



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

**NIVEL DE HUMEDAD DEL SUELO Y GERMINACIÓN PREMATURA EN  
NOGAL PECANERO [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] EN EL  
NORTE DE MÉXICO**

**TESIS**

Que como requisito parcial  
para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN  
RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE  
EN ZONAS ÁRIDAS**

PRESENTA:

**MAYELA RODRÍGUEZ GONZÁLEZ**



BAJO LA SUPERVISIÓN DE:  
Dr. JESUS G. ARREOLA ÁVILA

DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Mayo, 2018

Bermejillo, Durango, México



**NIVEL DE HUMEDAD DEL SUELO Y GERMINACIÓN PREMATURA EN  
NOGAL PECANERO [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] EN EL NORTE  
DE MÉXICO**

Tesis realizada por **Mayela Rodríguez González** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO  
AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

DIRECTOR:



---

Dr. Jesús G. Arreola Ávila

CO-DIRECTOR:



---

Dr. José Antonio Cueto Wong

ASESOR:



---

Dr. Ricardo Trejo Calzada

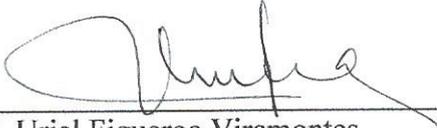
ASESOR:



---

Dr. Jorge Artemio Zegbe Domínguez

ASESOR:



---

Dr. Uriel Figueroa Viramontes

*Haz de tu vida un sueño, y de tu sueño una realidad.*

*Antoine de Saint-Exupéry*

Se expresa un reconocimiento al apoyo y sustento otorgado para el desarrollo y término de la presente investigación y de mis estudios de posgrado:

*Al Programa de Becas Nacionales de CONACyT 2016-2017.*

*Al Programa de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas 2016-2017, de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo.*

*A la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo.*

## DEDICATORIAS

A **Dios**, porque aun sin pedirlo me ha dado todo y mucho más de lo que necesito.

A **mis padres**, quienes con su sabiduría y amor invaluable han forjado mi camino y me mostraron el sendero correcto. Ustedes han sido la base de mi formación, cada uno ha aportado grandes cosas a mi vida, siendo ejemplo de perseverancia y constancia.

En especial a mi **Mamá**, por su gran fortaleza para ser la mejor madre, abuela y amiga a la vez. Gracias por guiar mis pasos, ayudarme a mantenerme siempre de pie y enseñarme el valor de luchar día a día para conseguir mis sueños. Por darme su apoyo en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A **Luis Gerardo**, por creer siempre en mí y aun en los momentos difíciles brindarme tu apoyo, comprensión y cariño. Gracias por disfrutar juntos cada instante y compartir mis sueños. Gracias por entregarme la Magia de tu amor y elegirme para caminar juntos por la vida. Gracias por existir.

A **Simonita**, por iluminarme con la paz de tu sonrisa, tu afecto y tu cariño son los detonantes de mi felicidad y mi esfuerzo para ser mejor cada día. Aun a tu corta edad, me sigues enseñando a disfrutar la vida.

A mis **hermanos**, por su apoyo, cariño y por estar en los momentos más importantes de mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Chapingo** por darme la oportunidad de formarme como profesionalista y como ser humano.

A la **Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas** por brindarme las herramientas necesarias para cumplir grandes objetivos en mi formación profesional.

A mi director de tesis, **Dr. Jesús G. Arreola Ávila** por darme su apoyo y confianza en la realización de este trabajo. Agradezco su entrega profesional, sustento y acertada orientación durante mi formación.

Al Comité Asesor, **Dr. José Antonio Cueto Wong, Dr. Ricardo Trejo Calzada, Dr. Jorge Artemio Zegbe Domínguez y Dr. Uriel Figueroa Viramontes** por sus acertados comentarios y apoyo para poder concluir satisfactoriamente la presente investigación.

Especial mención al **M.C. Ramón Hernández Salgado, Ing. Isidro Reyes Juárez y M.C. Alondra Campos Villarreal** por su colaboración y valiosas aportaciones en el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros de generación, por su amistad, apoyo, conocimientos y experiencias compartidas durante nuestra estancia en el Posgrado: **Mily, Faty, Carlos Santamaría, Iván y Carlos Arnoldo.**

De manera especial a **Cecilia Rangel y Adrián Nevarez**, por ser grandes amigos, apoyarme en todo momento y seguir compartiendo nuestras vidas de manera incondicional.

## DATOS BIOGRÁFICOS

### Datos personales

Nombre	Mayela Rodríguez González
Fecha de nacimiento	6 de abril de 1992
Lugar de nacimiento	Cuauhtémoc, Cuencamé, Dgo.
CURP	ROGM920406MDGDNY00
Profesión	Ing. en Sistemas Agrícolas
Cédula profesional	10588769



### Desarrollo académico

La C. Mayela Rodríguez González, originaria del estado de Durango, México, es Ingeniero en Sistemas Agrícolas por la Universidad Autónoma Chapingo, en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, egresada en el año 2015. Obtuvo el grado de Ingeniero con la tesis “Evaluación de microorganismos eficaces para la obtención de abono orgánico a partir de estiércol bovino” en octubre de 2015, dirigida por el Ing. Jaime García Herrera y asesorada por el M.C. José Ramón Hernández Salgado.

Después de egresar de la UACH formó parte de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), laborando como auxiliar técnico en algunos proyectos de las Áreas Naturales Reserva de la Biosfera Mapimí y Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco.

Su línea de investigación actual se relaciona directamente a la fisiología e impacto ambiental en zonas áridas con el proyecto: “Estrés hídrico y germinación prematura en nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] en el norte de México”, por medio del cual logró terminar la presente tesis bajo la supervisión directa de su tutor y asesor el Dr. Jesús G. Arreola Ávila.

La C. Rodríguez González participó en el XII Congreso Nacional Sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas, III Congreso Internacional y XIII Congreso Nacional Sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas, XVII Congreso Nacional y III Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas A. C., como ponente de cartel en trabajos de investigación. Recientemente ha estado dentro de diversos comités de revisión de tesis de licenciatura de la misma URUZA-UACH.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	x
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>RESUMEN GENERAL</b> .....	xii
<b>GENERAL ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
OBJETIVOS.....	4
Objetivo general .....	4
Objetivos específicos.....	4
HIPÓTESIS.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
LITERATURA CITADA .....	15
<b>CAPÍTULO II</b> .....	17
RESUMEN.....	17
ABSTRACT.....	18
INTRODUCCIÓN .....	19
MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	22
CONCLUSIONES .....	29
LITERATURA CITADA .....	30

<b>CAPÍTULO III</b> .....	32
RESUMEN.....	32
ABSTRACT.....	33
INTRODUCCIÓN.....	34
MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
CONCLUSIONES.....	42
LITERATURA CITADA.....	43

# ÍNDICE DE CUADROS

## CAPÍTULO II

Cuadro 1. Producción total de nuez por árbol, bajo diferentes contenidos volumétricos de agua, evaluados durante los ciclos productivos 2016 y 2017. 23	
Cuadro 2. Porcentaje de nuez germinada, pegada al ruezno, verde y comerial en función de la humedad disponible en el suelo durante dos ciclos de producción de nogal pecanero en Viesca, Coahuila.. .. 25	
Cuadro 3. Porcentaje de almendra bajo tres niveles de humedad en el suelo en dos ciclos de producción de nogal pecanero en Viesca,Coahuila. .... 27	
Cuadro 4. Diámetro y largo de nuez pecanera en función de tres contenidos de humedad del suelo durante los ciclos productivos en Viesca, Coahuila. .... 28	

## CAPÍTULO III

Cuadro 1. Actividad fotosintética, transpiración, conductancia estomática y temperatura de la hoja bajo diferentes contenidos volumétricos de agua, durante dos ciclos productivos de nogal pecanero, en Viesca, Coahuila..... 40	
---	--

# ÍNDICE DE FIGURAS

## **CAPÍTULO I**

Figura 1. Etapas fenológicas del nogal en la Región Lagunera, Coahuila. .... 8

## **CAPÍTULO II**

Figura 1. Dinámica de humedad del suelo bajo tres contenidos volumétricos de agua a la profundidad 40-80 cm ..... 22

## **CAPÍTULO III**

Figura 1. Comportamiento temporal del rendimiento total de nuez por árbol para diferentes unidades de fotosíntesis..... 41

## RESUMEN GENERAL

### NIVEL DE HUMEDAD DEL SUELO Y GERMINACIÓN PREMATURA EN NOGAL PECANERO [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] EN EL NORTE DE MÉXICO

El nogal pecanero, tiene sus orígenes en el norte de México y el sur de EUA. Estos países son los dos principales productores de nuez pecanera al aportar el 95% de la producción mundial. La producción de nuez es una de las actividades agrícolas principales en el norte de México, y es considerada como una especie con buena relación beneficio-costos. Actualmente es uno de los frutales principales cultivados en regiones con condiciones extremas de altas temperaturas durante todo el año. Lo que ocasiona problemas como la viviparidad que afectan el rendimiento y calidad de la nuez. El objetivo del presente estudio fue evaluar la producción y calidad de la nuez bajo condiciones de estrés hídrico. El estudio se llevó a cabo en una huerta de nogal de 45 años en la pequeña propiedad Tierra Blanca, Viesca Coahuila. Se aplicó un diseño completamente al azar en mediciones repetidas en el tiempo, con un factor de estudio y cinco repeticiones. El factor de estudio correspondió al contenido de humedad disponible en el suelo (0.380, 0.327 y 0.257 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). Un árbol se consideró como unidad experimental. Las variables medidas fueron, crecimiento de fruto, porcentaje de nuez verde, nuez pegada al ruzno y nuez germinada, nuez comercial y producción total. El contenido de humedad afectó las variables evaluadas. Los resultados obtenidos representan una alternativa para reducir la cantidad de nuez germinada en el árbol sin afectar la producción y calidad del fruto.

Palabras clave: *Carya illinoensis*, viviparidad, humedad edáfica, fotosíntesis.

## GENERAL ABSTRACT

### SOIL MOISTURE LEVEL AND PREMATURE GERMINATION IN PECAN [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] IN NORTHERN MÉXICO

Pecan has its origins in northern Mexico and the southern USA. These countries are the two main producers of pecans, contributing 95% of world production. Pecan production is one of the main agricultural activities in northern Mexico, and is considered as a species with a good benefit-cost ratio. It is currently one of the main fruit trees cultivated in regions with extreme high temperature conditions throughout the year. It causes problems such as viviparity that affect the yield and quality of the nut. The objective of this study was to evaluate nut production and quality under different water stress condition. The study was carried out in a 45-years-old pecan orchard located in Tierra Blanca, Viesca Coahuila. A completely randomized design with repeated measurements over time was performed. A variable study factor and five repetitions were studied. The variable factor corresponded to the moisture content available in the soil (0.380, 0.327 and 0.257 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). A tree represented the experimental unit. The measured variables were nut growth, percentages of unfilled nut, nuts attached to the husk, and germinated nuts, commercial nuts and total production. Moisture content affected the evaluated variables. The results obtained represent an alternative to reduce the amount of nut germinated in the tree without affecting the nut production and quality.

Keywords: *Carya illinoensis*, viviparity, soil moisture, photosynthesis.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La nuez pecanera [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] es uno de los cultivos de importancia económica a nivel mundial. México es considerado como el segundo país con mayor producción de este cultivo después de los Estados Unidos (Martínez, 2014).

El nogal pecanero es uno de los frutales más importantes en el norte de México, con una superficie plantada de 110, 531 ha y una producción total de 120,174 t (SIAP, 2016). El estado de Chihuahua es el principal productor de nuez en el país con una producción de 79,302 t, representando el 66% de la producción total nacional, seguido por Sonora con una producción de 15,028 t, Coahuila con 12,509 t y Durango con 7,142 t. En la actualidad, en los estados de Coahuila y Durango, en la región conocida como Comarca Lagunera, el valor de la producción de nuez ocupa el primer lugar entre los frutales de la zona, con un valor de 562, 567 miles de pesos. La superficie plantada en 2015 fue de 8, 914 ha con una producción de 9, 377 t (SIAP, 2016), predominando las variedades Western y Wichita.

El nogal pecanero, es uno de los frutales principales en regiones donde se presentan condiciones extremas de temperaturas altas y baja precipitación durante todo el año, en comparación con aquellas áreas en las que el cultivo se desarrolla de forma nativa. Sin embargo, estas condiciones extremas ocasionan problemas fisiológicos que afectan el rendimiento y calidad de la nuez. Los principales problemas ocasionados son: brotación irregular, caída de flores y frutos, y viviparidad; lo cual afecta considerablemente la rentabilidad (Vieira *et al.*, 2015).

En las zonas productoras de nuez, el factor más importante para la producción es el agua. Este recurso no sólo influye en las fases de crecimiento y desarrollo

del fruto, sino en todo su ciclo, incluyendo el letargo. El nivel de disponibilidad de agua, en conjunto con el nivel nutrimental, afecta la cantidad y calidad de la almendra durante el presente año y el potencial para una buena cosecha en los siguientes. Siendo un factor esencial para la supervivencia, crecimiento y una producción redituable de mayor calidad en el nogal pecanero. Por lo anterior, es muy importante conocer cuándo inician las diferentes fases fenológicas y cuándo estas son completadas, con el propósito de poder programar de manera eficiente la aplicación oportuna de los riegos (Godoy *et al.*, 2000).

La viviparidad o germinación prematura, ha sido reportada desde el establecimiento de las primeras huertas cultivadas, en regiones con climas calientes durante la época de maduración y cosecha de las nueces (McCarty, 1995). En México ocurre en las regiones nogaleras con veranos y otoño cálidos, como son Sonora, norte de Coahuila y sur de Chihuahua (Lagarda, 2012).

La viviparidad se presenta como un mecanismo de sobrevivencia que han desarrollado las especies nativas, para asegurar su perpetuidad. Consiste en la continuación del crecimiento de la semilla (germinación) al momento de alcanzar la maduración del fruto, aun cuando se encuentra en el seno de la planta madre (Lagarda, 2012). Ocurre por la falta de mecanismos de control de crecimiento del embrión, al alcanzar la maduración; los cuales gobiernan el aumento de la concentración de inhibidores en los tejidos de la semilla, evitando así la germinación (McCarty, 1995). En árboles de nogal, dicho fenómeno es contrario a los intereses comerciales, dado que la calidad de la nuez se ve reducida al desarrollar sabores desagradables en la almendra, que disminuyen el precio de compra del producto en alrededor de 70%; además, se hace necesario realizar gastos adicionales para la selección de la nuez buena (Lagarda, 2012).

La viviparidad en nogal pecanero, se muestra como resultado de la interacción de una serie de factores de tipo genético-ambiental, que coinciden en promover la germinación de la nuez antes de cosecharla.

Entre los factores que provocan este fenómeno, los más importantes son (McCarty, 1995):

- El uso de variedades susceptibles
- Temperaturas favorables para el crecimiento durante la maduración
- La cantidad de nueces que produce el árbol
- El manejo inadecuado del riego durante la maduración
- Periodo de cosecha

Estudios realizados en el norte de México han hecho evidente la germinación de la nuez en el árbol. Las causas de la germinación prematura no han sido bien determinadas, sin embargo, se ha encontrado que cuando los árboles carecen de agua durante el crecimiento de la nuez, el problema se acentúa y la germinación de la nuez es mayor (Arreola, 2015). No obstante, en los últimos años este problema ha incrementado, ya que se ha observado hasta el 30% de nuez germinada en algunas áreas nogaleras. La germinación de la nuez tiende a aumentar en huertas de mayor edad, sobre todo en años de alta producción (Arreola *et al.*, 2002).

Estudios sobre embriogénesis indican que en las fases tardías, la deshidratación de los tejidos debe ocurrir para que la semilla entre en dormancia. Si la deshidratación no ocurre la semilla continuará su desarrollo y germinará, tal es el caso de la nuez antes de ser cosechada (Goldberg *et al.*, 1994). El estímulo a un estrés hídrico en la planta, podría tener algunas posibilidades para reducir la germinación de nuez; sin embargo debe ser estudiada y comprobada su efectividad.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar la producción y calidad de la nuez bajo diferentes condiciones de disponibilidad de agua en el suelo.

### **2.2 Objetivos específicos**

i) Evaluar el efecto de diferentes contenidos de humedad en el suelo sobre la germinación en el árbol, el rendimiento y la calidad de la nuez durante dos ciclos productivos.

ii) Determinar la actividad fotosintética en nogal pecanero bajo diferente condición de humedad edáfica.

## **3. HIPÓTESIS**

i) El gradiente de humedad del suelo durante el ciclo productivo no afecta la germinación en el árbol, producción y calidad de nuez en nogal pecanero.

ii) El contenido de humedad disponible en el suelo no afecta la actividad fotosintética del nogal pecanero.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Aspectos Generales

En la actualidad existen varios países productores de nuez, dentro de los cuales Estados Unidos de Norteamérica ocupa el primer lugar con una producción de 151 mil t anuales, que representan el 72% de la producción mundial; le sigue México con un 25% (50 mil t), Australia, Israel y Sudáfrica aportan el 3% restante (Ojeda *et al.*, 2010).

En México, existen aproximadamente 60 mil hectáreas de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) en producción. Esto lo ha posicionado como un actor importante en el mercado de la nuez, hasta escalar al segundo lugar en producción y primer puesto en exportación a nivel mundial (Urrea y Urzúa, 2016). Los principales estados productores son Chihuahua, Coahuila, Sonora, Nuevo León y Durango; que representan casi el 93% de la producción nacional y con menor superficie se encuentran Aguascalientes, Hidalgo, Guanajuato, San Luis Potosí, Jalisco, Tamaulipas y Oaxaca. Se producen alrededor de 50 mil t anualmente, con un rendimiento promedio nacional de 1.16 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2016).

El nogal pecanero como los demás frutales está constantemente expuesto a condiciones externas que, dependiendo de su intensidad y duración, puede inhibir su crecimiento, desarrollo y producción. A estas condiciones que limitan la expresión del potencial de rendimiento genético se les define como estrés y varían dependiendo de la susceptibilidad de cada especie. La respuesta de las plantas ante las condiciones de estrés generalmente implica un consumo energético que busca garantizar principalmente la supervivencia de la planta pero que puede afectar negativamente el rendimiento. Tanto las condiciones de déficit hídrico como de exceso hídrico, pueden tener un efecto significativo en el crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas. Estas condiciones pueden

determinar la distribución geográfica de las especies, al generar una presión selectiva en la evolución de una población determinada (Urrea y Urzúa, 2016).

La producción del nogal pecanero inicia a partir del sexto año y puede continuar hasta por 200 años, su rendimiento aumenta con el tiempo al pasar de 9 a 27 kg por árbol a los 8-10 años hasta 45 a 68 kg a los 16 años, incluso se tiene registro excepcionales de árboles excepcionales que han alcanzado hasta 360 kg. Para las condiciones de climas de las principales zonas productoras de nuez, un rendimiento promedio de 2 a 2.2 toneladas por hectárea es más cercano al límite superior que el árbol puede producir con una almendra aceptable; por arriba de ese valor, el porcentaje de almendra y el tamaño de la nuez invariablemente disminuye incrementando significativamente la presencia de nuez germinada y ruezno pegado (Godoy y Torres, 2000). Sin embargo, el rendimiento no solo está en función de la edad del árbol sino de las condiciones bióticas y abióticas a las que está expuesto (Rosengarten, 1984).

En la actualidad los productores de nuez pecanera enfrentan diferentes amenazas, como es la disponibilidad física de agua para riego. El agua es el principal factor de manejo que permite alcanzar una alta eficiencia fotosintética de las hojas y en consecuencias una alta calidad y producción de nuez. La disponibilidad del agua para el nogal está en función de la cantidad y oportunidad con la que se suministra al suelo, por lo que si se desea que la producción de nuez sea sostenible a través de los años, se deberá mantener un nivel adecuado de agua que permita al árbol abastecerse de acuerdo con su demanda por etapa fenológica y tamaño de su copa (Godoy y Torres, 2000).

Uno de los problemas a los que se enfrentan los productores de la Comarca Lagunera desde hace décadas, es la viviparidad y la alternancia o variación anual drástica que oscila de altos a bajos rendimientos de nuez por árbol (Godoy y Torres, 2000). Si no se realizan las prácticas de manejo adecuadas, el árbol sufrirá un estrés fisiológico, provocando germinación prematura de la nuez, ruezno pegado, disminución significativa del tamaño y llenado de la nuez, así como baja acumulación de carbohidratos en el árbol.

## **4.2 Fenología**

En el nogal pecanero se observan las siguientes etapas de desarrollo de acuerdo a Godoy *et al.* (2000) (Figura 1):

**4.2.1 Endoletargo.** Durante esta fase, la fuente de inhibición está localizada dentro de las yemas, por esto dicha etapa puede ser considerada como una expresión de inhibición endógena. Su intensificación se produce generalmente en el otoño y disminuye a finales de dicha estación, y en el invierno, cuando los requerimientos de frío por parte de los tejidos vegetales están pronto a cumplirse (Lang, 1987). En el nogal pecanero el reposo profundo comprende los meses de diciembre, enero y febrero (Almeida, 2001).

**4.2.2 Brotación.** La brotación de la yema primaria varía según el clima prevaleciente al inicio del año. Sin embargo, esto ocurre entre la segunda y tercera semana de marzo.

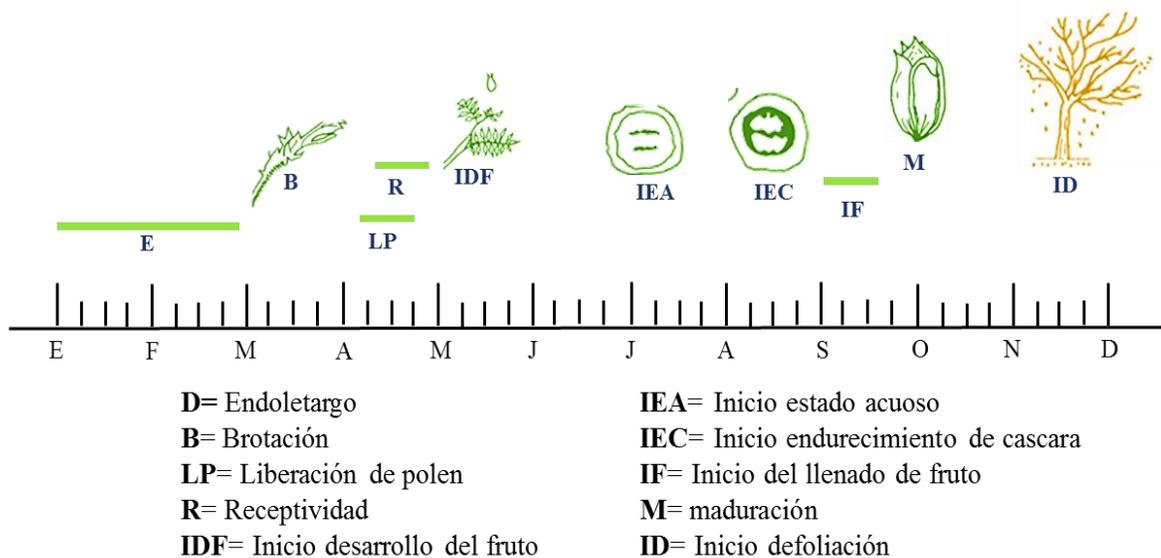
**4.2.3 Floración.** La flor se forma en las primeras etapas del crecimiento del brote en la primavera; cuando aún permanecen bajo la cubierta de las yemas primarias. Estas flores femeninas aparecen en promedio a los 31 días después de la brotación.

**4.2.4 Estado acuoso.** Ocurre alrededor de la segunda a tercera semana de junio, aproximadamente a los 66 días después de la receptividad del estigma.

**4.2.5 Máximo estado acuoso.** El máximo contenido de líquido, que coincide con el inicio del endurecimiento de la cáscara en el fruto, se alcanza la primera semana de julio y para este tiempo el fruto ha alcanzado 85% de la longitud y ancho final, respectivamente.

**4.2.6 Inicio del llenado de fruto.** Empieza ocho días después de haberse iniciado el endurecimiento de la cáscara.

**4.2.7 Fin del llenado de fruto.** Desde el inicio hasta que se complete el llenado del fruto, se requieren alrededor de 45 días. La almendra alcanza su tamaño total alrededor de la segunda semana de septiembre.



**Figura 1.** Etapas fenológicas del nogal en la Región Lagunera, Coahuila.

Fuente: Elaboración propia con base a Arreola *et al.*, 2002.

### 4.3 Requerimientos climáticos, edáficos e hídricos

#### 4.3.1 Suelo

El mejor desarrollo del nogal pecanero ha sido observado en suelos arcillosos bien drenados, aunque los árboles no soportan ser sometidos a inundaciones prolongadas. Se les ha observado creciendo tanto en suelos maduros o profundos como los Luvisoles con horizontes diferenciados incluidos el orgánico, como en suelos jóvenes o someros como los Regosoles que se caracterizan por ser materiales sueltos sobre una roca consolidada. En el norte de México, crecen en suelos de tipo Regosol y Calcisol, este último característico de las zonas áridas y semiáridas, que presentan un horizonte cálcico en el primer metro cerca de la superficie debido a las altas tasas de evaporación y a la fluctuación de mantos freáticos (Urrea y Urzúa, 2016).

### 4.3.2 Clima

El desarrollo del nogal se ve influenciado por la temperatura, la humedad relativa, la precipitación y otros factores climáticos.

**a) Periodo libre de heladas.** Dependiendo de la variedad, el nogal pecanero requiere entre 205 y 233 días libres de heladas y preferentemente de 240 a 280 días para que los frutos alcancen la madurez, lo cual limita su distribución geográfica hasta no más allá de una latitud de 40° norte en el continente americano. El rango natural que abarca el nogal pecanero es amplio, pero generalmente discontinuo con muchas poblaciones aisladas, por lo que es probable una considerable diversidad genética, la cual se ve reflejada en cultivares con un amplio rango de adaptación al frío (Herrera, 1996; Wood *et al.*, 1998, Citado por Urrea y Urzúa, 2016).

**b) Humedad relativa.** Cuando la humedad relativa durante el periodo de polinización es superior al 80% limita la polinización efectiva debido a que las anteras no abren para liberar polen; además de favorecer el desarrollo de enfermedades fungosas que atacan el follaje. Una humedad relativa alta también está relacionada con la germinación de la nuez dentro del ruezno antes de cosecharla. Cultivares con ruezno grueso son los más susceptibles ya que esta característica impide su apertura (Medina y Cano, 2002).

**c) Temperatura.** El nogal se comporta adecuadamente donde la temperatura media del verano oscila entre 25 y 30 °C, sin variación amplia entre el día y la noche, con un promedio de 26.7 °C. Además, para los meses más fríos requiere una temperatura media entre 7.2 y 12.3 °C. En el norte de México los meses más calientes son: mayo, junio, julio y agosto con una temperatura media mensual que fluctúa entre 25.3 y 26.7 °C; y los más fríos son: diciembre, enero y febrero con fluctuaciones de 13.0 a 15.5 °C, razón por la cual el cultivo del nogal tiene buenas probabilidades para su desarrollo y producción (Medina y Cano, 2002).

**d) Unidades calor.** De abril a octubre el nogal requiere de un mínimo de 4500-5000 unidades calor con un punto crítico de 10 °C. La completa maduración del fruto depende de la suficiente acumulación de calor recibido por el árbol. Para el cultivar Western, se requieren 4532±214 unidades caloríficas (Medina y Cano, 2002).

**e) Horas frío.** El nogal tiene un requerimiento de frío mínimo de 400 horas con punto crítico de 7.2 °C. Sin embargo se ha observado que se requieren de 400-800 horas frío para que el nogal inicie su brotación dependiendo de la variedad; Western y Wichita requieren 400 horas frío. En el norte de México, se acumulan 237 horas frío con punto crítico de 10 °C, con un mínimo de 150 y un máximo de 374 horas frío. Lo anterior sugiere que en el norte de México se acumulan menos horas frío de las que se requieren para la brotación del nogal, sin embargo se ha indicado que algunas variedades de nogal que tienen altos requerimientos de frío, prosperaron satisfactoriamente en áreas donde la acumulación de frío fue mínima, no se observó retraso alcanzar el Endoletargo y se sugirió que los requerimientos de calor y frío regularon la brotación del nogal (Medina y Cano, 2002).

#### **4.3.3 Luz**

Es muy importante que la luz solar se distribuya en forma uniforme en toda la copa, ya que es esencial para el sistema productivo. La poda del árbol tiene como objetivo principal formar una estructura que permita soportar la carga de frutos y hojas, permitiendo además la entrada de luz en la copa. Con estas prácticas se consigue mayor eficiencia de utilización de luz, aumentando la tasa fotosintética durante todo el periodo productivo. Si se tiene una entrada deficiente de luz las ramas bajas pueden secarse y las plantaciones dejar de ser productivas (Lagarda *et al.*, 2002, Núñez, 2001 y Madero *et al.*, 2007, Citados por Moreno, 2008).

#### **4.3.4 Requerimientos hídricos**

En las zonas productoras de nuez, el factor limitante más importante para la producción de este frutal es el agua, este recurso no solo influye en las fases de

crecimiento y desarrollo del fruto sino en todo su ciclo, incluyendo el endoletargo. El nivel de disponibilidad de agua, junto con el nivel de nutrimento, afecta la cantidad y calidad de la almendra durante el año y el potencial para una buena cosecha en los siguientes años (Godoy, 1996; Worthington *et al.*, 1992, Citado por Godoy y Torres, 2000).

En el nogal pecanero, como en cualquier otro cultivo, es muy importante conocer cuando inicia sus diferentes fases fenológicas y el periodo en el cual son cumplidas. Lo anterior tiene el propósito de poder programar de una manera eficiente algunas prácticas culturales importantes, dentro de las cuales se encuentra la aplicación oportuna de los riegos (Reyes *et al.*, 2012).

#### **4.4 Factores que afectan la producción de nuez pecanera**

Los cultivos generalmente presentan pérdidas por diferentes factores tanto bióticos como abióticos y el nogal pecanero no es la excepción, dentro de los factores abióticos se encuentran la temperatura y la humedad relativa del ambiente; en los bióticos, los insectos plagas es uno de los principales. También existen desordenes fisiológicos que alteran el desarrollo normal de la nuez pecanera (Martínez, 2014).

Los factores abióticos que tienen impacto en la producción, se les ha relacionado con el fenómeno de alternancia que consiste en que la nuez presenta un ciclo muy productivo y otro menos productivo, también con el fenómeno de viviparidad o germinación prematura pero el grado de afectación es diferente dependiendo de la especie (Lagarda, 2000).

##### **4.4.1 Viviparidad**

La germinación de la nuez antes de la cosecha es un fenómeno que ocurre en algunas plantas cultivadas al cual se le conoce como viviparidad. Este fenómeno se ha reportado en algunas especies cultivadas, como el nogal, mangle, maíz, trigo, maguey y otros (Lagarda, 2007, McCarty, 1995), y consiste en la germinación de la semilla al momento de alcanzar la maduración del fruto, aun

cuando se encuentra adherida a la planta madre ocasionando pérdida de calidad del fruto (Almeida, 2001). Este desorden fisiológico ha llegado a ocasionar pérdidas de nuez hasta en un 40% en el cultivar Wichita y en un 25% en el cultivar Western (Martínez, 2014).

Según Lagarda (2012), los factores más importantes para provocar la germinación de la nuez son:

1) **Variedades susceptibles.** Las semillas de nogal de variedades susceptibles a la viviparidad, aparentemente la controlan mediante la presencia de condiciones ambientales adversas al crecimiento, en especial con las temperaturas mínimas inferiores a los 17 °C al tiempo de alcanzar la maduración de la nuez.

2) **Temperaturas altas de crecimiento durante la maduración de la nuez (día y noche).** La germinación prematura de la nuez se da en condiciones ambientales que ocurren durante la época de maduración de la nuez, en especial por temperaturas mínimas de crecimiento (> 17° C), durante el periodo de maduración y apertura del ruezno (15 de septiembre-15 de octubre).

3) **Presencia de periodos de sequía durante el desarrollo de la nuez.** La humedad del suelo es muy importante para disparar el fenómeno de la germinación prematura; en especial los riegos coinciden con el desarrollo de la almendra, donde se ha demostrado que la falta de agua durante éste periodo, aumenta la germinación de la nuez antes de la cosecha.

4) **Fecha de cosecha.** La época de cosecha en el norte de México, se ha establecido que ocurre a los 20-25 días después del inicio de apertura del ruezno (10%), cuando el 95% de las nueces desprende del ruezno de la cáscara de la nuez; se considera en forma general que se debe iniciar en la región a los primeros días de octubre.

5) **Condiciones de carga que tenga el árbol.** La carga que deben tener los árboles en producción debe ser controlada para lograr buena calidad, y

producción, así como para prevenir la germinación prematura de nuez. Considerando los hábitos de fructificación de los nogales, el balance de producción más favorable es cuando éstos alcanzan a tener 50% de los brotes con racimo; sin embargo, dicho balance en árboles maduros difícilmente se logra en forma natural, por lo que sólo se puede lograr con el aclareo de frutos mediante la poda o con la vibración de árboles durante el mes de junio.

La germinación prematura de la nuez, es un mecanismo de sobrevivencia que han desarrollado las especies nativas de plantas, para asegurar su perpetuidad; en árboles de nogal, sin embargo, dicho fenómeno es contrario a los intereses comerciales, establecidos sobre la calidad de la nuez, la cual se ve reducida al desarrollar sabores desagradables en la almendra, que disminuyen los precios de venta del producto en alrededor de 70%; además, se hace necesario realizar gastos adicionales para la selección de nuez buena (Almeida, 2001).

En nogal pecanero, la viviparidad ha sido reportada desde el establecimiento de las primeras huertas cultivadas. En regiones con climas calientes la viviparidad se presenta durante la época de maduración y cosecha de las nueces. La germinación prematura de la nuez en México ocurre en las regiones nogaleras con veranos y otoños cálidos, como son Sonora, norte de Coahuila, Comarca Lagunera y Sur de Chihuahua (Lagarda, 1983).

La germinación prematura de la nuez en zonas con otoño caliente, es un problema de consideración ya que existen, aproximadamente, 35,000 ha susceptibles de padecer el problema, con un potencial de germinación prematura de 15% (Almeida, 2001).

#### **4.4.2 Alternancia**

La producción de nuez en árboles de nogal pecanero, sufre constantes fluctuaciones de su producción a lo largo de los años de vida de la huerta, lo que provoca riesgos en la actividad comercial debido a la falta de uniformidad en la oferta de la nuez cosechada. La producción alterna de nuez o alternancia de

producción, son fluctuaciones cíclicas del rendimiento a lo largo de los años de la vida productiva de los árboles (Moreno, 2008). Los nogales tienen una tendencia natural a producir cosechas altas y bajas en años sucesivos (producción irregular), condición que se acentúa cuando el manejo de la nogalera es ineficiente. Cuando la variación y el rendimiento anual son amplios se afecta la economía de la huerta. El grado de alternancia difiere entre variedades de nogal, condiciones de manejo y entre regiones (Núñez, 2001).

## 5. LITERATURA CITADA

- Almeida G., J. A. (2001). *Efecto de la longitud de brote sobre la viviparidad en la nuez pecanera (Carya illinoensis Koch) variedades Western Schley y Wichita*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna. Coahuila.
- Arreola A., J. (2015). *Aceleración de la madurez de la nuez mediante el uso de productos químicos*. Memoria Científica No. 6. XVI Simposio Internacional de Nogal Pecanero. Hermosillo, Sonora, México.
- Arreola A., J., Lagarda, M. A. y Medina, C. (2002). *Fenología*. p. 55-57. En J. Arreola y I. Reyes (Eds.). Tecnología de producción en nogal pecanero. Libro Técnico. INIFAP-SAGARPA. Matamoros, Coahuila.
- Godoy A., C., Reyes J., I., Torres E., C. A., Huitrón R., M. V., Cristian C., J. y Morales V., J. (2000). *Tecnología de riego en nogal pecanero*. Etapas y periodos fenológicos del nogal y sus requerimientos de agua. CELALA, CIRNOC, INIFAP. Matamoros, Coahuila.
- Godoy A., C. y Torres E., C. A. (2000). *Etapas y periodos fenológicos del nogal y sus requerimientos de agua*. p. 11-20. En Godoy A., C., Reyes J., I., Torres E., C. A., Huitrón R., M. V., Cristian C., J. y Morales V., J. Tecnología de riego en nogal pecanero. Etapas y periodos fenológicos del nogal y sus requerimientos de agua. CELALA, CIRNOC, INIFAP. Matamoros, Coahuila, México.
- Godoy A., C. y Cristian C., J. (2000). *Influencia del agua en el manejo integral del nogal*. p. 1-3. En Godoy A., C.; Reyes J., I.; Torres E., C. A.; Huitrón R., M. V.; Cristian C., J. y Morales V., J. Tecnología de riego en nogal pecanero. Etapas y periodos fenológicos del nogal y sus requerimientos de agua. CELALA, CIRNOC, INIFAP. Matamoros, Coahuila, México.
- Goldberg, R. B., De Paiva, G., y Yadegari, R. (1994). Plant embryogenesis: zygote to seed. *Science*, 266(5185), 605-614.
- Lagarda M., A. (1983). *Características de variedades de nogal adaptables a la zona norte de México*. Memorias. X Ciclo Conf. Int. De prod. De Nuez. Chih.
- Lagarda M., A. (2000). *Evaluación de los factores que influyen sobre la germinación de la nuez*. Informe de Investigación. INIFAP-CELALA. Coah.
- Lagarda M., A. (2012). *La germinación prematura de la nuez pecanera (viviparidad)*. Memoria científica, XIII Simposio Internacional de Nogal Pecanero. Hermosillo, Sonora. Pp.58.
- Lang, G. A. (1987). Dormancy: a new universal terminology. *HortScience*, 22, 817-820.
- Lombardini, L., Restrepo-Diaz, 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.

- Martínez T., M. A. (2014). *Alternativas para el control de la germinación (viviparidad) en la nuez, en la región costera del Estado*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. Hermosillo, Sonora.
- Medina M., Ma. C., y Cano R., P. (2002). *Aspectos generales del nogal pecanero*. p 1-14. En J. Arreola y I. Reyes (Eds.). Tecnología de producción en nogal pecanero. Libro Técnico No. 3. INIFAP-SAGARPA. Matamoros, Coahuila.
- Moreno M., A. (2008). *Evaluación de los crecimientos fructíferos del nogal pecanero (Carya illinoensis, koch) en relación a la alternancia en producción de nuez*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México.
- Muñoz S., M. G. (1969). Evaluación de fórmulas para el cálculo de horas frío en algunas zonas frutícolas de México. *Soc. Hor. Sci.*, 13, 345-366.
- McCarty D. R. (1995). Genetic control and integration of maturation and germination pathways in seed development. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 46, 74-93.
- Núñez, M. H. (2001). *Desarrollo de nogal pecanero*. En El nogal pecanero en Sonora. Libro Técnico No. 3. SAGARPA-INIFAP-CECH. Pp.23-28.
- Ojeda B., D. L., Arras V., A. M., Hernandez R., O. A., López D., J. C., Aguilar V., A. y Degollado B., F. G. 2010. Análisis FODA y perspectivas del cultivo del nogal pecanero en Chihuahua. *Rev. Mex. de Agronegocios*, 27, 348-359.
- Reyes J., I., Faz C., R., Figueroa V., U., Carrillo M., Ma. De los A. y Ramírez D., M. (2012). *Programación del riego en tiempo real con el uso de sensores de humedad del Suelo y fertilización del nogal pecanero*. CIRNOC-INIFAP Laguna. Matamoros, Coah., México.
- Rosengarten Jr, F. (1984). *The book of edible nuts*. New York, NY: Walker Publishing Company, Inc.
- SIAP. (2016). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Cierre de la producción agrícola por estado. Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera. Consultado en [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp)
- Urrea L., R. y Urzúa E., E. (2016). *Retos y oportunidades en la producción de nuez pecanera en México*. Cap. 1. pp. 1-53. En Reyes V., N. C. y Urrea L., R. 2016. Retos y Oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). Guadalajara, Jalisco.
- Vieira de F., F. A., Chávez S., N., Núñez M., J. H., Valdez G., B., Pérez L., A., Velarde F., I., Tarango R., S. y Cuéllar V. E. (2015). *Avances en estudio fenológico sobre efecto del cambio climático en nogal pecanero*. Memoria Científica No. 6. XVI Simposio Internacional de Nogal Pecanero. Hermosillo, Sonora.

## CAPÍTULO II

### RESUMEN

#### **EFFECTO DEL NIVEL DE HUMEDAD EN LA PRODUCCIÓN Y VIVIPARIDAD DE NOGAL PECANERO [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch]**

El nogal pecanero está presente en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Sonora. En estas regiones se desarrolla bajo un clima de tipo semidesértico y gran variabilidad en cuanto a la tecnificación del riego, lo que ocasionan problemas fisiológicos que afectan negativamente el rendimiento y calidad del fruto. La viviparidad de la nuez en el árbol antes de la cosecha es uno de los factores fisiológicos que se ha incrementado en los últimos años y que resulta de la interacción de factores genético-ambiental. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes contenidos de humedad en el suelo sobre el rendimiento, calidad y germinación prematura de la nuez en nogal pecanero, durante dos ciclos productivos. El estudio se llevó a cabo en una huerta de nogal en la pequeña propiedad Tierra Blanca, ubicada en Viesca Coahuila. El experimento se condujo en un diseño completamente al azar en mediciones repetidas en el tiempo, con un factor de estudio y cinco repeticiones. El factor de estudio correspondió al nivel de humedad disponible en el suelo. Un árbol se consideró como unidad experimental. Las variables respuesta fueron el porcentaje de nuez verde, nuez pegada al ruzno y nuez germinada, nuez comercial y producción total por árbol. El tratamiento de riego ( $0.257 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) aplicado en la etapa fenológica posterior al llenado de almendra produjo en promedio 70% menos de nuez germinada en el árbol, sin afectar la producción total y calidad del fruto.

Palabras clave: *Carya illinoensis*, contenido volumétrico de agua, germinación prematura, calidad del fruto.

## ABSTRACT

### EFFECT OF THE HUMIDITY LEVEL ON THE PRODUCTION AND VIVIPARITY OF PECANERO NOGAL [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch]

The pecan tree is present in the states of Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León and Sonora. In these regions, it develops under a climate of semi-desert type and restricted availability of water, which cause physiological problems that negatively affect the yield and quality of the nut. The premature germination of the nut in the tree before the harvest, is one of the physiological factors, which has increased in recent years and results of the interaction of genetic-environmental factors. The objective of the present study was to evaluate the effect of moisture content in the soil, expressed in volumetric content ( $m^3$ ) of water per cubic meter of soil, during two productive cycles on the premature nut germination in the tree. The study had carried out in pecan tree's 45 years old established in Tierra Blanca, Viesca Coahuila. A completely randomized design was applied in repeated measurements over time, considering factor study and five repetitions. The study factor corresponded to moisture level available in the soil. A tree was considered as an experimental unit. The variables measured were percentage of green nut, stickights and germinated nut, commercial nut and total production. The low water content value ( $0.257 m^3/m^3$ ) at the end of the almond filling reduced on average 70% of the premature germination of the pecan tree nut, without affecting the total production and quality of the fruit.

Key words: *Carya illinoensis*, volumetric content of water, premature germination, quality of the fruit.

## INTRODUCCIÓN

El nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] es uno de los árboles productores de nuez más rentables de México. Es cultivado con éxito en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Sonora principalmente. Las huertas de nogal pecanero en el norte de México se desarrollan bajo un clima de tipo semidesértico y restringida disponibilidad de agua, lo que ocasionan problemas fisiológicos (brotación irregular, caída de flores y frutos, y viviparidad) que afectan considerablemente el rendimiento y calidad de la nuez (Reyes y Urrea, 2016). La viviparidad se presenta como un mecanismo de sobrevivencia que han desarrollado las especies nativas, para asegurar su perpetuidad. Consiste en la continuación del crecimiento de la semilla (germinación) al momento de alcanzar la maduración del fruto, aun cuando éste se encuentra en el seno de la planta madre (Lagarda, 2012). El fenómeno ocurre debido a la falta de mecanismos de control de crecimiento del embrión al alcanzar la maduración; mismos que gobiernan el aumento de la concentración de inhibidores en los tejidos de la semilla, evitando así la germinación (McCarty, 1995).

La germinación prematura en nogal pecanero, se presenta como resultado de la interacción de una serie de factores de tipo genético-ambiental, que coinciden para promover la germinación de la nuez antes de cosecharla. Los factores más importantes que provocan este fenómeno son: el uso de variedades susceptibles, la falta de temperaturas favorables al crecimiento durante la maduración, la cantidad de nueces que produce el árbol y el manejo inadecuado del riego durante la maduración (McCarty, 1995).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo durante el periodo junio-octubre de los años 2016 y 2017, en una huerta de nogal en producción en la pequeña propiedad Tierra Blanca, ubicada en el Municipio de Viesca del estado de Coahuila, México. Se utilizó una plantación de nogal pecanero cv. Western, establecida en un sistema de plantación marco real de 12 x 12 m y un sistema de riego por goteo subsuperficial y un suelo de textura franco-arcillosa, con capacidad de campo de  $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$  y punto de marchitez permanente  $0.19 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . La huerta se encuentra ubicada en las coordenadas  $25^\circ 20' 28''$  de Latitud Norte y  $102^\circ 10'$  y  $48^\circ 16'$  Longitud Oeste y a una altitud de 1,100 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, modificada por García (1973), el clima del área 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 esta entre 200 y 300 mm, con régimen de lluvias en los meses de abril a noviembre y escasas en el resto del año.

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar en medidas repetidas en el tiempo, con un factor de estudio y cinco repeticiones. El factor de estudio correspondió al contenido de humedad disponible en el suelo ( $0.380$ ,  $0.327$  y  $0.257 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ). Un árbol se consideró como unidad experimental. Los árboles se seleccionaron con características similares de circunferencia del tronco con 90 cm medido a 60 cm sobre el nivel del suelo, altura de 15 metros y densidad de copa de  $3.5 \text{ m}^2$  de hoja  $\text{m}^{-3}$ . Desde el inicio de la brotación hasta el final del llenado de la almendra (marzo-primer semana de septiembre), todo el lote experimental se manejó con un criterio de riego homogéneo que consistió en aplicar los riegos cuando el contenido de agua alcanzaba 50% de la humedad disponible, aproximadamente. A partir del final de llenado de almendra se diferenciaron tres niveles de humedad  $0.380$ ,  $0.327$  (testigo) y  $0.257 \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

## **Variables evaluadas**

El nivel de humedad en el suelo se registró con base al contenido volumétrico de agua, expresado en metros cúbicos de agua por metro cúbico de suelo a tres profundidades 0-40, 40-80 y 80-120 cm. Se utilizaron tres sensores de tipo capacitivo (EC-5 DECAGON, DEVICES. Pullman WA, USA) debidamente calibrados, los cuales miden la constante dieléctrica del suelo, conectados a un Datalogger (Em50, DECAGON, DEVICES. Pullman WA, USA) para registrar las lecturas que posteriormente se correlacionan con el contenido de humedad. La lectura de los sensores se realizó de manera diaria y los datos se almacenaron en archivo de formato Excel, durante el periodo julio-octubre de los años 2016 y 2017. Para cada profundidad se graficaron los parámetros de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) para indicar el rango de humedad aprovechable. La utilidad de estas gráficas es disponer de datos continuos de humedad del suelo en tiempo real, ya que se monitorea un punto determinado y se pueden tomar decisiones con base en los cambios observados. Los registros permitieron evaluar las tasas de infiltración y extracción así como los niveles de humedad en los distintos estratos (Goldhamer *et al.*, 1999, Citado por Reyes *et al.*, 2012).

Las variables de respuesta fueron: producción de nuez por árbol (kg), nuez germinada (%), nuez verde (%), nuez pegada al ruezno (%), nuez comercial (%), calidad de fruto (% de almendra y cáscara) y desarrollo de fruto (diámetro y largo de nuez) a través de conteos directos al momento de la cosecha.

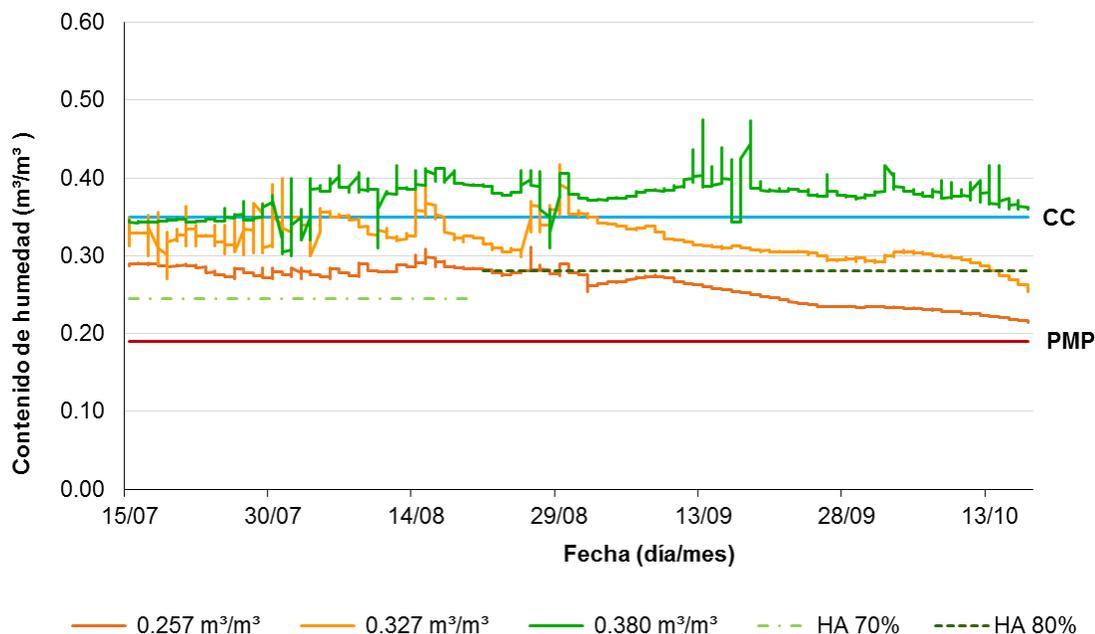
## **Procesamiento de datos**

Se realizó un análisis de varianza para determinar la significancia de los tratamientos y la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) para la separación de las medias de los tratamiento. Para ello se usaron los programas SAS Versión 9.0 (SAS, 1976) y Microsoft Excel versión 2013.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Dinámica de la humedad a través del perfil del suelo

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de la humedad del suelo para los tres niveles estudiados durante el ciclo de producción de nogal, así como los contenidos de humedad aprovechable recomendados para cada etapa fenológica. El contenido de humedad  $0.380 \text{ m}^3/\text{m}^3$  se encontró arriba de capacidad de campo (CC) en todas las etapas de desarrollo, como consecuencia de la aplicación de un volumen de agua mayor al requerido, lo que se considera como exceso de humedad. Mientras que el contenido de humedad  $0.327 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , referido al testigo, se encontró fluctuando entre el límite permisible. El contenido de humedad  $0.257 \text{ m}^3/\text{m}^3$  después del llenado de fruto llegó a estar por debajo del umbral recomendado y cercano al punto de marchitez permanente (PMP), esto ocasionado por un ajuste en el riego aplicado, considerándose un déficit hídrico para el nogal pecanero.



**Figura 1.** Dinámica de humedad del suelo bajo tres contenidos volumétricos de agua a la profundidad 40-80 cm. CC= Capacidad de Campo, PMP= Punto de Marchitez Permanente, HA= Humedad Aprovechable.

## Rendimiento de nuez

En ambos ciclos de evaluación, los tratamientos de humedad no influyeron en la producción promedio de nuez. En el Cuadro 1, se puede observar la producción total por árbol que se obtuvo tras la evaluación de los diferentes tratamientos de humedad disponible en el suelo estudiados en el presente trabajo.

**Cuadro 1.** Producción total de nuez por árbol, bajo diferentes contenidos volumétricos de agua, durante los ciclos productivos 2016 y 2017.

Contenido de humedad edáfica (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Producción total (kg/árbol)	
	2016	2017
<b>0.380</b>	21.46 a ±2.57	19.83 a ±1.67
<b>0.327</b>	19.48 a ±2.95	18.08 a ±2.63
<b>0.257</b>	17.29 a ±6.72	16.04 a ±3.29

Prueba de Tukey (P <0.05). Medias con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales. CV= 33.24%.

El rendimiento total no mostró diferencias significativas entre tratamientos. Los rendimientos fluctuaron entre 16 y 20 kg por árbol (aproximadamente 1 t ha<sup>-1</sup>), que son similares a la media nacional (SIAP, 2017). Lo anterior concuerda con lo indicado por Medina *et al.* (1997), quienes reportan producciones de entre 0.118 y 2.914 t ha<sup>-1</sup>, en evaluaciones realizadas durante tres años en huertas de diferente edad con el cultivar Western. De igual forma Santamaría *et al.* (2002), reportan que la producción promedio varía de 0.46 a 1.96 t ha<sup>-1</sup>, sugiriendo que el potencial productivo del nogal pecanero en la región de la Comarca Lagunera es de 2 t ha<sup>-1</sup>. Esta variación se debe a las diferencias en las condiciones de suelo y manejo, las cuales afectan considerablemente los índices de producción independientemente de la edad de la huerta.

Aunque estadísticamente no se tienen diferencias en el rendimiento obtenido, se observó que a mayor contenido de humedad aumenta la producción total, incluyendo nueces no comerciales. Lo anterior concuerda con Santamaría *et al.*

(2002), quienes concluyeron que al aplicar altos volúmenes de agua durante todas las etapas de la producción se incrementa el rendimiento de nuez por árbol. Cohen y colaboradores (1997), reportaron que el tamaño y peso de la nuez no se ven afectados por el riego aplicado, viéndose esto reflejado en la uniformidad del rendimiento. Wiegand y Swanson (1982) establecieron el efecto del riego en la producción y calidad de la fruta, observándose que aquellos tratamientos deficientes producen frutos más pequeños y en menor cantidad.

### **Calidad de nuez**

La germinación de la nuez antes de realizar la cosecha ha sido evidente en casi todas las variedades cultivadas en el norte de México. Las causas de este fenómeno no han sido bien determinadas. Sin embargo, se ha encontrado que cuando los árboles carecen de agua durante el crecimiento de la nuez, el problema se acentúa y la germinación de nuez es mayor (Arreola *et al.*, 2002).

Reyes *et al.* (2012), mencionan que desde el inicio del estado acuoso hasta el inicio del endurecimiento de la cáscara, es importante mantener un contenido de humedad en el suelo del 70% de la humedad aprovechable. Del inicio del endurecimiento de la cáscara hasta el completo llenado de la almendra mantener un contenido de humedad del 80 al 90%; y una vez que la nuez está madura se debe mantener un contenido de humedad en el suelo del 50% de la humedad aprovechable para acelerar la apertura del ruezno (Godoy *et al.*, 2000).

En este estudio, durante el ciclo productivo 2016, se encontró que la germinación prematura de la nuez fue afectada por el contenido de humedad disponible en el suelo a partir de la etapa del endurecimiento de cáscara hasta el final del ciclo productivo. El nivel de humedad de  $0.380 \text{ m}^3/\text{m}^3$  ocasionó un mayor porcentaje de nueces germinadas, nuez verde y nuez pegada al ruezno en comparación con el nivel de  $0.257 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . En el ciclo productivo 2017, el mayor nivel de humedad en el suelo ( $0.380 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) aumentó significativamente las mismas variables que en el 2016, en comparación con los niveles de humedad de  $0.327$  y  $0.257 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , los cuales resultaron similares entre sí (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Porcentaje de nuez germinada, pegada la ruezno, verde y comercial en función de la humedad disponible en el suelo durante dos ciclos de producción de nogal pecanero en Viesca, Coahuila.

<b>Año 2016</b>				
<b>Contenido de humedad edáfica (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Nuez germinada (%)</b>	<b>Ruezno pegado (%)</b>	<b>Nuez verde (%)</b>	<b>Nuez comercial (%)</b>
<b>0.380</b>	12.80 a ±3.35	15.20 a ±3.82	16.40 a ±5.12	55.60 b ±2.09
<b>0.327</b>	12.20 a ±0.96	9.40 a ±3.68	10.40 ab ±0.64	68.00 a ±4.48
<b>0.257</b>	5.2 b ±1.44	6.00 b ±3.20	8.40 b ±1.92	80.40 a ±4.32
<b>CV (%)</b>	45.88	50.71	36.82	7.45
<b>Año 2017</b>				
<b>0.380</b>	14.60 a ±1.44	14.60 a ±2.96	16.4 a ±3.52	56.20 b ±4.0
<b>0.327</b>	12.80 a ±3.20	14.00 a ±3.2	11.60 b ±1.92	61.20 a ±6.72
<b>0.257</b>	9.00 b ±4.32	10.00 b ±3.40	10.20 b ±2.64	69.40 a ±7.36
<b>CV (%)</b>	23.33	35.29	15.25	9.27

Prueba de Tukey (P <0.05). Medias con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales.

Estos resultados muestran que durante la etapa de endurecimiento de cáscara, el factor que induce la germinación del fruto, es el nivel de agua en el suelo. De acuerdo a Sánchez *et al.* (2010), algunas especies vegetales que se desarrollan en ambientes áridos producen semillas que responden positivamente en mayor o menor grado a los periodos intermitentes del recurso hídrico. Taylor *et al.* (1999), proponen que generalmente la velocidad de germinación aumenta en

forma directa con las condiciones climáticas y la acumulación de humedad por un periodo prolongado. El control del estado hídrico del suelo induce en los árboles una precocidad en la maduración de los frutos. Un déficit hídrico moderado durante el llenado y maduración puede ser conveniente para realizar cambios internos en la calidad de la fruta (Vélez *et al.*, 2012). Además de las posibles ventajas en la calidad del fruto, el riego deficitario controlado permite un ahorro de agua que se traduce en menor consumo de energía, disminución de costos de producción, aumento de la rentabilidad y mayor eficiencia en la utilización del recurso hídrico (Vélez *et al.*, 2011).

### **Porcentaje de almendra**

En los ciclos de producción 2016 y 2017, se encontró que el porcentaje de almendra fue superior en el tratamiento en donde el nivel de humedad del suelo se manejó a  $0.257 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , es decir, a medida que se disminuyó la humedad del suelo después del llenado de la almendra, aumentó la calidad de la nuez (Cuadro 3). Al parecer, altos aportes de agua en esta etapa fenológica favorecen la heterogeneidad de los frutos frente a la homogeneidad observada en árboles regados con menor cantidad de agua.

Este comportamiento tiene relación con los resultados mostrados por Noguera (2015), sobre la producción de pistachos, conforme se incrementó el déficit hídrico durante el endurecimiento del endocarpio, se produjo un incremento proporcional del peso de fruto. Mientras que en la parte comestible el efecto del riego deficitario indujo un incremento significativo, en el caso de la cáscara provocó un decremento.

La calidad de la nuez considera principalmente el porcentaje de la parte comestible de la nuez, el tamaño del fruto, el color y daños en la almendra. Como se observa en el Cuadro 3, el porcentaje promedio de almendra fue 57.1, para los dos ciclos, este valor es aceptable, ya que en forma comercial el mínimo requerido es de 53 a 55% (Godoy y López, 2000).

**Cuadro 3.** Porcentaje de almendra bajo tres niveles de humedad en el suelo en dos ciclos de producción de nogal pecanero en Viesca, Coahuila.

Contenido de humedad edáfica (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	AÑO 2016	AÑO 2017
	Almendra (%)	Almendra (%)
0.380	53.85 b ±1.04	55.82 b ±2.33
0.327	57.58 a ±1.50	58.02 ab ±3.63
0.257	59.01 a ±1.28	58.82 a ±2.68

Prueba de Tukey (P <0.05). Medias con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales. CV= 2.88 %.

El porcentaje comestible en todos los contenidos de humedad presentó rangos superiores al mínimo aceptable que es del 50%. Lo anterior concuerda con Arreola *et al.* (2002), quienes mencionan que el contenido de almendra producido en la Región Lagunera, México es bueno, considerando que el grueso de los árboles nativos produce nueces con porcentaje de almendra superior a 40%. Los valores volumétricos de agua en el suelo aplicados en el presente estudio a partir del estado fenológico del endurecimiento de cáscara, durante la estación, no afectaron considerablemente el porcentaje de almendra, lo cual no fue así para las otras variables que demeritan la producción comercial.

Godoy y López (2000), menciona que la adecuada disponibilidad de agua en el suelo, durante el desarrollo de la almendra, permite obtener frutos de buena calidad. Lo anterior coincide con lo encontrado por otros autores (Herrera, 1990; Godoy y Huitrón, 1998) quienes señalan que durante el llenado de almendra el agua debe estar más disponible que en otras etapas fenológicas, por lo que resulta factible cortar el riego después del llenado de almendra, sin causar efectos negativos en la calidad de la nuez, como lo reflejan los resultados obtenidos.

### **Desarrollo del fruto**

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para las variables largo y diámetro de nuez en los dos ciclos productivos evaluados (Cuadro 4). El tratamiento con menor contenido de humedad disponible en el suelo (0.257

m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), ocasionó una reducción en la longitud y diámetro del fruto. Estos resultados son similares a los encontrados por Noguera (2015), donde supone que el empleo de un riego deficitario controlado determina el tamaño (alto y ancho) de los frutos obtenidos, siendo menor en árboles que no son sometidos a estrés hídrico.

**Cuadro 4.** Diámetro y largo de nuez pecanera en función de tres contenidos de humedad del suelo durante dos ciclos productivos en Viesca, Coahuila.

Contenido de humedad edáfica (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Año 2016		Año 2017	
	Diámetro de fruto (cm)	Largo de fruto (cm)	Diámetro de fruto (cm)	Largo de fruto (cm)
<b>0.380</b>	2.90 a ±0.19	5.17 a ±0.18	2.90 a ±0.24	5.07 a ±0.22
<b>0.327</b>	2.81 a ±0.26	4.95 a ±0.21	2.85 a ±0.17	4.91 a ±0.24
<b>0.257</b>	2.67 b ±0.22	4.16 b ±0.32	2.58 b ±0.11	3.88 b ±0.27
<b>CV (%)</b>	7.54	4.69	5.61	8.54

Prueba de Tukey (P <0.05). Medias con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales.

El déficit hídrico es un gran perturbador del balance hormonal de muchas especies vegetales alterando significativamente los procesos fisiológicos del crecimiento y desarrollo (Montoliu, 2010, Citado por Vélez *et al.*, 2012). Ferreyra *et al.* (2002), mencionan que el déficit hídrico produce una reducción en la velocidad de crecimiento de los frutos al compararlos con frutales cuando los contenidos hídricos son altos. En este estudio, el tamaño final del fruto a la cosecha sólo se afectó en 6% aproximadamente, cuando los árboles fueron sometidos a un menor suministro hídrico durante la última fase de desarrollo del fruto.

## CONCLUSIONES

El mayor nivel de humedad en el suelo durante el ciclo productivo y particularmente durante el llenado de almendra ocasionó un incremento en el porcentaje de nuez germinada.

El exceso de agua aplicado en este estudio no afectó el porcentaje de almendra de la nuez pecanera.

Durante el estudio el tratamiento con menor humedad en el suelo indujo el menor porcentaje de ruezno pegado y nuez verde.

Los tratamientos con mayores niveles de humedad del suelo produjeron nueces de mayor diámetro y longitud, pero el porcentaje de almendra fue mayor en el tratamiento que recibió menor cantidad de agua en la etapa de maduración de la nuez.

## LITERATURA CITADA

- Arreola A., J. G.; Lagarda M., A. y Medina M., M. C. (2002). *Fenología*. Tecnología de Producción en Nogal Pecanero; Libro Técnico Núm. 3, Primera Edición, Campo Experimental La Laguna; Matamoros, Coahuila; p 55-75.
- Cohen, M., Valancogne, C., Dayau, S., Ameglio, T., Cruiziant, P. and Archer, P. (1997). Yield and physiological responses of walnut trees in semiarid conditions: application to irrigation scheduling. *Acta de Horticultura*, 449, 273-280.
- Ferreya E., R., Selles V., G. y 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).
- García de M., E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Godoy-Ávila, C. y M.V. Huitrón-Ramírez. (1998). Relaciones hídricas de hojas y frutos de nogal pecanero durante el crecimiento y desarrollo de la nuez. *Agrociencia*, 32: 331-337.
- Godoy A., C. y López M., I. (2000). *Desarrollo de la almendra y germinación del fruto del nogal pecanero bajo cuatro calendarios de riego*. INIFAP, Torreón, Coahuila. TERRA 18 (4).
- Godoy A., C., Reyes J., I., Torres E., C. A., Huitrón R., M. V., Cristian Ch., J. y Morales V., J. (2000). *Tecnología de riego en nogal pecanero*. Libro Científico No. 1. INIFAP. Matamoros, Coahuila.
- Godoy A., C. y Torres E., C. A. (2000). *Influencia del agua en el manejo integral del nogal*. pp. 1-3. En Godoy A., C., Reyes J., I., Torres E., C. A., Huitrón R., M. V., Cristian C., J. y Morales V., J. Tecnología de riego en nogal pecanero. Etapas y periodos fenológicos del nogal y sus requerimientos de agua. CELALA, CIRNOC, INIFAP. Matamoros, Coahuila.
- Herrera, E. (1990). Fruit growth and development of Ideal and Western pecans. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 115, 915-923.
- Lagarda M., A. (2012). *La germinación prematura de la nuez pecanera (viviparidad)*. Memoria científica, XIII Simposio Internacional de Nogal Pecanero. Hermosillo, Sonora. Pp.58.
- McCarty D. R. (1995). Genetic control and integration of maturation and germination pathways in seed development. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 46, 74-93.
- Medina M., D. C., J. A. Samaniego G., J Santamaría C., R. Faz C., T. Herrera P., M. Ramírez D. y G. González C. (1997). *Producción de nuez y su alternancia en nogal pecanero*. Sexto Simposium Internacional Nogalero. NOGATEC 998. Memoria. Torreón, Coahuila. México. p. 63-69.

- Noguera A., L. (2015). *Efecto del riego deficitario controlado en pistachos*. Trabajo fin de Master. Universidad Miguel Hernández de Elche. Orihuela.
- Reyes V., N. C. y Urrea L., R. (2016). *Retos y Oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). Guadalajara, Jalisco.
- Reyes J., I., Faz C., R., Figueroa V., U., Carrillo M., Ma. A. y Ramírez D., M. (2012). *Programación del riego en tiempo real con el uso de sensores de humedad del suelo y fertilización del nogal pecanero*. Folleto Técnico No. 20. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila.
- Sánchez S., J., Jurado Y., E., Pando M., M., Flores R., J. y Muro P., G. (2010). Estrategias germinativas de las semillas en ambientes áridos. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 9(1), 35-38.
- Santamaría C., J., Medina M., Ma. C., Rivera G., M. y Faz C., 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.
- SAS Institute. (1976). *Statistical Analysis System*. The SAS System for Windows Version 9.0. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- SIAP. (2017). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Cierre de la producción agrícola por estado. Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera. Consultado en <https://www.gob.mx/siap/>.
- Taylor, J. P., Wester, D. B. and Smith, L. M. (1999). Soil disturbance, flood management, and riparian woody plant establishment in the Rio Grande floodplain. *Wetlands*, 19(2), 372-382.
- Vélez S., J. E., Intrigliolo, D. S. y Castel S., J. R. (2011). Programación de riego en base a sensores de medida del estado hídrico del suelo y de la planta. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*. 14(2), 65-73.
- Vélez J. E., Álvarez H., J. G. y Alvarado S., O. H. (2012). *El estrés hídrico en cítricos (Citrus spp.): Una revisión*. ORINOQUIA. Universidad de los Llanos. Villavicencio, Meta. Colombia 161 (2).
- Wiegand, C., and W. Swanson. (1982). Citrus responses to irrigation: II Fruit yield, size and number. *J. Río Grande Valley Hortic. Soc.*, 35, 87-95.

## CAPÍTULO III

### RESUMEN

#### **ACTIVIDAD FOTOSINTÉTICA EN NOGAL PECANERO [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] BAJO DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD EN EL SUELO**

En el norte de México el nogal pecanero se desarrolla bajo condiciones hídricas y ambientales, que limitan frecuentemente su potencial productivo. La disponibilidad de agua se considera uno de los factores más importantes implicados la productividad de este frutal. En México, se tiene poca información relacionada con el efecto de la disponibilidad de agua en la fotosíntesis de esta especie, los cuales son de gran importancia en el cultivo para expresar el correcto potencial de producción. El objetivo de este estudio fue determinar la actividad fotosintética del nogal pecanero bajo diferente condición de humedad edáfica. El estudio se llevó a cabo en una huerta en producción en la pequeña propiedad Tierra Blanca, ubicada en Viesca Coahuila. Se aplicó un diseño completamente al azar en mediciones repetidas en el tiempo, con un factor de estudio y cinco repeticiones. El factor de estudio correspondió al contenido de humedad disponible en el suelo (0.380, 0.327 y 0.257 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). Un árbol se consideró como unidad experimental. Las variables medidas fueron fotosíntesis, transpiración, conductancia estomática, temperatura de hoja y eficiencia en el uso del agua. Los resultados mostraron que el estrés hídrico alteró la actividad y eficiencia fotosintética del nogal pecanero.

Palabras clave: *Carya illinoensis*, fotosíntesis, transpiración, conductancia estomática.

## ABSTRACT

### PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY IN PECANERO WINTER [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] UNDER DIFFERENT LEVELS OF MOISTURE IN THE SOIL

In northern Mexico, the pecan tree develops in hydric and environmental conditions that reduce frequently its productive potential. Water availability is considered as one of the mean important factors involved in the productivity of this tree. In Mexico, there is insufficient information related to water availability and photosynthesis, which are important for the correct expression of the productive potential of pecan tree. The objective of this study was to determine the photosynthetic activity in pecan trees under different condition of soil moisture. The study was carried out in a production pecan orchard located in Tierra Blanca, Viesca Coahuila. A completely randomized design was applied in repeated measurements over time, with a study factor and five repetitions. The study factor corresponded to the content of soil moisture available (0.380, 0.327 and 0.257 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). A tree was considered as a unit experimental. The variables measured variables were photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, temperature of leaf and efficiency in the use of water. The lowest soil moisture (0.257 m<sup>3</sup> of water per m<sup>3</sup> of soil) reduced considerably the studied variables except for leaf temperature which was similar in the tree water content levels.

Keywords: *Carya illinoensis*, photosynthesis, transpiration, conductance stomatics.

## INTRODUCCIÓN

El nogal pecanero (*Carya illinoensis*) tiene sus orígenes en el norte de México y el sur de EUA, siendo los dos principales países productores de nuez pecanera al aportar el 92% de la producción mundial (Rodríguez *et al.*, 2015). Las huertas de nogal pecanero en el norte de México se desarrollan bajo un clima tipo desértico (Sandoval *et al.*, 2010) y restringida disponibilidad de agua. Bajo estas condiciones climáticas, la radiación alcanza valores elevados de intensidad y duración. Como resultado de esta situación la actividad fotosintética del árbol es notablemente favorecida (Corral *et al.*, 2009).

El proceso fotosintético es fundamental en la supervivencia de las plantas, primero porque es el que le confiere su condición autótrofa y, segundo, porque de su capacidad de adaptación a situaciones extremas, depende la capacidad para adaptarse a tales condiciones (Pastenes *et al.*, 2007, Citado por Corral, 2008). Desde el punto de vista fisiológico, la fotosíntesis responde a factores ambientales como la intensidad lumínica, concentración de dióxido de carbono ambiental, temperatura y disponibilidad de agua, siendo importante en la productividad y rendimiento de los cultivos, ya que estos dependen en gran medida de la tasa fotosintética en un ambiente que cambia constantemente (Fernández y Johnston, 2006).

El nogal es un árbol con grandes requerimientos hídricos en sus etapas fenológicas, en los que se requieren láminas de agua que van de 1 a 1.2 m, dependiendo de las condiciones ambientales y la edad del árbol (Godoy y Huitrón, 1998). Además se caracteriza por ser un árbol con baja eficiencia fotosintética, es decir requiere valores considerables de radiación para lograr una adecuada actividad fotosintética (Andersen, 1994).

Uno de los procesos fisiológicos más sensibles al déficit de agua es el crecimiento celular, de manera que la sequía reduce la expansión y área foliar (Parra *et al.*, 1999). Cuando el déficit hídrico es severo, se acelera la senescencia de hojas maduras (Hsiao, 1973); además la fotosíntesis y la transpiración se abaten

debido a la reducción de la turgencia, al cierre estomático y al bloqueo de la difusión de CO<sub>2</sub> hacia el mesófilo (Parra *et al.*, 1999).

En México se tiene poca información sobre la relación entre la disponibilidad hídrica y diferentes variables fisiológicas del nogal pecanero, por lo que se considera que un mejor conocimiento de estas relaciones puede servir de base para que el cultivo exprese su potencial de producción (Corral *et al.*, 2009; Chávez *et al.*, 2016; Rodríguez *et al.*, 2015, Sandoval *et al.*, 2010). En general, los estudios existentes en nogal indican que la falta de agua o estrés hídrico, puede afectar el crecimiento de los árboles, disminuir la producción y afectar la calidad de la nuez (Núñez *et al.*, 2018; Godoy *et al.*, 2000; Godoy y López, 2000). No obstante lo anterior, se ha observado la adaptabilidad en nogales bajo estrés hídrico (Martin *et al.*, 1980).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente estudio se llevó a cabo durante el periodo junio-octubre de los años 2016 y 2017, en una huerta de nogal en producción en la pequeña propiedad Tierra Blanca, ubicada en el Municipio de Viesca, en el estado de Coahuila, México. La región se encuentra ubicada en las coordenadas 25° 20' 28'' de Latitud Norte y 102° 10' y 48° 16' Longitud Oeste y a una altitud de 1,100 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, modificada por García (1973), el clima del área 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 va de 200 a 300 mm, con régimen de lluvias en los meses de abril a noviembre y escasas en el resto del año. Se utilizó una plantación de nogal pecanero cv. Western, establecida en un sistema de plantación marco real de 12 m x 12 m y un sistema de riego por goteo subsuperficial. La textura del suelo en la huerta fue franco-arcillosa, con capacidad de campo de 0.35 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> y punto de marchitez permanente 0.19 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

## **Diseño experimental**

Se aplicó un diseño completamente al azar en mediciones repetidas en el tiempo, con un factor de estudio y cinco repeticiones. El factor de estudio correspondió al contenido de humedad disponible en el suelo (0.380, 0.327 y 0.257 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). Un árbol se consideró como unidad experimental. Los árboles se seleccionaron con características similares de circunferencia del tronco con 90 cm medido a 60 cm de altura a partir de la superficie del suelo, altura de 15 metros y densidad de copa con 3.5 m<sup>2</sup> de hoja m<sup>-3</sup>. Desde el inicio hasta el final del llenado de la almendra (marzo- primera semana de septiembre) todo el lote experimental se mantuvo con una humedad disponible de 0.30-0.40 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. A partir del final de llenado de almendra se diferenciaron tres niveles de humedad 0.380, 0.327 (testigo) y 0.257 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

## **Variables medidas**

La humedad disponible en el suelo se registró en contenido volumétrico de agua, expresado en metros cúbicos de agua por metro cúbico de suelo a tres profundidades 0-40, 40-80 y 80-120 cm, mediante un equipo de monitoreo de humedad del suelo formado por Datalogger Em50 y tres sensores de tipo capacitivo EC-5 de DECAGON. Las variables respuesta registradas fueron producción total de nuez por árbol (Kg) a través de conteos directos al momento de la cosecha, fotosíntesis ( $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), transpiración ( $\text{mmol H}_2\text{O}\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), conductancia ( $\text{mol H}_2\text{O}\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), temperatura de la hoja ( $^{\circ}\text{C}$ ), con uso del determinador de intercambio gaseoso a base de rayos infrarrojos (IRGA) LI-COR Modelo LI-6400; se midieron a partir de la segunda semana de agosto, cada 15 días. En la parte baja de la copa de cada árbol, fue seleccionado un brote en los cuadrantes norte, sur, este y oeste respectivamente. En cada brote fue seleccionada una hoja completa donde se efectuaron las mediciones y lecturas de fotosíntesis, durante la mañana entre las 9:00 y 11:00 horas.

## **Procesamiento de datos**

Se realizó un análisis de varianza y prueba de medias de Tukey, para determinar la expresión del contenido de humedad en el suelo en las variables fisiológicas del nogal. Además, se aplicó un análisis de regresión lineal simple para identificar el comportamiento del rendimiento total de nuez pecanera por árbol y la variable fotosíntesis. Para ello, se usaron los programas SAS Versión 9.0 (SAS, 1976) y Microsoft Excel versión 2013.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Actividad fotosintética**

Durante los ciclos 2016 y 2017, la cantidad aproximada de agua aplicada por el productor fue de  $0.327 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . Este volumen de agua fue considerado como testigo. La actividad fotosintética en el año 2016 disminuyó significativamente en los árboles con menor contenido de humedad en el suelo ( $0.257 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ). Esta variable incrementó 23% cuando se aplicaron  $0.380 \text{ m}^3/\text{m}^3$  (Cuadro 1). Aunque estadísticamente fueron similares. En el año 2017 se observó una tendencia hacia el incremento de la fotosíntesis a medida que aumentó la humedad en el suelo. La fotosíntesis en el menor nivel de humedad en el suelo ( $0.257 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) fue similar a la observada en el testigo ( $0.327 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ), pero fue superado significativamente cuando se aplicaron  $0.380 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . La absorción de  $\text{CO}_2$  es fundamental para la realización del proceso de fotosíntesis en la hoja, sin embargo, la apertura y cierre de estomas está fuertemente afectada por el nivel de humedad en el suelo y la carga de fruto en el árbol (Palmer *et al.*, 1997). En el presente estudio, el aumento en la fotosíntesis como resultado de la mayor apertura estomática o mayor duración de la misma, confirma las respuestas observadas en manzano por estos autores. Mientras que la baja actividad fotosintética registrada se asocia a la respuesta estratégica de las plantas para hacer frente al estrés hídrico (Azcón y Talcon, 2008), la magnitud de esta respuesta está relacionada con la fisiología del árbol.

Principalmente, la fotosíntesis en el árbol involucra la fase de intercambio gaseoso relacionada con la toma de CO<sub>2</sub> y liberación del vapor de agua, factores como la temperatura, la radiación solar y la disponibilidad hídrica en el suelo afectan directamente estos procesos (Zhou *et al.*, 2014). No obstante, como se muestra en el presente trabajo el nivel de humedad disponible resultó determinante en las tasas fotosintéticas observadas. Nemani *et al.* 2009, sugiere al estrés hídrico como el principal factor ambiental limitante de la fotosíntesis, crecimiento y producción primaria global. De igual forma Barrientos y Rodríguez (2015), mencionan que el proceso fotosintético es más afectado que otras variables fisiológicas cuando se tiene baja disponibilidad de agua para la planta.

### **Transpiración**

La respuesta de la transpiración para nogal pecanero presentó diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre contenido de humedad del suelo en el año 2016. La tendencia presentada fue de mayor transpiración a mayor contenido de humedad. Los árboles sometidos al contenido de humedad de 0.380 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> reportaron los valores más altos, con 1.93 mg H<sub>2</sub>O dm<sup>-2</sup>. Sin embargo, para el año 2017 los valores se mantuvieron estadísticamente iguales en los tres niveles de humedad del suelo (Cuadro 1). López (2004), reportó en *Coffea arabica* L. que la respuesta de la transpiración presentó diferencias significativas entre rangos de humedad del suelo, la tendencia presentada también fue de mayor transpiración a mayores contenidos de humedad, como se esperaría, mayores contenidos de agua disponible para la planta favorecerían el proceso de transpiración, se destacaron diferencias principalmente entre los grupos de humedades. De igual forma Ferreyra *et al.* (2002), señala que en periodo de déficit hídrico el comportamiento de la transpiración en hojas de duraznero es menor, debido a un mayor cierre estomático. En el caso de la falta de agua, las plantas experimentan un déficit hídrico interno que afecta varios procesos fisiológicos que en algunos frutales. Algunos autores (Ramadasan, 1980; Nevin y Lovatt, 1987) han estudiado este caso en aguacate, encontrando reducciones de fotosíntesis, transpiración y conductancia estomatal.

## **Conductancia estomática**

Los árboles sometidos a 0.380 y 0.327 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> fueron estadísticamente iguales. Sin embargo, las plantas sometidas a 0.380 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> manifestaron la mayor conductancia estomática. Mientras que los árboles con menor contenido de humedad si mostraron diferencia estadística en los dos ciclos productivos (Cuadro 1). Lo que sugiere que la falta de agua disponible en el suelo afecta considerablemente esta variable.

Lo anterior puede ser explicado en base a lo señalado por Parés *et al.* (2004), quienes sugieren que la reducción de la cantidad de estomas, y por ende, la conductancia estomática y tasa de transpiración podría ser un mecanismo que ayude a aumentar la eficiencia de uso del agua por parte de las especies.

Un volumen de agua cercano al punto de marchitez permanente afecta negativamente las funciones fisiológicas como: fotosíntesis, respiración, reacciones metabólicas y anatómicas, crecimiento, reproducción, desarrollo de semillas, absorción de nutrientes minerales, transporte de asimilados y producción. Sin embargo el efecto dependerá de la intensidad de la sequía, de la duración de la misma y de la época en que ocurre dentro del ciclo del cultivo (Vélez *et al.*, 2012). Las plantas constantemente están sometidas a condiciones ambientales desfavorables por lo que desarrollan mecanismos de protección. Como consecuencias del estrés hídrico se producen una serie de respuestas como: disminución en la conductancia de los estomas, con lo cual se evita pérdida de agua por transpiración (Pérez *et al.*, 2008).

## **Temperatura de la hoja**

En cuanto a esta variable no se observaron diferencias entre tratamientos, para los dos ciclos productivos (Cuadro 1). Esto coincide con Barrientos y Rodríguez (2015), quienes reportaron que la temperatura de la hoja en aguacate se mantiene durante el día, tanto en sequía, como en riego. Teniendo en cuenta los niveles de humedad estudiados, se comprueba que no hubo influencia directa en la temperatura de la hoja, sin embargo, estos resultados difieren a lo reportado

por Nogueira *et al.* (2000), quienes encontraron en pitanga (*Eugenia uniflora* L.) que las temperaturas foliares del árbol bajo estrés hídrico mantienen valores por encima de la temperatura media del ambiente.

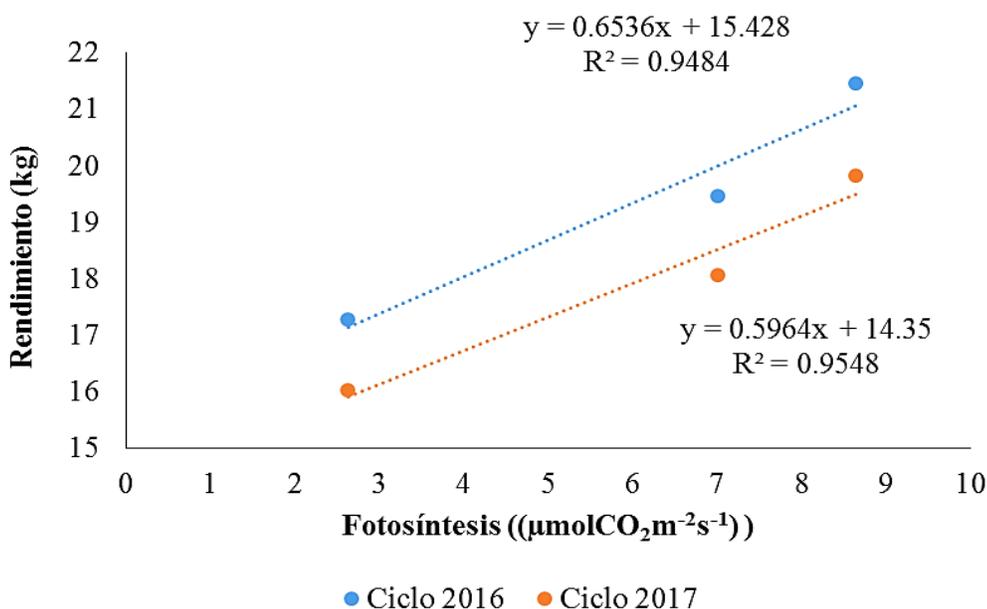
**Cuadro 1.** Actividad fotosintética, transpiración, conductancia estomática y temperatura de la hoja bajo diferentes contenidos volumétricos de agua, durante dos ciclos productivos de nogal pecanero, en Viesca, Coahuila.

2016				
Contenido de humedad edáfica (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Fotosíntesis ( $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	Transpiración ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	Conductancia estomática ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Temperatura de la hoja (°C)
0.380	8.64 a $\pm 1.11$	1.93 a $\pm 0.46$	0.077 a $\pm 0.014$	28.55 a $\pm 0.96$
0.327	7.01 a $\pm 1.83$	1.76 a $\pm 0.41$	0.067 a $\pm 0.019$	29.08 a $\pm 1.51$
0.257	2.63 b $\pm 1.33$	0.53 b $\pm 0.42$	0.017 b $\pm 0.015$	30.08 a $\pm 1.58$
CV (%)	32.30	45.28	40.52	6.05
2017				
0.380	6.99 a $\pm 0.69$	2.33 a $\pm 0.39$	0.126 a $\pm 0.015$	26.79 a $\pm 1.06$
0.327	6.47 ab $\pm 1.08$	2.30 a $\pm 0.60$	0.122 a $\pm 0.032$	27.68 a $\pm 1.39$
0.257	5.29 b $\pm 1.32$	2.12 a $\pm 0.55$	0.111 a $\pm 0.023$	27.55 a $\pm 1.30$
CV (%)	20.92	26.07	28.49	5.85

Prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). Medias con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales.

En promedio para los dos años de estudio, los árboles con contenido de humedad de  $0.257 \text{ m}^3/\text{m}^3$  presentaron valores más bajos para todas las variables fisiológicas medidas, con diferencias significativas y muy significativas entre los contenidos de humedad de  $0.380$  y  $0.327 \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

De acuerdo al análisis de regresión, el comportamiento de las variables fotosíntesis y rendimiento fue lineal, confirmando que hay un incremento en el rendimiento de nuez, en proporción directa al aumento de la tasa fotosintética, a razón de una tasa de  $0.6$  Kilogramos, con un ajuste en el modelo de  $R^2= 0.94$  y  $0.95$ , respectivamente (Figura 1).



**Figura 1.** Comportamiento temporal del rendimiento total de nuez por árbol para diferentes unidades de fotosíntesis.

## **CONCLUSIONES**

En 2016 la fotosíntesis, conductancia estomática y la transpiración incrementaron considerablemente al aumentar el contenido volumétrico de agua en el suelo. Este comportamiento no se repitió en 2017, excepto para fotosíntesis

Se encontró una relación lineal, directa y positiva entre las variables fotosíntesis y producción de nuez pecanera.

## LITERATURA CITADA

- Andersen, P. C. (1994). Lack of sunligh can limit pecan productivity Southeastern U.S. The Pecan Grower. *Georgia Pecan Gro. Assoc. Inc.*, 6(2), 20-21.
- Azcón, B. J. y Talcon, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. Mc G. Hill.
- Barrientos P., A. F. y Rodríguez O., J. L. (2015). Respuesta de plantas de aguacate cv Hass bajo condiciones de sequía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 2, 191-198.
- Corral L., A. (2008). *Actividad fotosintética en diferente posición de la copa y periodos del día en nogal pecanero (Carya illinoensis K. Koch) en la Comarca Lagunera*. Tesis de Licenciatura. URUZA-UACH. Bermejillo, Durango.
- Corral L., A., Arreola A., J. G., Hernández M., M. A., Trejo C., R., García H., G. y Chávez R., J. A. (2009). Actividad fotosintética en diferente posición de la copa y periodo del día en nogal pecanero (*Carya illinoensis* K. Koch). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 9, 135-141.
- Chávez S., J. A.; González C., G.; Arreola A., J. G.; Ortiz S., I. A. y Loera G., H. M. (2016). Variación estomática en foliolos de nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) en base al método y eficiencia de riego. *Interciencia*, 41, 646-651.
- Ferreyra E., R.; Selles V., G. y 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).
- Fernández G. y Johnston M. (2006). *Crecimiento y Temperatura*. En: Squeo, F. A. y Cardemil, L. *Fisiología Vegetal*. Chile: Ediciones Universidad de La Serena. 20, 28.
- García de M., E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. UNAM. México.
- Godoy A., C. y Huitrón R., M.V. (1998). Relaciones hídricas de hojas y frutos de nogal pecanero durante el crecimiento y desarrollo de la nuez. *Agrociencia*, 32: 331-337.
- Godoy A., C. y López M., I. (2000). *Desarrollo de la almendra y germinación del fruto del nogal pecanero bajo cuatro calendarios de riego*. INIFAP, Torreón, Coahuila. Terra, 18 (4).
- Godoy A., C., Reyes J., I., Torres E., C. A., Huitrón R., M. V., Cristian C., J. y Morales V., J. (2000). *Tecnología de riego en nogal pecanero. Etapas y periodos fenológicos del nogal y sus requerimientos de agua*. CELALA, CIRNOC, INIFAP. Matamoros, Coahuila

- Hsiao, T.C. (1973). Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24, 519-570.
- López Ruiz, J. C. (2004). Comportamiento del intercambio gaseoso de *Coffea arabica* L en tres altitudes de la zona cafetera central colombiana. *Cenicafé*, 55 (3), 202–212.
- Martin, G.; Uriu, K. and Nishijima, C. (1980). The effect of drastic reduction of water input on mature walnut trees. *HortScience*, 15 (2), 157-158.
- Nemani, R. R., Keeling, C. D., Tucker, C. J., Myneni, R. B. y Running, S. W. (2009). Primary Production from 1982 to 1999 Climate-Driven Increases in Global Terrestrial Net Primary Production from 1982 to 1999, 1560.
- Nevin, J. M. y Lovatt, C. J. (1987). Demonstration of ammonia accumulation and toxicity in avocado leaves during water-deficit stress. *South African Avocado Grower's Association Year-book*, 10, 51- 54.
- Nogueira R. J. M. C., Silva J., J. F., Bezerra J. E. F., Lederman I. E., Burity H. A. y Santos V. A. (2000). Comportamiento estomático y tensión de agua en el xilema de dos genotipos de pitanga (*Eugenia uniflora* L.) cultivados bajo estrés hídrico. *Invest. Agr.; Prod. Prot. Veg.*, 1(15) 3.
- Núñez M., J. H., Sabori P., R., Valdez G., B., Fu C., A. A., Martínez D., G., Grageda G., J. y Maldonado N., A. A. (2018). Nogal Pecanero. CIRNO-INIFAP. Campo Experimental Costa de Hermosillo. Hermosillo, Sonora.
- Palmer, J. W.; Giuliani, R. y Adams, H. M. (1997). Effect of crop load on fruiting and leaf photosynthesis of Breaburn/M.26 apple trees. *Tree Physiol.*, 17, 741-746.
- Parés M., J., Arizaleta, M., Sanabria, M. E. y Brito, L. (2004). Características de los estomas, densidad de índice estomático y su variación en función a la injertación en *Annona muricata* L. y *A. montana* MADFAC. *Bioagro*, 16(3), 2013-2018.
- Parra Q., R. A; Rodríguez O., J. L. y González H., V. A. (1999). Transpiración, potencial hídrico y prolina en zarzamora bajo déficit hídrico. *Terra Latinoamericana*, 17, 125-130.
- Pérez P., J. G.; Romero, P.; Navarro, J. M. y Botía, P. (2008). Response of sweet orange cv “Lane late” to deficit irrigation in two roots-tocks. I: Water relations, leaf gas exchange and vegetative growth. *Irrigation Science*, 26(5), 415-425.
- Ramadasan, A. (1980). Gas exchange in the avocado leaves under water stress and recovery. *California Avocado Society Yearbook*, 64, 147- 151.
- Reyes J., I., Faz C., R., Figueroa V., U., Carrillo M., Ma. De los A. y Ramírez D., M. (2012). *Programación del riego en tiempo real con el uso de sensores de humedad del Suelo y fertilización del nogal pecanero*. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila, México.

- Rodríguez H., A. M., Arellano G., M. A., Broetto, F. y Castillo C, M. A. (2015). *Estudios ecofisiológicos en nogal pecanero*. Memorias del XX Congreso Internacional de Plásticos en la Agricultura y XV Congreso Iberoamericano para el Desarrollo y Aplicación de los Plásticos en la Agricultura. Saltillo, Coahuila, México.
- Sandoval R., F. S., Arreola A., J. G., Lagarda M., A., Trejo C, R., Esquivel A., O. y García H., G. (2010). Efecto de niveles de NACL sobre fotosíntesis y conductancia estomática en nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch]. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 9,135-141.
- SAS Institute. (1976). *Statistical Analysis System*. The SAS System for Windows Version 9.0. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Vélez J. E., Álvarez H., J. G. y Alvarado S., O. H. (2012). *El estrés hídrico en cítricos (Citrus spp.): Una revisión*. ORINOQUIA. Universidad de los Llanos. Villavicencio, Meta. Colombia 161 (2).
- Zhou, S., Medlyn, B., Sabate, S., Sperlich, D. y Prentice, I. C. (2014). Short-term water stress impacts on stomatal, mesophyll and biochemical limitations to photosynthesis differ consistently among tree species from contrasting climates. *Tree Physiology*, 34, 1035-1046.