

Yield and vivipary of pecan nut (*Carya illinoensis* [Wangenh.] K. Koch) in relation to soil moisture

Producción y viviparidad de nogal pecanero (*Carya illinoensis* [Wangenh.] K. Koch) en relación con la humedad del suelo

Mayela Rodríguez-González¹; Jesús G. Arreola-Ávila^{1*}; Ricardo Trejo-Calzada¹; José A. Cueto-Wong²; Jorge A. Zegbe-Domínguez³; Isidro Reyes-Juárez²; Luis G. Yáñez-Chávez¹; Amparo Borja-de la Rosa⁴

¹Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Carretera Gómez Palacio-Ciudad Juárez, km 40. C. P. 35230. Bermejillo, Durango, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna. Bulevar José Santos Valdez núm. 1200, col. Centro. C. P. 27440. Matamoros, Coahuila, México.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas, Campo Experimental Zacatecas. Carretera Zacatecas-Fresnillo km 24.5. C. P. 98500. Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México.

⁴Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Carretera México-Texcoco km 38.5. C. P. 56230. Texcoco, Estado de México, México.

*Corresponding author: jgarreola@chapingo.urruza.edu.mx; tel.: +52 872 776 0190.

Abstract

Introduction: Viviparity in pecan nut (*Carya illinoensis* [Wangenh.] K. Koch) has increased considerably. This genetic-environmental phenomenon can be controlled with soil moisture management and other quality variables.

Objective: To determine the effect of soil moisture content on yield, nut size, kernel percentage and germinated nut on the tree.

Materials and methods: Forty-year-old pecan nut trees were irrigated by 40 emitters with an output of 3.2 L·h⁻¹. From the phenological stage of shell hardening, irrigation time was 4, 6 and 8 h, corresponding to moisture levels of 0.257, 0.327 and 0.380 m³ of water per m³ of soil, at depths of 40 to 80 cm. Yield per tree, germinated nut percentage, fruit size and kernel percentage were evaluated during the production cycles of 2016 and 2017 production cycles.

Results and discussion: During the two production cycles, when soil moisture level increased from 0.257 to 0.380 m³·m⁻³, nut yield per tree, fruit length and diameter, and kernel percentage increased on average 23.8 %, 25.3 and 10 %, and 1.8 %, respectively; however, vivipary increased 11.2 %, which was reflected in the decrease of commercial pecan nut percentage. Treatments 0.327 and 0.380 m³·m⁻³ had a similar effect ($P > 0.05$) on these variables.

Conclusions: The lower moisture level (0.257 m³·m⁻³), starting at the kernel filling stage, decreased vivipary and increased commercial kernel percentage.

Resumen

Introducción: La viviparidad en nogal pecanero (*Carya illinoensis* [Wangenh.] K. Koch) ha incrementado considerablemente. Este fenómeno genético-ambiental puede ser controlado con el manejo de humedad del suelo y otras variables de calidad.

Objetivo: Determinar el efecto del contenido de humedad del suelo sobre el rendimiento, tamaño de nuez, porcentaje de almendra y nuez germinada en el árbol.

Materiales y métodos: Árboles de nogal de 40 años fueron regados por 40 emisores con gasto de 3.2 L·h⁻¹. A partir de la etapa fenológica de endurecimiento de cáscara, el tiempo de riego fue de 4, 6 y 8 h, correspondientes a niveles de humedad de 0.257, 0.327 y 0.380 m³ de agua por m³ de suelo, a profundidad de 40 a 80 cm. El rendimiento por árbol, porcentaje de nuez germinada, tamaño de fruto y porcentaje de almendra se evaluaron durante los ciclos productivos 2016 y 2017.

Resultados y discusión: Durante los dos ciclos de producción, cuando el nivel de humedad en el suelo aumentó de 0.257 a 0.380 m³·m⁻³, la producción de nuez por árbol, la longitud y diámetro del fruto, y el porcentaje de almendra incrementaron en promedio 23.8 %, 25.3 y 10 %, y 1.8 %, respectivamente; sin embargo, la viviparidad incrementó 11.2 %, lo cual se vio reflejado en la disminución del porcentaje de nuez comercial. Los tratamientos 0.327 y 0.380 m³·m⁻³ tuvieron un efecto similar ($P > 0.05$) en dichas variables.

Conclusiones: El menor nivel de humedad (0.257 m³·m⁻³), a partir del llenado de almendra, disminuyó la viviparidad y aumentó el porcentaje de nuez comercial.

Keywords: nut; Western variety; premature germination, fruit size, kernel percentage.

Palabras clave: nuez; variedad Western; germinación prematura, tamaño de fruto, porcentaje de almendra

Introduction

Vivipary or premature nut germination is a phenomenon that involves embryo growth during fruit ripening while the fruit is still on the tree (Wood, 2015). This recurrent phenomenon has manifested considerably both in native trees growing in spontaneous populations (Sparks, 2005) and in commercial orchards (Leon, 2014). Vivipary is the result of a genetic-environmental effect (Wells, 2017) related to hormone content (Wood, 2015), warm autumn temperatures (León, 2014) and high soil moisture content (Godoy & López, 2000; Thompson, 2005), prior to the onset of the husk opening or nut maturity.

The degree of premature germination is also related to variety susceptibility (Wells, 2017). Wichita, Mahan, Shawnee, and Cheyenne are highly susceptible varieties; Western has a moderate degree and others such as Caddo and Sioux have low susceptibility (Aguilar et al., 2015). The regions with the highest incidence of sprouted nuts include the Hermosillo coast, with 31 % for the Wichita variety and 27 % for the Western variety (García-Moreno, Báez-Sañudo, Mercado-Ruiz, García-Robles, & Núñez-Moreno, 2020). The north region of Coahuila, Comarca Lagunera and some areas of Nuevo León and Tamaulipas (Aguilar et al., 2015) have the same problem. This phenomenon also occurs in the producing states of the southeastern United States with germination exceeding 50 % (Ou et al., 1994; Smith, 2012).

Premature nut germination increases when temperatures are 30 to 35 °C during September and October, which coincides with nut maturation and husk opening (León, 2014; Thompson, 2005). Vivipary increases in years of high production, which is closely related to soil moisture (Garrot, Kilbby, Fangmeier, Husman, & Ralowics, 1993; Sparks, Reid, Yates, Smith, & Stevenson, 1995; Wood, 2015) and duration of the period in which the nuts remain on the tree before being harvested (Stein, 1985).

Many crops exhibit vivipary (Farnsworth, 2000), although the problem is found in pecan nut (*Carya illinoensis* [Wangenh.] K. Koch) it is not found in other nut-producing species (Cohen et al., 1997; Wood, 2015). For this species, evidence indicates that predisposition of nuts to germinate is due to a low concentration of abscisic acid (León, 2014) and its interaction with gibberellins (León, 2014; White, Proebsting, Hedden, & Rivin, 2000). When there is no moisture loss in the husk, the seed will continue its development and germinate on the tree before being harvested (Wells, 2017). If high soil moisture induces vivipary, then decreased moisture content could reduce nut germination on the tree; however, its efficacy needs to be studied and tested. Therefore, the objective of this study was

Introducción

La viviparidad o germinación prematura de la nuez es un fenómeno que consiste en la continuación del crecimiento del embrión durante la maduración del fruto, cuando este se encuentra aún en el árbol (Wood, 2015). Este fenómeno recurrente se ha manifestado considerablemente tanto en árboles nativos que crecen en poblaciones espontáneas (Sparks, 2005) como en las huertas comerciales (León, 2014). La viviparidad es resultado de un efecto genético-ambiental (Wells, 2017) relacionado con el contenido hormonal (Wood, 2015), las temperaturas cálidas de otoño (León, 2014) y el contenido elevado de humedad en el suelo (Godoy & López, 2000; Thompson, 2005), previo al inicio de apertura del ruezno o madurez de la nuez.

El grado de germinación prematura también está relacionado con la susceptibilidad de la variedad (Wells, 2017). Wichita, Mahan, Shawnee y Cheyenne son variedades muy susceptibles; Western presenta un grado moderado y otras como Caddo y Sioux tienen baja susceptibilidad (Aguilar et al., 2015). Las regiones con mayor incidencia de nuez germinada incluyen la costa de Hermosillo, en la que se ha observado 31 % para la variedad Wichita y 27 % para la variedad Western (García-Moreno, Báez-Sañudo, Mercado-Ruiz, García-Robles, & Núñez-Moreno, 2020). La región norte de Coahuila, Comarca Lagunera y algunas áreas de Nuevo León y Tamaulipas (Aguilar et al., 2015) presentan el mismo problema. Este fenómeno también se manifiesta en los estados productores del sureste de Estados Unidos con germinación que supera 50 % (Ou et al., 1994; Smith, 2012).

La germinación prematura de la nuez incrementa cuando las temperaturas son de 30 a 35 °C durante septiembre y octubre, que coincide con la maduración de la nuez y apertura del ruezno (León, 2014; Thompson, 2005). Igualmente, la viviparidad incrementa en años de producción elevada, la cual está estrechamente relacionada con la humedad del suelo (Garrot, Kilbby, Fangmeier, Husman, & Ralowics, 1993; Sparks, Reid, Yates, Smith, & Stevenson, 1995; Wood, 2015) y duración del periodo en el que las nueces permanecen en el árbol antes de cosechar (Stein, 1985).

Muchos cultivos presentan viviparidad (Farnsworth, 2000), aunque el problema se exhibe en nogal pecanero (*Carya illinoensis* [Wangenh.] K. Koch) no sucede en otras especies productoras de nuez (Cohen et al., 1997; Wood, 2015). En esta especie, las evidencias indican que la predisposición de las nueces para germinar se debe a una concentración baja de ácido abscísico (León, 2014) y su interacción con las giberelinas (León, 2014; White, Proebsting, Hedden, & Rivin, 2000). Cuando no hay pérdida de humedad en el ruezno, la semilla continuará

to evaluate the effect of soil moisture content on *C. illinoensis* yield, premature nut germination, fruit size and kernel content in pecan nut during the production cycles of 2016 and 2017.

Materials and Methods

Description of the study area

The study was conducted on 40-year-old pecan nut trees, Western variety, from July to October 2016 and 2017. The trees are located in the municipality of Viesca, Coahuila, Mexico, with geographical coordinates of 25° 20' 28" N and 102° 10' and 48° 16' 16" W, and altitude of 1 100 m. The climate is BWhw (e) type, which is interpreted as very arid, semi-warm with rainfall in summer and extreme thermal amplitude with an average annual temperature between 18 and 22 °C. Average annual precipitation ranging between 200 and 300 mm, with rainfall from April to November and scarce rainfall during the rest of the year (Servicio Meteorológico Nacional [SMN], 2010). Soil has a clay loam texture, with a field capacity of 0.35 m³·m⁻³ (water content weight values, calculated at water/soil volume) and permanent wilting point of 0.19 m³·m⁻³. Spacing between trees is 12 m x 12 m and trees are planted under a true frame design. The irrigation system is drip irrigation with two lines on each side of the tree placed 2 and 3 m from the trunk at a 40 cm depth.

Experimental units and treatments

Representative trees were selected from the orchard with an average trunk circumference of 90 cm, measured at 60 cm from the ground, with an approximate height of 15 m and a leaf density of 3.5 m²·m⁻³. Each tree was irrigated with 40 emitters with an expense of 3.2 L·h⁻¹. Irrigations of 3.5 h per day started in March, during the bud break phenological stage. Irrigation time increased as the season progressed, up to 6 h per day. In the phenological stage of kernel filling, irrigation time was 4, 6 and 8 h in three irrigation sections, respectively to establish moisture levels (treatments) of 0.257, 0.327 and 0.380 m³ of water per m³ of soil. The sampling units (three trees) were selected in the middle part of each irrigation section, which included 50 trees respectively, regarding the criteria suggested by Prodan (1968) for sampling tree species. The soil moisture level was recorded based on volumetric water content, expressed in cubic meters of water per cubic meter of soil, at a depth of 80 cm, where each moisture sensor was placed. Sensors were type capacitive (EC-5 DECAGON DEVICES Inc., Pullman WA, USA) duly calibrated, which measure the dielectric constant of soil, attached to a datalogger (Em50 DECAGON DEVICES Inc., Pullman WA, USA)

su desarrollo y germinará en el árbol antes de ser cosechada (Wells, 2017). Si la humedad elevada del suelo induce la viviparidad, entonces, la disminución en el contenido de humedad podría reducir la germinación de la nuez en el árbol; sin embargo, su efectividad debe ser estudiada y comprobada. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de contenidos de humedad en el suelo sobre el rendimiento de *C. illinoensis*, la germinación prematura de la nuez, el tamaño del fruto y contenido de almendra en nogal pecanero, durante los ciclos productivos 2016 y 2017.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en árboles de nogal de 40 años, variedad Western, durante el periodo julio-octubre de 2016 y 2017. Los árboles están situados en el municipio de Viesca, Coahuila, México, con coordenadas geográficas de 25° 20' 28" LN y 102° 10' y 48° 16' LO, a una altitud de 1 100 m. El clima pertenece a un tipo BWhw (e), el cual se interpreta como muy árido, semicálido con lluvias en verano y de amplitud térmica extremosa con una temperatura media anual entre 18 y 22 °C. La precipitación promedio anual varía entre 200 y 300 mm con régimen de lluvias en los meses de abril a noviembre y escasas en el resto del año (Servicio Meteorológico Nacional [SMN], 2010). El suelo es de textura franco-arcillosa, con capacidad de campo de 0.35 m³·m⁻³ (valores de peso en contenido hídrico, calculados a volumen de agua/suelo) y punto de marchitez permanente de 0.19 m³·m⁻³. El esparcimiento entre árboles es de 12 m x 12 m y están plantados bajo un diseño de marco real. El sistema de riego es por goteo con dos líneas a cada lado del árbol colocadas a 2 y 3 m a partir del tronco a una profundidad de 40 cm.

Unidades experimentales y tratamientos

Se seleccionaron árboles representativos de la huerta con circunferencia promedio de tronco de 90 cm, medida a 60 cm a partir del suelo, con una altura aproximada de 15 m y una densidad foliar de 3.5 m²·m⁻³. Cada árbol se regó con 40 emisores con gasto de 3.2 L·h⁻¹. Los riegos con 3.5 h diarias iniciaron en marzo, durante la etapa fenológica de brotación. El tiempo de riego incrementó con el avance de la estación, hasta 6 h diarias. En la etapa fenológica del llenado de almendra, el tiempo de riego fue de 4, 6 y 8 h en tres secciones de riego, respectivamente, con el fin de establecer los niveles de humedad (tratamientos) de 0.257, 0.327 y 0.380 m³ de agua por m³ de suelo. Las unidades de muestreo (tres árboles) se seleccionaron en la parte media de cada sección de riego, la cual incluía 50 árboles respectivamente, considerando el

to record the readings, which were subsequently correlated with moisture content. The recording was done daily, and data were stored in spreadsheet format file, from July to October 2016 and 2017.

Response variables and statistical analysis

Variables evaluated were nut production (kg) per tree at the time of harvest, which was carried out with mechanical vibrator on September 11 and 16, 2016 and 2017, respectively; fruit size, expressed in length and diameter, measured with vernier in a sample of 50 nuts per tree; percentage of germinated nut and commercial nut derived from the quotient of the number of nuts for each condition (n) and the total of collected nuts (N), multiplied by 100; kernel percentage from a sample of 20 nuts per tree, which were broken with a nutcracker and the kernel was separated from the shell. The weight (g) of the kernel was divided by the total weight of the sample and multiplied by 100. The experimental design was completely randomized in repeated measures over time; the study factor corresponded to the available soil moisture content (0.380 , 0.327 and $0.257 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$). The experimental unit was an individual tree. The normal distribution of the data was analyzed using the Shapiro-Wilk test; then, an ANOVA test was carried out to determine the significance of treatments and Tukey's test ($P \leq 0.05$) for mean difference. For this purpose, SAS version 9.0 (SAS Institute, 2002) and Microsoft Excel version 2013 were used.

Results

Soil moisture dynamics

Figure 1 shows the behavior of soil moisture under three volumetric water contents, at 80 cm soil depth from July to October 2016. The soil irrigated with $0.380 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ had higher water moisture than at field capacity (FC), starting from the phenological stage of husk hardening occurring in the last week of July (Figure 1). Moisture content in this treatment showed no saturation values during the season; however, at the end of September higher water content was observed. The area irrigated with $0.327 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$, which corresponded to the irrigation applied by the producer, kept available moisture close to field capacity during July and August; starting in September, it decreased as the ($0.257 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$) had the lowest values during the season and decreased from September onwards, as in the treatment of $0.327 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$.

In 2017, moisture curves similar to those of 2016 were observed. Accumulated precipitation in 2016 was 352 mm; the amount of water recorded was 114 mm from January to June and 238 mm from July to October. In

critério sugerido por Prodan (1968) para muestreo en especies arbóreas. El nivel de humedad en el suelo se registró con base en el contenido volumétrico de agua, expresado en metros cúbicos de agua por metro cúbico de suelo, a profundidad de 80 cm, donde se colocó cada sensor de humedad. Los sensores fueron de tipo capacitivo (EC-5 DECAGON DEVICES Inc., Pullman WA, EUA) debidamente calibrados, los cuales miden la constante dieléctrica del suelo, conectados a un *datalogger* (Em50 DECAGON DEVICES Inc., Pullman WA, EUA) para registrar las lecturas que, posteriormente, se correlacionaron con el contenido de humedad. El registro se hizo diariamente y los datos se almacenaron en archivo de formato de hoja electrónica, durante el periodo julio-octubre del 2016 y 2017.

Variables respuesta y análisis estadístico

Las variables evaluadas fueron producción de nuez (kg) por árbol al momento de la cosecha, la cual se llevó a cabo con vibradora mecánica el 11 y 16 de septiembre de 2016 y 2017, respectivamente; tamaño de fruto, expresado en longitud y diámetro, medido con vernier en una muestra de 50 nueces por árbol; porcentaje de nuez germinada y nuez comercial resultado del cociente del número de nueces para cada condición (n) y el total de las nueces colectadas (N), multiplicado por 100; porcentaje de almendra de una muestra de 20 nueces por árbol, las cuales se rompieron con un cascanueces y se separó la almendra de la cáscara. El peso (g) de la almendra se dividió entre el peso total de la muestra y se multiplicó por 100. El diseño experimental fue completamente al azar en medidas repetidas en el tiempo; el factor de estudio correspondió al contenido de humedad disponible en el suelo (0.380 , 0.327 y $0.257 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$). Un árbol se consideró como unidad experimental. La distribución normal de los datos se analizó utilizando la prueba de Shapiro-Wilk; posteriormente, un análisis de varianza se realizó para determinar la significancia de los tratamientos y la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para la separación de las medias. Para ello se usaron los programas SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002) y Microsoft Excel versión 2013.

Resultados

Dinámica de la humedad del suelo

La Figura 1 muestra el comportamiento de la humedad del suelo bajo tres contenidos volumétricos de agua, a profundidad de 80 cm del suelo durante el periodo julio-octubre de 2016. El suelo regado con $0.380 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ tuvo humedad hídrica superior que a capacidad de campo (CC), a partir de la etapa fenológica de endurecimiento de cáscara que ocurre en la última semana de julio (Figura 1). El contenido de humedad en este tratamiento no presentó valores de saturación durante la estación;

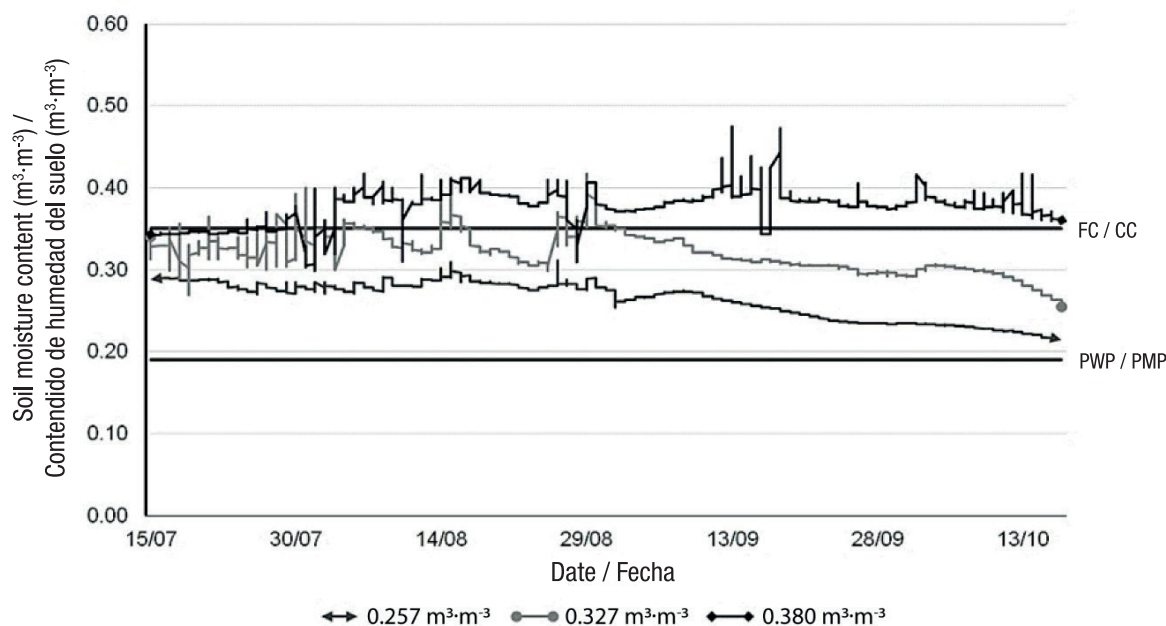


Figure 1. Soil moisture dynamics under three volumetric water contents at a depth of 80 cm in pecan nut (*Carya illinoensis*) during the production cycle of 2016. FC: field capacity, PWP: permanent wilting point.

Figura 1. Dinámica de humedad del suelo bajo tres contenidos volumétricos de agua a la profundidad de 80 cm en nogal pecanero (*Carya illinoensis*) durante el ciclo productivo 2016. CC: capacidad de campo, PMP: punto de marchitez permanente.

2017, the amount of accumulated water was 200 mm, much lower than in 2016, with a record of 26 mm from January to June and 131 mm from July to September, while the rest, equivalent to 43 mm, was recorded in December.

Pecan nut yield

According to Table 1, treatments with higher moisture increased nut yield per tree ($P \leq 0.05$). This result was mainly due to the increase in nut size and higher kernel percentage, but not due to the number of nuts. In 2016, considered a productive year, the increase was 12.7 % when soil moisture level increased from 0.257 to 0.327 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, and 24.1 % when it increased to 0.380 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$. A similar response was reported in 2017, in which lower production was observed due to alternation that is common in this species. Production per tree increased 12.7 % when available soil moisture increased from 0.257 to 0.327 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, and 23.6 % in trees with the highest available moisture.

Premature germination of pecan nut

In the two production cycles (2016 and 2017), prematurely germinated nut production in trees (Figure 2) increased significantly ($P < 0.05$) under moisture contents of 0.327 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ and 0.380 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$. According to Table 2, in 2016, trees with higher soil moisture had 12 % more germinated nut production than trees with the lowest level. In 2017, from the shell

sin embargo, a finales de septiembre se observó una tendencia hacia un contenido hídrico mayor. El área regada con 0.327 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, que correspondió al riego aplicado por el productor, conservó la humedad disponible cercana a capacidad de campo durante julio y agosto; a partir de septiembre, disminuyó conforme avanzó el ciclo productivo. Por otra parte, el suelo con menor volumen de agua aplicado (0.257 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) mostró los valores más bajos durante la estación y disminuyó a partir de septiembre, como sucedió en el tratamiento de 0.327 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$.

En 2017 se observaron curvas de humedad similares a las del 2016. La precipitación acumulada en 2016 fue 352 mm; la cantidad de agua registrada fue 114 mm de enero a junio y 238 mm de julio a octubre. En el 2017, la cantidad de agua acumulada fue 200 mm, muy inferior a la del 2016, obteniendo un registro de 26 mm en el periodo enero a junio y 131 mm de julio a septiembre, mientras que el resto, equivalente a 43 mm, se registró en diciembre.

Rendimiento de nuez

De acuerdo con el Cuadro 1, los tratamientos con mayor humedad incrementaron la producción de nuez por árbol ($P \leq 0.05$). Este resultado se debió principalmente al incremento en el tamaño de la nuez y mayor porcentaje de almendra, pero no por el número de nueces. En 2016, considerado año productivo, el incremento fue 12.7 % cuando el nivel de

Table 1. Total commercial nut production per pecan tree (*Carya illinoensis*), under three volumetric water contents, during two productive cycles.

Cuadro 1. Producción total de nuez comercial por árbol (*Carya illinoensis*), bajo tres contenidos volumétricos de agua, durante dos ciclos productivos.

Soil moisture (m ³ .m ⁻³)/ Humedad edáfica (m ³ .m ⁻³)	Total production (kg.tree ⁻¹)/Producción total (kg.árbol ⁻¹)	
	2016	2017
0.380	21.46 ± 2.57 a	19.83 ± 1.67 a
0.327	19.48 ± 2.95 ab	18.08 ± 2.63 ab
0.257	17.29 ± 6.72 b	16.04 ± 3.29 b

± Standard deviation of the mean (n = 3). In each cycle, mean values followed by the same letter are not significantly different from each other according to the Tukey's test ($P = 0.05$).

± Desviación estándar de la media (n = 3). En cada ciclo, los valores medios seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes entre sí, según la prueba de Tukey ($P = 0.05$).

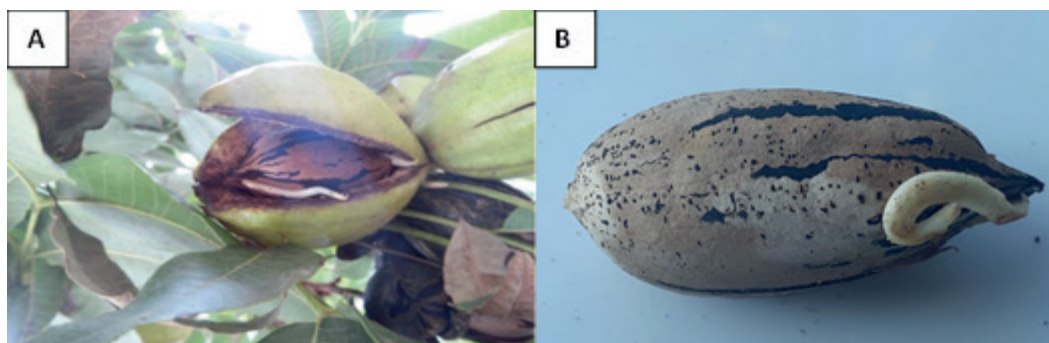


Figure 2. Germinated pecan nut inside *Carya illinoensis* husk, showing radicle during ripening period (A) and harvested nut (B).

Figura 2. Nuez germinada dentro del ruego de *Carya illinoensis* mostrando la radícula durante el periodo de maduración (A) y nuez cosechada (B).

hardening stage (late July) to the end of the production cycle, the highest soil moisture level caused significant increase ($P < 0.05$) of 10.5 % of germinated nut. The increase in vivipary negatively affected the percentage of commercial nut (Table 2); therefore, the soil moisture level of 0.257 m³.m⁻³ proved to be the most effective in decreasing vivipary without affecting the percentage of commercial nut.

Fruit size

In the production cycle of 2016, fruit length and diameter increased significantly ($P < 0.05$) in trees with the two higher moisture levels (Table 3). In this cycle, the year of highest production, nut length and diameter in trees with higher moisture content (0.38 m³.m⁻³) were 30 % and 12 % greater than in trees subjected to lower moisture levels. A similar effect was observed in 2017; the treatment with the lowest soil moisture content (0.257 m³.m⁻³) caused a 1.0 cm (20.6 %) and 0.23 cm (8 %) reduction in fruit length and diameter, respectively, in relation to the high

humedad en el suelo aumentó de 0.257 a 0.327 m³.m⁻³, y 24.1 % cuando aumentó a 0.380 m³.m⁻³. Una respuesta similar se obtuvo en 2017, en el cual se observó menor producción debido a la alternancia que es característica en esta especie. La producción por árbol incrementó 12.7 % cuando la humedad disponible en el suelo aumentó de 0.257 a 0.327 m³.m⁻³, y 23.6 % en los árboles con la mayor humedad disponible.

Germinación prematura de nuez

En los dos ciclos productivos (2016 y 2017), la producción de nuez germinada prematuramente en los árboles (Figura 2) incrementó significativamente ($P < 0.05$) bajo los contenidos de humedad de 0.327 m³.m⁻³ y 0.380 m³.m⁻³. Acorde con el Cuadro 2, en el 2016, los árboles con mayor humedad en el suelo tuvieron 12 % más producción de nuez germinada que los árboles con el nivel más bajo. En el 2017, a partir de la etapa del endurecimiento de cáscara (finales de julio) hasta el final del ciclo productivo, el mayor nivel de humedad en el suelo provocó el aumento significativo

Table 2. Prematurely germinated nut and commercial nut of *Carya illinoensis* according to available soil moisture during two production cycles.**Cuadro 2. Nuez germinada prematuramente y nuez comercial de *Carya illinoensis* en función de la humedad disponible en el suelo durante dos ciclos de producción.**

Soil moisture (m ³ .m ⁻³)/ Humedad edáfica (m ³ .m ⁻³)	Year 2016 / Año 2016		Year 2017 / Año 2017	
	Germinated nut (%) / Nuez germinada (%)	Commercial nut (%) / Nuez comercial (%)	Germinated nut (%) / Nuez germinada (%)	Commercial nut (%) / Nuez comercial (%)
0.380	17.4 ± 3.3 a	82.6 ± 3.8 a	14.6 ± 1.4 a	85.4 ± 4.7 a
0.327	14.2 ± 0.9 a	85.8 ± 4.1 a	12.8 ± 3.2 a	87.2 ± 5.9 a
0.257	5.2 ± 1.4 b	94.8 ± 6.9 b	4.1 ± 2.3 b	95.9 ± 7.6 b
CV (%)	8.7	20.2	7.2	17.4

± Standard deviation of the mean (n = 3). In each column, mean values followed by the same letter are not significantly different from each other according to the Tukey's test ($P = 0.05$).

± Desviación estándar de la media (n = 3). En cada columna, los valores medios seguidos por las mismas letras no son significativamente diferentes entre sí, según la prueba de Tukey ($P = 0.05$).

Table 3. Pecan nut (*Carya illinoensis*) length and diameter according to three soil moisture contents during two production cycles.**Cuadro 3. Longitud y diámetro de nuez pecanera (*Carya illinoensis*) en función de tres contenidos de humedad del suelo durante dos ciclos productivos.**

Soil moisture (m ³ .m ⁻³)/ Humedad edáfica (m ³ .m ⁻³)	Year 2016 / Año 2016		Year 2017 / Año 2017	
	Fruit length (cm) / Longitud de fruto (cm)	Fruit diameter (cm) / Diámetro de fruto (cm)	Fruit length (cm) / Longitud de fruto (cm)	Fruit diameter (cm) / Diámetro de fruto (cm)
0.380	5.07 ± 0.22 a	2.90 ± 0.24 a	5.17 ± 0.18 a	2.90 ± 0.19 a
0.327	4.93 ± 0.24 a	2.81 ± 0.26 a	4.95 ± 0.2 a	2.85 ± 0.17 a
0.257	3.89 ± 0.27 b	2.58 ± 0.18 b	4.16 ± 0.32 b	2.67 ± 0.22 b
CV (%)	4.69	7.54	8.54	5.61

± Standard deviation of the mean (n = 50). In each column, mean values followed by the same letter are not significantly different from each other according to the Tukey's test ($P = 0.05$).

± Desviación estándar de la media (n = 50). En cada columna, los valores medios seguidos por las mismas letras no son significativamente diferentes entre sí, según la prueba de Tukey ($P = 0.05$).

moisture level. From fruit hardening, final length and diameter at harvest were reduced in trees with lower water supply.

Kernel percentage

Table 4 indicates that, in 2016, kernel percentage increased significantly ($P < 0.05$) in treatments with higher soil moisture; kernel percentages were 1.95 and 0.62 % higher than in pecan nut0 trees subjected to lower moisture levels. In 2017, moisture treatments

($P < 0.05$) de 10.5 % de nuez germinada. El incremento en viviparidad afectó negativamente el porcentaje de nuez comercial (Cuadro 2); por lo tanto, el nivel de humedad en el suelo de 0.257 m³.m⁻³ resultó ser el más efectivo en la disminución de la viviparidad sin afectar el porcentaje de nuez comercial.

Tamaño del fruto

En el ciclo productivo 2016, la longitud y el diámetro del fruto incrementaron significativamente ($P < 0.05$) en

Table 4. Kernel percentage under three soil moisture levels in two pecan nut (*Carya illinoensis*) production cycles.**Cuadro 4. Porcentaje de almendra bajo tres niveles de humedad en el suelo en dos ciclos de producción de nogal pecanero (*Carya illinoensis*).**

Soil moisture (m ³ ·m ⁻³)/ Humedad edáfica (m ³ ·m ⁻³)	Year 2016 / Año 2016	Year 2017 / Año 2017
	Kernel (%) / Almendra (%)	Kernel (%) / Almendra (%)
0.380	58.85 ± 3.50 a	58.82 ± 3.33 a
0.327	57.52 ± 1.50 ab	57.58 ± 2.87 ab
0.257	56.90 ± 1.28 b	57.00 ± 2.68 b

± Standard deviation of the mean (n = 3). In each column, mean values followed by the same letter are not significantly different from each other according to the Tukey's test (P = 0.05).

± Desviación estándar de la media (n = 3). En cada columna, los valores medios seguidos por las mismas letras no son significativamente diferentes entre sí, según la prueba de Tukey (P = 0.05).

had a similar effect on this variable; soil moisture level of 0.257 m³·m⁻³ had the lowest kernel percentage, which was exceeded by 0.58 and 1.82 percentage points because of trees with moisture levels of 0.327 and 0.380 m³·m⁻³, respectively.

Discussion

Pecan nut yield

Adequate environmental conditions and proper management during pecan nut production cycle, particularly in each phenological phase, lead to good production (Reyes Vázquez & Morales Landa, 2019). Furthermore, available soil moisture (Grauke, Wood, & Harris, 2016; Thompson, 2005), related to the supply of fertilizations, is important for the tree to manifest its productive potential (Walworth, White, & Comeau, 2017). Therefore, it is essential to avoid water stress conditions, during the period of nut growth and kernel filling stage (Godoy & López, 2000). The results of the two years of evaluation indicate that the higher soil moisture level, from fruit shell hardening occurred at the end of July, had a positive effect on nut production per tree. This exceeded the average nut yield (1.1 t·ha⁻¹) in the Comarca Lagunera, reported by Santamaría, Medina Morales, Rivera-González, and Faz Contreras (2002), especially in the two treatments with higher moisture content. The increase in nut yield with increasing soil moisture has also been observed by Marco et al. (2021) and supports that established by Sparks (2005) regarding the high-water requirement of the species (Walls, 2017). It is concluded that high water requirement was inherited by its ancestors, which developed in river margins and deep and fertile soils (Babuín, Echeverría, Menedez, & Maiale 2016; Poletto, Poletto, Morales, Briao, Silveira, & Richards

los árboles con los dos niveles de humedad superiores (Cuadro 3). En este ciclo, año de mayor producción, la longitud y el diámetro de nuez en los árboles con mayor contenido de humedad (0.38 m³·m⁻³) fueron 30 % y 12 % mayores que en los árboles sometidos a niveles menores de humedad. En 2017 se observó un efecto similar; el tratamiento con menor contenido de humedad disponible en el suelo (0.257 m³·m⁻³) ocasionó una reducción de 1.0 cm (20.6 %) y 0.23 cm (8 %) en la longitud y diámetro del fruto, respectivamente, con respecto al nivel alto de humedad. A partir del endurecimiento del fruto, la longitud y diámetro final al momento de la cosecha se redujo en los árboles con suministro hídrico menor.

Porcentaje de almendra

El Cuadro 4 indica que, en el 2016, el porcentaje de almendra aumentó significativamente (P < 0.05) en los tratamientos con mayor humedad disponible en el suelo; los porcentajes de almendra fueron 1.95 y 0.62 % mayores que en los nogales sometidos a niveles inferiores de humedad. En el 2017, los tratamientos de humedad tuvieron un efecto similar sobre esta variable; en el nivel de humedad del suelo de 0.257 m³·m⁻³ se observó el menor porcentaje de almendra, el cual fue superado en 0.58 y 1.82 puntos porcentuales por los árboles con niveles de humedad de 0.327 y 0.380 m³·m⁻³, respectivamente.

Discusión

Rendimiento de nuez

Las condiciones ambientales favorables y un manejo adecuado durante el ciclo productivo del nogal, particularmente en cada fase fenológica, propician

2020). In this regard, Orona Castillo, Sangerman-Jarquín, Cervantes Vázquez, Espinoza Arellano, and Núñez Moreno (2019) determined that pecan nut yields per unit area, in pecan nut orchards in northern Mexico, are directly related to irrigation availability and technical attention. Regarding the above, it is possible to explain the low production in trees that had less water volume in the soil, reflected in the lower number of smaller fruits produced, as observed in other species (Wiegand & Swanson, 1982).

Premature germination of pecan nut

Several studies indicate there are a number of plants that exhibit vivipary (Duermeyer et al., 2018); however, there are few reports concerning this phenomenon in commercial fruiting species (Taylor, Kunene, & Pandor, 2020). Farnsworth (2000) suggests that vivipary is more common in plants with a particular morphological profile, including large seeds observed only in one fruit; seeds with hard endocarp surrounded by fleshy tissue that keep internal water content; species with directed dispersal (a strategy that allows them to reach specific habitats favorable for survival); species with long adult life spans, as well as, those that are less specialized for microhabitats; and those adapted to moist habitats. According to Wood (2015), vivipary is also favored by high fruit moisture, together with the presence of temperatures of 30 to 35 °C during the final stage of development and low concentration of abscisic acid. Since pecan nut has most of these characteristics, the probability of premature germination, even remaining on the tree, is high, when temperature and moisture conditions are favorable (Gonçalves Bilharva et al., 2018; Wood, 2015). The study region has an average maximum temperature of 33 °C and precipitation of 131 mm from July to September, conditions that can be conducive to the occurrence of this phenomenon (Sifuentes-Ibarra et al., 2015).

Vivipary is considered a plant adaptation to take advantage of certain conditions to increase survival in the wild; in cultivated pecan nut trees, it is a cause of economic losses (Wood, 2015). The germination process uses stored carbohydrates for growth, and the process causes blackening of the region of the embryo that joins the two kernel sections; nuts with this characteristic are not marketable (Wood, 2015). Taylor et al. (2020) add that, in addition to the aforementioned conditions, tree vigor, light condition, and overfertilization in the late stages of nut development could be the factors leading to vivipary in *C. illinoensis*.

In this study, the highest number of germinated nuts was observed in trees with higher soil moisture content. The trend toward greater vivipary as soil

una buena producción (Reyes Vázquez & Morales Landa, 2019). Asimismo, la humedad disponible en el suelo (Grauke, Wood, & Harris, 2016; Thompson, 2005), asociada con el suministro de fertilizaciones, es importante para que el árbol manifieste su potencial productivo (Walworth, White, & Comeau, 2017). Por ello, es fundamental evitar condiciones de estrés hídrico, durante el periodo de crecimiento y llenado de la nuez (Godoy & López, 2000). Los resultados de los dos años de evaluación indican que el mayor nivel de humedad en el suelo, a partir del endurecimiento de cáscara del fruto ocurrido a finales de julio, tuvo un efecto positivo en la producción de nuez por árbol. Esta superó la producción media de nuez (1.1 t·ha⁻¹) en la Comarca Lagunera, reportada por Santamaría, Medina Morales, Rivera-González, y Faz Contreras (2002), particularmente en los dos tratamientos con mayor contenido de humedad. El incremento del rendimiento de nuez, al aumentar la humedad en el suelo, también ha sido observado por Marco et al. (2021) y soporta lo establecido por Sparks (2005) con relación a la necesidad hídrica elevada de la especie (Walls, 2017). Se deduce que el requerimiento hídrico elevado fue heredado por sus ancestros, los cuales se desarrollaron en los márgenes de ríos y suelos profundos y fértiles (Babuín, Echeverría, Menedez, & Maiale 2016; Poletto, Poletto, Morales, Briao, Silveira, & Richards 2020). Al respecto, Orona Castillo, Sangerman-Jarquín, Cervantes Vázquez, Espinoza Arellano, y Núñez Moreno (2019) determinaron que los rendimientos de nuez por unidad de superficie, en las huertas de nogales del norte de México, están directamente relacionados con la disponibilidad de riegos y la atención técnica. Considerando lo anterior, se puede explicar la baja producción en los árboles que tuvieron menor volumen de agua en el suelo, reflejada en la menor cantidad de frutos producidos y de menor tamaño, como se ha observado en otras especies (Wiegand & Swanson, 1982).

Germinación prematura de nuez

Diversos estudios indican que existe una serie de plantas que presentan viviparidad (Duermeyer et al., 2018); sin embargo, son pocos los reportes que se tienen sobre este fenómeno en las especies frutícolas comerciales (Taylor, Kunene, & Pandor, 2020). Farnsworth (2000) plantea que la viviparidad es más común en plantas con un perfil morfológico particular, que incluye semillas grandes observadas solo en una fruta; semillas con endocarpio duro rodeado de tejido carnoso que mantiene el contenido de agua interno; especies de dispersión dirigida (estrategia que les permite alcanzar hábitats específicos favorables para su supervivencia); especies con larga vida adulta, así como, aquellas que están menos especializadas para microhábitats; y las adaptadas a los hábitats húmedos. Según Wood (2015),

moisture levels increased confirms the results obtained by Godoy and López (2000), León (2014), and Wood (2015). Prior to ripening, nuts are not physiologically in dormancy, but are mechanically restricted to germinate (Wood, 2015). In this constraint, the nut shell, which appears to be a formidable barrier (Wells, 2017), provides no impediment to the transfer of water or gases required for germination. As a result, the high amount of moisture between nut shell and husk, related to high temperatures, could consequently be a factor that neutralizes the mechanical effect of the shell, allowing the nut to germinate prematurely, even when it still on the tree, as happens in some susceptible varieties under suitable climatic conditions (Aguilar et al., 2015). In 2016, the maximum, minimum, and mean temperatures in September were 32.7, 19.3, and 26 °C, respectively, and in October were 20.2, 16.2, and 23.3 °C. In 2017, the maximum, minimum and average temperatures in September were 32.4, 19.0 and 25.7 °C and in October were 30.2, 16.9 and 23.6 °C. The presence of temperatures above 30 °C during the nut ripening period, associated with high humidity, could have been an important factor on the induction of premature nut germination on the tree (García-Moreno et al., 2020; Nonogaki, Barrero, & Li, 2018).

On the other hand, the number of germinated nuts increases in years of high production (Sparks, 2005; Stein, 1985). In this study, the trend towards a higher presence of germinated nuts in 2016 (year of high production) was not evident in 2017, a year with lower production and vivipary.

Nut size and kernel percentage

Nut growth and kernel filling stage depend mainly on moisture content; therefore, its adequate availability in the soil is important, both in the first phase of development, which is characterized by nut growth, and during the second phase, which corresponds to the kernel filling stage (Ferreira, Selles, & Lemus, 2002; Godoy & Huitrón, 1998; Godoy & López, 2000). Moisture stress during fruit growth leads to the production of small nuts (Godoy & Huitrón, 1998; Herrera, 1990). On the contrary, a water deficit during kernel filling stage induces a low kernel percentage (Herrera, 1990; Godoy & Huitrón, 1998). In the present study, nut size increased as moisture availability increased, without affecting kernel percentage, whose tendency to increase was greater in trees with better moisture conditions. Values for nut growth are similar to those reported by Marco et al. (2021), agreeing with the fact that the amount of water applied during the kernel filling stage influences fruit width and length, with significantly larger nuts as irrigation increases.

la viviparidad también es favorecida por una humedad elevada en el fruto, aunada a la presencia de temperaturas de 30 a 35 °C durante la etapa final de su desarrollo y baja concentración de ácido abscísico. Dado que la nuez pecanera presenta la mayoría de estas características, la probabilidad de que presente germinación prematura, aun permaneciendo en el árbol, es elevada, cuando las condiciones de temperatura y humedad son propicias (Gonçalves Bilharva et al., 2018; Wood, 2015). La región de estudio presenta temperatura máxima promedio de 33 °C y precipitación de 131 mm de julio a septiembre, condiciones que pueden ser propicias para que ocurra este fenómeno (Sifuentes-Ibarra et al., 2015).

La viviparidad es considerada una adaptación de la planta para tomar ventaja ante ciertas condiciones y así incrementar la sobrevivencia en el medio silvestre; en nogales cultivados, es una causa de pérdidas económicas (Wood, 2015). El proceso de la germinación usa carbohidratos almacenados para el crecimiento, y en el proceso causa ennegrecimiento de la región del embrión que une a las dos secciones de almendra; las nueces con esta característica no son comercializables (Wood, 2015). Taylor et al. (2020) agregan que, además de las condiciones mencionadas, el vigor de los árboles, la condición de luz y la fertilización en exceso en las últimas etapas del desarrollo de la nuez, podrían ser los factores que desencadenan la viviparidad en *C. illinoensis*.

En el presente estudio, la mayor cantidad de nueces germinadas se observó en los árboles con mayor contenido de humedad en el suelo. La tendencia hacia mayor viviparidad, conforme el nivel de humedad incrementó en el suelo, confirma los resultados obtenidos por Godoy y López (2000), León (2014), y Wood (2015). Previo a la maduración, las nueces no están fisiológicamente en dormancia, sino que tienen una restricción mecánica para germinar (Wood, 2015). En esta restricción, la cáscara de la nuez, que parece ser una barrera formidable (Wells, 2017), no impide la transferencia de agua o gases requeridos para la germinación. Como resultado, la cantidad elevada de humedad entre la cáscara y el ruzno de la nuez, asociadas con temperaturas altas, podrían consecuentemente ser un factor que neutraliza el efecto mecánico de la cáscara, permitiendo que la nuez germine prematuramente, aun estando en el árbol, como sucede en algunas variedades susceptibles bajo condiciones climáticas adecuadas (Aguilar et al., 2015). En 2016, las temperaturas máxima, mínima y media en septiembre fueron 32.7, 19.3 y 26 °C, respectivamente, y en octubre fueron 20.2, 16.2 y 23.3 °C. En 2017, las temperaturas máxima, mínima y media en septiembre fueron 32.4, 19.0 y 25.7 °C y en octubre fueron 30.2, 16.9 y 23.6 °C. La presencia de temperaturas superiores

According to the USDA (United States Department of Agriculture, 2020), the average nut length is 36.8 mm and 25.07 mm wide. In this study, nut length and width values were greater than those referred to and increased in relation to water availability. Thus, during the kernel filling stage, when embryo development occurs, the size of walnut response to increased irrigation water is evident; however, vivipary increases and the percentage of commercial pecan nut decreases. The positive response toward larger size and higher kernel percentage in higher moisture treatments is not consistent with the assumption that pecan nuts fill better or produce better developed kernels (Thompson, 2005). In this study, kernel percentage ranged from 56 % to 58 % in the lower and higher moisture trees during the two production cycles. These records exceed the reference values for export (55 %) (Godoy & López, 2000). The kernel percentage is used in the pecan nut industry to determine the price per unit weight of pecan nuts in shell (Thompson, 2005). Also, it has been noted that high yields affect kernel percentage (Smith, 2012; Smith, Reid, Carroll, & Cheary, 1993). In this study, yield per tree, specifically in 2016, had no effect on kernel size and kernel percentage, which increased within the moisture levels evaluated.

Conclusions

The moisture content of 0.257 m³.m⁻³ soil was the best treatment for reducing premature nut germination. The highest nut production per tree was reported for the 0.380 m³.m⁻³ treatment; however, vivipary also increased and affected the percentage of commercial nut; irrigation applied by the producer (0.327 m³.m⁻³) had the same effect on these variables. Therefore, this study proved that high soil moisture induces vivipary and that decreased irrigation could reduce this phenomenon.

End of English version

References / Referencias

- Aguilar-Pérez, H., Arreola-Ávila, J. G., Morales-Olais, E., Cuéllar-Villarreal, E., Lagarda-Murrieta, A., Tarango-Rivero H., ...Lombardini, L. (2015). 'Norteña' Pecan. *HortScience*, 50(9), 1399–1400. doi: 10.21273/HORTSCI.50.9.1399
- Babuín, M. F., Echeverría, M., Menedez, A. B., & Maiale, S. J. (2016). Arbuscular mycorrhizal pecan seedlings alleviate effect of restricted water supply. *HortScience*, 5(3), 212–215. doi: 10.21273/HORTSCI.51.3.212
- Cohen, M., Valancogne, C., Dayau, S., Ameglio, T., Cruiziant, P., & Archer, P. (1997). Yield and physiological responses of walnut trees in semiarid conditions: application to irrigation scheduling. *Acta de Horticultura*, 449, 273–280. doi: 10.17660/ActaHortic.1997.449.39
- a los 30 °C durante el periodo de maduración de la nuez, asociadas con la humedad elevada, pudieron ser un factor importante sobre la inducción de la germinación prematura de nueces en el árbol (García-Moreno et al., 2020; Nonogaki, Barrero, & Li, 2018).
- Por otra parte, la cantidad de nueces germinadas en el árbol incrementa en los años de alta producción (Sparks, 2005; Stein, 1985). En este estudio, la tendencia hacia una mayor presencia de nueces germinadas en 2016 (año de mayor producción) no se manifestó en el 2017, año con menor producción y viviparidad.
- ### Tamaño de nuez y porcentaje de almendra
- El crecimiento y llenado de la nuez dependen fundamentalmente del contenido de humedad; por lo tanto, es importante su disponibilidad adecuada en el suelo, tanto en la primera fase de desarrollo, que se caracteriza por el crecimiento de la nuez, como durante la segunda fase que corresponde al llenado (Ferreira, Selles, & Lemus, 2002; Godoy & Huitrón, 1998; Godoy & López, 2000). El estrés de humedad durante el crecimiento del fruto conduce a la producción de nueces pequeñas (Godoy & Huitrón, 1998; Herrera, 1990). Por el contrario, un déficit hídrico en el llenado del fruto induce un bajo porcentaje de almendra (Herrera, 1990; Godoy & Huitrón, 1998). En el presente estudio, el tamaño de la nuez incrementó a medida que la disposición de humedad aumentó, sin demeritar el porcentaje de almendra, cuya tendencia hacia el incremento fue mayor en árboles con mejor condición de humedad. Los valores de crecimiento de la nuez son similares a los reportados por Marco et al. (2021), coincidiendo en que la cantidad de agua aplicada durante el llenado de fruto influye en el ancho y longitud, obteniendo nueces significativamente más grandes conforme el riego aumenta.
- Según el USDA (United States Department of Agriculture, 2020), la longitud promedio de las nueces es de 36.8 mm y el ancho de 25.07 mm. En este estudio, los valores de longitud y ancho de nuez fueron mayores que los referidos e incrementaron en relación con la disponibilidad hídrica. En este sentido, durante el periodo del llenado de almendra cuando ocurre el desarrollo del embrión, es evidente la magnitud de la respuesta de nogal ante el aumento del agua de riego; sin embargo, la viviparidad aumenta y el porcentaje de nuez comercial disminuye. La respuesta favorable hacia el tamaño mayor y porcentaje elevado de almendra en los tratamientos de mayor humedad no coincide con el supuesto de que, en el nogal, las nueces pequeñas llenan mejor o producen almendra mejor desarrollada (Thompson, 2005). En este estudio, el porcentaje de almendra varió de 56 % a 58 % en los árboles con menor y mayor humedad durante los dos ciclos productivos.

- Duermeyer, L., Khodaanahi, E., Yan, D., Krapp, A., Rothstein, S. J., & Nambara, E. (2018). Regulation of seed dormancy and germination by nitrate. *Seed Science Research*, 28(3), 150–157. doi: 10.1017/S096025851800020X
- Farnsworth, E. (2000). The ecology and physiology of viviparous and recalcitrant seeds. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31, 107–138. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.31.1.107
- Ferreira, E. R., Selles, V. G., & Lemus, S. G. (2002). Efecto del estrés hídrico durante la fase II de crecimiento del fruto del duraznero cv. Kakamas en el rendimiento y estado hídrico de las plantas. *Agricultura Técnica*, 62(4), 565–573. doi: 10.4067/S0365-28072002000400008
- García-Moreno, B. Y., Báez-Sañudo, R., Mercado-Ruiz, J. N., García-Robles, J. M., & Núñez-Moreno, J. H. (2020). Bioregulación de la germinación prematura de nuez pecanera mediante aplicaciones precosecha con ácido 2-hidroxibenzoico. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 21(2), 1–12. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81365122005>
- Garrot, D., Kilbby, M., Fangmeier, D., Husman, S., & Ralowics, A. (1993). Production, growth, and nut quality under water stress based on crop water stress index. *Journal American Society for Horticultural Science*, 118(6), 694–698. doi: 10.21273/JASHS.118.6.694
- Grauke, L. J., Wood, B. W., & Harris, M. K. (2016). Crop vulnerability: *Carya*. *HortScience*, 51(6), 653–663. doi: 10.21273/HORTSCI.51.6.653
- Godoy, A. C., & Huitrón, R. M. (1998). Relaciones hídricas de hojas y frutos de nogal pecanero durante el crecimiento y desarrollo de la nuez. *Agrociencia*, 32(4), 331–337. Retrieved from <https://www.agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1564>
- Godoy Avila, C., & López Montoya, I. (2000). Desarrollo de la almendra y germinación del fruto del nogal pecanero bajo cuatro calendarios de riego. *Terra Latinoamericana*, 18(4), 305–311. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/573/57318404.pdf>
- Gonçalves Bilharva, M., Roberto Martins, C., Janer Hamann, J., Fronza, D., De Marco, R. and Barbosa Malgarim, M. (2018). Pecan: from research to the Brazilian reality. *Journal of Experimental Agriculture International*, 23(6), 1–16. doi: 10.9734/JEAI/2018/41899
- Herrera, E. (1990). Fruit growth and development of Ideal and Western pecans. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115(6), 915–923.
- León, G. V. (2014). *Ácido abscísico-giberelinas como indicador de viviparidad en nogal pecanero (Carya illinoensis K.)*. Hermosillo, Sonora, México: CIAD.
- Marco, R. D., Goldschmidt, R. J., Herter, F. G., Martins, C. R., Mello-Farias, P. C., & Uberti, A. (2021). The irrigation effect on nuts' growth and yield of *Carya illinoensis*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 93(1), 1–8. doi: 10.1590/0001-3765202120181351
- Nonogaki, H., Barrero, J. M., & Li, C. (2018). Seed dormancy, germination, and pre-harvest sprouting. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1783. doi: 10.3389/fpls.2018.01783
- Estos registros superan los valores de referencia para exportación (55 %) (Godoy & López, 2000). El porcentaje de almendra es usado en la industria nogalera para determinar el precio por unidad de peso de la nuez en cáscara (Thompson, 2005). Igualmente, se ha observado que los rendimientos elevados afectan el porcentaje de almendra (Smith, 2012; Smith, Reid, Carroll, & Cheary, 1993). En el presente trabajo, el rendimiento por árbol, particularmente en el año 2016, no afectó el tamaño y el porcentaje de almendra, los cuales incrementaron dentro de los niveles de humedad evaluados.

Conclusiones

El contenido de humedad de 0.257 m³·m⁻³ de suelo fue el mejor tratamiento para reducir la germinación prematura de nuez en el árbol. La mayor producción de nuez por árbol se obtuvo con el tratamiento de 0.380 m³·m⁻³; sin embargo, la viviparidad también incrementó y afectó el porcentaje de nuez comercial; el riego aplicado por el productor (0.327 m³·m⁻³) tuvo el mismo efecto en dichas variables. Por tanto, en este estudio se comprobó que la humedad elevada del suelo induce la viviparidad y que la disminución de riego podría reducir dicho fenómeno.

Fin de la versión en español

- Orona Castillo, I., Sangerman-Jarquín, D. M., Cervantes Vázquez, M. G., Espinoza Arellano, J. de J., & Núñez Moreno, J. H. (2019). La producción y comercialización de nuez pecanera en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(8), 1797–1808. doi: 10.29312/remexca.v10i8.1833
- Ou, S. K., Storey, J. B., & Thompson, T. E. (1994). A northern pecan pollen source delays germination of nuts from a southern pecan cultivar. *HortScience*, 29(11), 1290–1291. doi: 10.21273/HORTSCI.29.11.1290
- Poletto, T., Poletto, I., Moraes Silva, L. M., Briao Muñiz, M. F., Silveira Reiniger, L. R., Richards, N., & Marco, S. V. (2020). Morphological, chemical and genetic analysis of southern Brazilian pecan (*Carya illinoensis*) accessions. *Acta Horticulturae*, 261, 1–7 doi: 10.1016/j.scienta.2019.108863
- Prodan, M. (1968). *Forest bimetrics*. Oxford, Inglaterra: Pergamon Pres.
- Reyes Vázquez, N. C., & Morales Landa, J. L. (2019). *Agronomía sustentable y aprovechamiento alternativo de la nuez. Agronomía sustentable y aprovechamiento alternativo de la nuez*. México: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco CIATEJ. Retrieved from <http://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/671>
- Santamaría, J., Medina Morales, M. C., Rivera-González, M., & Faz Contreras, R. (2002). Algunos factores de

- suelo, agua y planta que afectan la producción y alternancia del nogal pecanero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(2), 119–125. Retrieved from <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/25-2/1a.pdf>
- SAS Institute. (2002). *Statistical analysis system. The SAS system for Windows version 9.0*. Cary, North Carolina, USA: Author.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2010). Normales climatológicas por estado. Retrieved from <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- Sifuentes-Ibarra, E., Samaniego-Gaxiola, J. A., Anaya-Salgado, A., Núñez-Moreno, J. H., Valdez-Gascón, B., Gutiérrez-Soto, R. G., ... Macías-Cervantes, J. (2015). Programación del riego en nogal pecanero (*Carya illinoensis*), mediante un modelo integral basado en tiempo térmico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), 1893–1902. doi: 10.29312/remexca.v6i8.527
- Smith, M. W., Reid, W., Carroll, B., & Cheary, B. (1993). Mechanical fruit thinning influences fruit quality, yield, return fruit set, and cold injury of pecan. *HortScience*, 28(11), 1081–1084. doi: 10.21273/HORTSCI.28.11.1081
- Smith, M. W. (2012). Fruit production characteristics in 'Pawnee' Pecan. *HortScience*, 47(4), 489–496. doi: 10.21273/HORTSCI.47.4.489
- Sparks, D. (2005). Adaptability of pecan as a species. *HortScience*, 40(5), 1175–1189. doi: 10.21273/HORTSCI.40.5.1175
- Sparks, D., Reid, W., Yates, I., Smith, M. W., & Stevenson, T. G. (1995). Fruiting stress induces shuck decline and premature germination in pecan. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(1), 43–53. doi: 10.21273/JASHS.120.1.43
- Stein, L. A. (1985). *The influence of fertilization, phloem restriction, irrigation, microbes, and ethephon on pecan shuck disorders in Texas* (Ph. D. Diss.), Texas A&M University, Texas, USA.
- Taylor, N., Kunene, S., & Pandor, M. (2020). Stick-tights and vivipary in pecans. Retrieved from https://www.sappa.za.org/wp-content/uploads/docs/2020/07/STICK-TIGHTS-AND-VIVIPARY-IN-PECANS_v3.pdf
- Thompson, T. E. (2005). Pecan fruit shuck thickness is related to nut quality. *HortScience*, 40(6), 1664–1666. doi: 10.21273/HORTSCI.40.6.1664
- United States Department of Agriculture (USDA). (2020). NCGR Pecan/Hickory Database (Pecan Cultivars). Retrieved from https://aggiehorticulture.tamu.edu/usda_pecan/plant_details.php?pid=Success&acno=518130
- Walworth, J. L., White, S. A., & Comeau, M. (2017). Soil – applied Zn EDTA: vegetative growth, nut production, and nutrient acquisition of immature pecan trees grown in alkaline calcareous soils. *HortScience*, 2(2), 300–305. doi: 10.21273/HORTSCI11467-16
- Wells, L. (2017). *Southeastern pecan growers' handbook*. Georgia, USA: Cooperative Extension Service, University of Georgia College of Agricultural & Environmental Sciences.
- White, C. N., Proebsting, W. M., Hedden, P., & Rivin, C. (2000). Gibberellins and seed development in maize. I. Evidence that gibberellin/abscisic acid balance governs germination versus maturation pathways. *Plant Physiology*, 122(4), 1081–1088. doi: 10.1104/pp.122.4.1081
- Wiegand, C., & Swanson, W. (1982). Citrus responses to irrigation: II Fruit yield, size and number. *Journal of the Rio Grande Valley Horticultural Society*, 35, 87–95.
- Wood, B. (2015). Regulation of vivipary in pecan. *Acta Horticulturae*, 1070, 33–42. doi: 10.17660/ActaHortic.2015.1070.3