse son menores que en la variedad Western. La influencia de los factores ambientales en una variedad determinada es de gran importancia, ya que al contar con las condiciones adecuadas no se afecta el crecimiento y desarrollo de la planta; es decir, una buena selección de la variedad depende del efecto que un factor ambiental puede causar sobre la fisiología del cultivo. El estudio se hizo en árboles adultos, por lo que sería recomendable hacer una comparación de las reservas de carbohidratos en árboles jóvenes, así como relacionar los factores ambientales respecto a la concentración de almidón a edades diferentes, para conocer en qué momento de la vida del árbol, las reservas de almidón son más afectadas.

Agradecimientos

Los autores expresamos nuestro agradecimiento al Dr. Ángel Lagarda Murrieta por las facilidades otorgadas para la realización del muestreo en los huertos nogaleros de la UAAAN-UL; al Laboratorio de Biología y Ecología Forestal de la UJED-FCB por permitir el uso de su equipos; al M. C. José Antonio Hernández Herrera por su apoyo en la realización del muestreo; y al Dr. Abraham Escobar Gutiérrez por su apoyo en el procesamiento de los datos de factores ambientales en el INRA Centre de Recherches Poitou-Charentes "URP3F ÉCOPHYSIOLOGIE".

Fin de la versión en español

- Ebell, L. F. (1969). Specific total starch determinations in conifer tissues with glucose oxidase. *Phytochemistry*, 8, 25–36. doi: 10.1016/S0031-9422(00)85790-8
- Gardea, A., Martínez, M., & Yahia, E. (2011). Pecan (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch). In E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits* (1st ed., pp. 143–165). USA: Woodhead Publishing Limited.
- Gariglio, N., Dovis, V., Leva, P., García, M., & Bouzo, C. (2006). Acumulación de horas de frío en la zona centro-oeste de Santa Fe (Argentina) para frutales caducifolios. *Horticultura Argentina*, 25(28), 26–32.

- Gómez, G., Arreola, J., Trejo, R., & Flores, A. (2006). Efecto de niveles de radiación fotosintética sobre la producción de biomasa en arboles de nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch]. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 5(2), 179–184. Retrieved from https://chapingo.mx/revistas/zonas_aridas/contenido.php?id_articulo=976&doi=0000&id_revista=8
- Grageda, J., Ruiz, J., Jiménez, A., & Fu, A. (2014). Climate change influence on the development of pests and diseases of crops in Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10, 1913–1921. doi: 10.29312/remexca.v0i10.1026
- Haissig, B., & Dickson, R. (1982). Glucose measurement errors in enzymatic starch hydrolysates at high enzyme-glucose weight ratios. *Physiologia Plantarum*, 54(3), 244–248. doi: 10.1111/j.1399-3054.1982.tb00254.x
- Higgins, S. S., Larsen, F. E., Bendel, R. B., Rademaker, G. K., Bassman, J. H., Bidlake, W. R., & Al Wir, A. (1992). Comparative gas exchange characteristics of potted, glasshouse-grown almond, apple, fig, grape, olive, peach and asian pear. *Scientia Horticulturae*, 52(4), 313–329. doi: 10.1016/0304-4238(92)90032-8
- Higuchi, H., Sakuratani, T., & Utsunomiya, N. (1999). Photosynthesis, leaf morphology, and shoot growth as affected by temperatures in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) trees. *Scientia Horticulturae*, 80(1-2), 91–104. doi: 10.1016/S0304-4238(98)00221-0
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2005). Extractor rápido de información climatológica versión 2.0. (ERIC 2.0). Software. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2012). *Anuario estadístico del estado de Coahuila de Zaragoza*. Aguascalientes, México: Autor.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2017). Históricos temperatura (°C) 2013 a 2017. Campo Experimental La Laguna de Coahuila. Retrieved from <http://clima.inifap.gob.mx/lnmyst/Historicos/Datos?Estado=5&Estacion=26812&Anio=2017&Mes=2>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2004). El cultivo del pecano (*Carya illinoensis*). Retrieved from <http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/EL%20CULTIVO%20DEL%20PECANO.pdf>
- Kozlowski, T. T., Kramer, P. J., & Pallardy, S. G. (1991). *The physiological ecology of woody plants*. San Diego, California, USA: Academic Press, Inc.
- Lombardini, L., Restrepo, H., & Volder, A. (2009). Photosynthetic light response and epidermal characteristics of sun and shade pecan leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(3), 372–378. Retrieved from <http://journal.ashspublications.org/content/134/3/372.full.pdf>
- Medina, M. C., & Cano, P. (2002). Aspectos generales del nogal pecanero. En H. Salinas, H. M., Quiroga, A., Tijerina, & U. Figueroa (Eds.), *Tecnología de producción en nogal pecanero* (1.ª ed., pp. 1–14). México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
- Muncharaz, M. (2012). Origen y descripción botánica de la especie (*Carya illinoensis* Koch). In M. Muncharaz-Pou (Ed.), *El nogal: técnicas de producción de fruto y madera* (pp. 15–27). México: Mundi-Prensa
- Orona, I., Sangerman, D., Fortis, M., Vázquez, C., & Gallegos, M. (2013). Production and marketing of pecan nuts (*Carya illinoensis* Koch) in northern Coahuila, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3), 461–476. doi: 10.29312/remexca.v4i3.1207
- Potisek, C., González, G., Chávez, E., & González, J. (2009). La radiación solar y fertilización nitrogenada en el desarrollo de plántulas de nogal. *Agrofaz*, 9(3), 31–37. Retrieved from <http://www.agrofaz.mx/tj/Doc/DOCUMENTOFINAL9-3.pdf>
- Restrepo-Díaz, H., Melgar, J. C., & Lombardini, L. (2010). Ecophysiology of horticultural crops: an overview. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 71–79. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v28n1/v28n1a09.pdf>
- Rivetti, R. A. (2006). Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. II. Producción de materia seca. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 38(2), 25–36. Retrieved from http://revista.fca.uncu.edu.ar/images/stories/pdfs/2007-01/39_01_04.pdf
- Sage, R., & Kubien, D. (2007). The temperature response of C₃ and C₄ photosynthesis. *Plant, Cell and Environment*, 30(9), 1086–1106. doi: 10.1111/j.1365-3040.2007.01682.x
- SPSS Inc. Released (2009). PASW Statistics for Windows, version 18.0. Chicago, USA: Author.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant physiology* (3rd ed.). Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates Inc.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant physiology* (4th ed.). Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates Inc.
- United States Department of Agriculture–Natural Resources Conservation Service (USDA-NRCS). (2016). Pecan (*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch). Retrieved February 6, 2017 from <http://plants.usda.gov/classification.html>
- Valenzuela, L. M., Gérant, D., Maillard, P., Bréda, N., González, G., & Sánchez, I. (2011). Evidence for a 26kDA vegetative storage protein in the stem sapwood of mature pedunculate oak. *Interciencia*, 36(2), 142–147. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/142-c-VALENZUELA-6.pdf>
- Vasconcelos-Ribeiro, R., Caruso-Machado, E., Espinoza-Núñez, E., Augusto-Ramos, R., & São Pedro-Machado, D. F. (2012). Moderate warm temperature improves shoot growth, affects carbohydrate status and stimulates photosynthesis of sweet orange plants. *Brazilian Society of Plant Physiology*, 24(1), 37–46. doi: 10.1590/S1677-04202012000100006
- Wang, F. L., Wang, H., & Wang, G. (2007). Photosynthetic responses of apricot (*Prunus armeniaca* L.) to photosynthetic photon flux density, leaf temperature, and CO₂ concentration. *Photosynthetica*, 45(1), 59–64. doi: 10.1007/s11099-007-0009-1
- Yamada, M., Fukumachi, H., & Hidaka, T. (1996). Photosynthesis in longan and mango as influenced by high temperatures under high irradiance. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 64(4), 749–756. doi: 10.2503/jjshs.64.749
- Yepes, A., & Silveira, M. (2011). Plant responses to meteorological events related to climate change – review. *Colombia Forestal*, 14(2), 213–232. doi: 10.14483/issn.2256-201X