

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**DEPARTAMENTO DE SUELOS**



Características químicas del suelo y su incidencia en la producción de fitoquímicos del aceite de almendra de nogal

Por:

**Heidy Toto Teoba**

**TESIS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Torreón, Coahuila, México  
Mayo 2025

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE SUELOS**

Características químicas del suelo y su incidencia en la producción de fitoquímicos  
del aceite de almendra de nogal

Por:

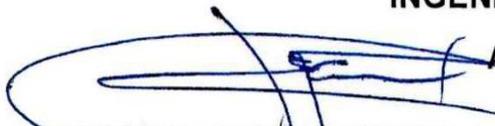
**Heidy Toto Teoba**

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado examinador como requisito  
parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

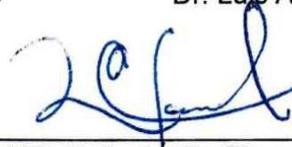
Aprobada por:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alejandro Moreno Reséndez  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Abigail Reyes Munguía  
Vocal externo

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Luis Reyes Carrillo  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Abraham Chaparro Encinas  
Vocal suplente

  
\_\_\_\_\_  
MC. Rafael Avila Cisneros  
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México

Mayo 2025

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE SUELOS**

Características químicas del suelo y su incidencia en la producción de fitoquímicos  
del aceite de almendra de nogal

Por:

**Heidy Toto Teoba**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Alejandro Moreno Reséndez  
Asesor Principal

  
Dra. Abigail Reyes Munguía  
Asesor externo

  
Dr. José Luis Reyes Carrillo  
Coasesor

  
Dr. Luis Abraham Chaparro Encinas  
Coasesor

  
MC. Rafael Avila Cisneros  
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

Mayo 2025



## AGRADECIMIENTOS

**A mi Alma Terra Mater:** Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, por abrirme las puertas y abrigarme, por permitirme el desarrollo profesional y cada una de las vivencias en sus instalaciones.

**A mis padres:** gracias por brindarme de su confianza, sus consejos, por la confianza puesta en mí, por el apoyo emocional y económico en todo momento, gracias por tanto amor.

**A mi asesor:** Dr. Alejandro Moreno Reséndez, por brindarme su voto de confianza al permitirme participar en el desarrollo de sus proyectos, y muy en especial por el tiempo y enseñanza brindada en mi proyecto de tesis.

**A mis profesores durante toda la carrera:** por compartir sus conocimientos, gracias a todos aquellos que aportaron tanto en lo profesional como en lo personal con cada una de sus enseñanzas de vida, gracias porque de una manera u otra todos han puesto un grano de arena que ha contribuido en mi formación.

**A mis hermanas:** Yadira y Sherlin por acompañarme en esas madrugadas de pandemia, por ayudarme a ser más amenas las noches de trabajo, gracias por sus palabras de aliento en esos días que sentía no poder más.

**A mi Ody:** por sus mimos, amor y compañía en días de arduo trabajo, por estar siempre a mi lado tarde, día y noche, incluso en las madrugadas de trabajo durante pandemia, por ser mi fiel compañero y mi amigo más sincero.

**A mis amigos:** sin duda con ustedes aprendí muchas cosas, me hicieron ver las cosas muy diferentes, a disfrutar esta etapa y no vivir bajo estrés, gracias por estar en esos momentos tan agobiantes durante estos años, por ser esa luz en tanta obscuridad, porque cuando todo parecía ir mal llegaban ustedes y todo empeoraba, pero siempre juntos salíamos adelante, Lesly, Diego, Manuel, Scarlett, Anahí, a todos ustedes que directa o indirectamente contribuyeron en mi vida.

## DEDICATORIA

**A Dios**, por permitirme llegar hasta donde estoy, y poder hoy alcanzar una meta más, gracias por ponerme a las personas indicadas en el momento y lugar correcto, por la salud que me brinda y su amor que en todo momento está presente

**A mis padres**, a mi mamá Lucila Teoba Sinta y papá Celestino Toto Seba, este logro es por y para ustedes, por acompañarme en todo el trayecto de esta aventura, por estar conmigo incondicionalmente en las altas y bajas de la vida, por siempre motivarme a ser una mejor persona, a superarme ante toda adversidad, por todos aquellos buenos y malos momentos que hemos superado juntos, gracias porque aún ustedes teniendo miedo nunca me detuvieron ni me cortaron las alas para ir en busca de mis metas.

**A mis hermanas**, por apoyarme siendo mis incondicionales aun en la distancia que nos separaba, por aquellos consejos, por motivarme a nunca rendirme y tanto amor.

**Y a mí**, por lograr más de lo que creía posible lograr, aun en mis peores momentos no darme por vencida, por reconocer que no es fácil y aun así no rendirse, por creer en ti.

## RESUMEN

A finales del año 2022, se realizó el presente estudio en la Comarca Lagunera, con el objetivo de evaluar la influencia de las propiedades químicas del suelo y cómo influye en la producción de fitocompuestos en el aceite de nogal. Se seleccionaron cuatro huertas con diferentes edades (10, 12 y 40 años). Se aplicaron muestreos de suelo y extrajeron muestras con seis repeticiones por tratamiento, se determinaron el contenido de flavonoides, polifenoles y pH. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza, prueba de rangos múltiples (Tukey HSD,  $p=0.05$ ). Así mismo se realizaron correlaciones de Pearson entre las características del suelo (pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y edad de huerto) y componentes fitoquímicos del aceite de la almendra de nuez (contenido total de flavonoides, contenido total de polifenoles y pH). Evidenciando resultados de contenido total de polifenoles (CTP) 79.31 – 151.52 mg EAG•100 mL<sup>-1</sup> de aceite de nuez y contenido total de flavonoides (CTF) 430.72 y 782.74 mg EAG•100 mL<sup>-1</sup> aceite, además de correlación positiva entre MO y CTP (0.85\*\*), CTF (0.79\*), edad de huerto y CTP (0.83\*\*), CTF (0.78\*), se concluye que “el contenido de compuestos bioactivos en el aceite de nuez de la Comarca Lagunera varía en función de las propiedades químicas de los suelos de cada sistema de producción, y nutrición del suelo, siendo mayor cuando las condiciones son favorables”, se cumplió parcialmente, ya que no son los únicos factores determinantes.

**Palabras clave:** Almendra de nogal, Compuestos nutraceuticos, Fertilización, Factores edáficos, Nutrición vegetal

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	i
<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1 Origen del nogal .....	4
2.2 Estructura y morfología (Descripción botánica) .....	4
2.2.1 Raíz .....	4
2.2.2 Tronco .....	5
2.2.3 Hojas .....	5
2.2.4 Flor .....	5
2.2.5 Fruto .....	6
2.3 Clasificación taxonómica .....	6
2.4 Variedades de nogal .....	7
2.5 Dicogamia .....	7
2.6 Fenología del nogal .....	8
2.7 Principales plagas .....	9
2.8 Principales enfermedades .....	10
2.9 Requerimientos climáticos .....	11
2.9.1 Temperatura .....	11
2.9.2 Humedad relativa (HR) .....	11
2.10 Requerimientos edáficos .....	12
2.10.1 Fertilización .....	12
2.10.2 Salinidad .....	13
2.10.3 Propiedades químicas del suelo .....	13
2.11 Requerimientos hídricos .....	15
2.12 Sistemas y densidad de plantación .....	16
2.13 Prácticas culturales .....	16
2.14 Producción a nivel internacional .....	17
2.15 Producción de nogal en México .....	19
2.16 Producción en la Comarca Lagunera .....	20

2.17 Superficie sembrada en México .....	20
2.18 Rendimientos en nogal .....	21
2.19 Condiciones climáticas en la Comarca Lagunera .....	22
2.19.1 Temperatura.....	23
2.19.2 Humedad relativa.....	23
2.20 Características de los suelos en la Laguna .....	23
2.21 Importancia económica.....	23
2.22 Usos de la nuez .....	24
2.23 Propiedades nutricionales de la nuez .....	24
2.24 Nuez de nogal como alimento nutraceutico .....	26
2.25 Métodos de extracción de aceite de nogal.....	26
2.26 Aceite de nuez y sus principales compuestos .....	27
2.26.1 Contenido total de fenoles.....	28
2.26.2 Polifenoles .....	30
2.26.3 Flavonoides .....	31
2.26.4 Ácidos grasos.....	33
2.26.5 Fitoesteroles.....	33
2.26.6 Tocoferoles y tocotrienoles (vitamina E) .....	34
2.26.7 Antioxidantes.....	35
2.27 Importancia de los compuestos fenólicos (polifenoles) .....	36
2.28 Importancia de los antioxidantes en la alimentación .....	36
2.29 Importancia de los flavonoides .....	37
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
3.1 Localización de huertas .....	38
3.2 Extracción de nueces y preparación de la muestra .....	38
3.3 Extracción de aceites de nuez .....	39
3.4 Determinación del contenido total de fenoles .....	39
3.5 Determinación de Flavonoides.....	39
3.6 Determinación de características químicas de suelos.....	40
3.7 Análisis estadístico .....	40
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>41</b>
4.1 Rendimiento promedio de extracción de aceites.....	41
4.2 Propiedades de los suelos.....	43

4.3 Contenido total de polifenoles .....	45
4.4 Contenido total de flavonoides.....	49
4.5 pH del aceite de nuez.....	50
4.6 Consideraciones generales .....	51
4.7 Coeficientes de Correlación .....	52
<b>V. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>54</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1:</b> Principales enfermedades que afectan al nogal.....	10
<b>Cuadro 2:</b> Clasificación capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....	13
<b>Cuadro 3:</b> Valores de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica en los suelos minerales y volcánicos. ....	14
<b>Cuadro 4:</b> Clasificación de suelos según su CE. ....	15
<b>Cuadro 5:</b> Clasificación de los polifenoles y ejemplos de ellos.....	29
<b>Cuadro 6:</b> Estructura genérica de las principales clases de flavonoides. ....	31
<b>Cuadro 7:</b> Cantidad de aceite obtenidos por cada repetición de 100 g. ....	42
<b>Cuadro 8:</b> Datos obtenidos del muestreo de cuatro suelos en La Comarca Lagunera. ....	44
<b>Cuadro 9:</b> Valores promedio y significancia estadística del contenido total de polifenoles (CTP), de las cuatro huertas en estudio, de la Comarca Lagunera. ....	45
<b>Cuadro 10:</b> Valores promedio y significancia estadística del contenido total de flavonoides (CTF), de las cuatro huertas en estudio, de la Comarca Lagunera. ....	49
<b>Cuadro 11:</b> Valores promedio y significancia estadística del pH del aceite de nuez de las cuatro huertas en estudio, de la Comarca Lagunera. ....	50
<b>Cuadro 12:</b> Coeficientes de correlación de Pearson para las variables fitoquímicas del aceite, de almendra de nuez, y las características de los suelos, de cuatro huertas de nogal de la Comarca Lagunera, del estado de Coahuila de Zaragoza, México. ....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Flores del nogal pecanero. A) Flor femenina y B) Flor masculina. ....	5
<b>Figura 2:</b> Fechas promedio de receptividad de estigma (—) y liberación de polen (...) de dos variedades de nogal en dos regiones de Chihuahua. O= en Ojinaga, D= en Delicias. .8	8
<b>Figura 3:</b> Fenología del árbol de nogal.....	9
<b>Figura 4:</b> Diseños de plantación utilizados en huertas de nogal pecanero. A) Cuadrado o marco real. B) Triangular o tresbolillo y C) rectangular.....	16
<b>Figura 5:</b> Comportamiento del volumen de la balanza comercial internacional de nuez pecanera de México en el periodo 1980 a 2015.....	17
<b>Figura 6:</b> Distribución geográfica de nogales pecanero en América del norte en 2014. ....	18
<b>Figura 7:</b> Comportamiento de superficie sembrada en el periodo 1985-2015.....	21
<b>Figura 8:</b> Comportamiento del rendimiento en la producción de nuez pecanera en el periodo 1985 a 2015, en los principales estados productores a nivel nacional.....	22
<b>Figura 9:</b> Subclasificación de los flavonoides.....	32

## I. INTRODUCCIÓN

El aumento de las incidencias cardiovasculares y de diabetes en las últimas décadas ha llevado a la necesidad de cambiar los hábitos alimenticios en busca de una mejor salud, enfocándose en alimentos de calidad con beneficios adicionales para la salud (Fuentes-Berrio *et al.*, 2015).

Los nutraceuticos y los alimentos funcionales son cada vez más importantes para los consumidores debido a sus beneficios nutricionales. En este sentido los consumidores no solo se valoran el color y el sabor adecuados de las frutas y verduras, sino también demandan productos que aporten efectos positivos en la salud, como los frutos secos, los cuales han demostrado su capacidad para reducir los niveles de lípidos y el estrés oxidativo (Domínguez-Avila *et al.*, 2015). Esta creciente demanda e interés ha impulsado el aumento del cultivo de nuez pecanera en México, específicamente en la zona norte donde se ha convertido en una actividad en amplio desarrollo, debido a la amplia adaptación climática y edafológica, así como también por las condiciones de mercado y la atractiva rentabilidad que presenta al canalizarse a Estados Unidos de América (Orona-Castillo *et al.*, 2013).

Dentro las grasas y aceites comestibles, también conocidos como aceites especiales destacan los aceites de oliva extra virgen, los extraídos de diferentes nueces, colza, etc., todos éstos son únicos en sabor, olor y propiedades, por lo que se emplean para diferentes fines o propósitos: cosméticos, terapéuticos y dietéticos (Madawala *et al.*, 2012). A pesar de sus beneficios, el consumo de estos alimentos es menor al recomendado (190 g/semana) por la Administración de Alimentos y Fármacos de los Estados Unidos de América (FDA, por sus siglas en inglés) (Luna-

Guevara *et al.*, 2012). Para corregir de manera parcial el citado déficit, algunos estudios sugieren el consumo de aceite de frutos secos por sus efectos benéficos en la salud, posiblemente debido al aporte de compuestos bioactivos liposolubles (Lugasi, 2009; Orona-Castillo *et al.*, 2019). En este contexto, en 2009 la Organización Mundial de la Salud, dio a conocer que en 2005 murieron 17.5 millones de personas por enfermedades cardiovasculares, lo cual representa un 30 % de todas las muertes registradas a nivel mundial (Quiñones *et al.*, 2012). Esta alarmante estadística, sumada al incremento de enfermedades cardiovasculares y diabetes ha provocado que, en la actualidad el ser humano busque alternativas para conservarse sano y sentirse mejor, por lo que el mercado de los compuestos bioactivos ya sea como suplementos alimenticios, productos nutraceúticos, o incluso farmacéuticos se ha estado incrementado de manera vertiginosa (Domínguez-Avila *et al.*, 2015; Noperi-Mosqueda *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2021; Sun & Shahrajabian, 2023; de Luna *et al.*, 2023).

Es ampliamente conocido que el consumo de frutas y verduras reduce, significativamente, las enfermedades cardiovasculares, diversos tipos de cáncer y su potencial para reducir los niveles de lípidos, asociados a su gran riqueza en compuestos antioxidantes, vitaminas, fibras y minerales, destacando entre ellas la nuez, por su elevado valor nutricional (Berradre *et al.*, 2013).

Debido a la trascendencia que ha adquirido, y al recientemente crecimiento de superficie sembrada en la Comarca Laguna, es crucial para los productores agrícolas, conocer el perfil de compuestos bioactivos en estos frutos y su relación con las propiedades químicas del suelo, lo que permitiría agregar valor a su producto en los mercados (Orona-Castillo *et al.*, 2013).

Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo realizar la caracterización fitoquímica del aceite de nuez (*Carya illinoensis*), así como las determinaciones de propiedades químicas de los suelos de cada unidad de producción, para establecer las correlaciones entre ambas variables y conocer cómo estas influyen en la producción de compuestos bioactivos del aceite. Se busca, específicamente, determinar la composición fitoquímica y la capacidad antioxidante del aceite de nuez en diferentes huertas, analizar las propiedades químicas del suelo de cada huerta, y establecer cómo estas influyen en el contenido de compuestos bioactivos del aceite. La hipótesis de este estudio plantea que el contenido de compuestos bioactivos en el aceite de nuez producido en la Comarca Lagunera varía en función de las propiedades químicas y nutricionales del suelo, siendo más elevado cuando las condiciones son favorables.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Origen del nogal

Orona-Castillo *et al.* (2013), mencionan que el nogal proviene del norte de México y del sur de Estados Unidos de Norteamérica, abarcando un área de distribución natural desde el suroeste de Indiana hasta el este de Texas en Estados Unidos, y desde el norte de Coahuila hasta el sur de Tamaulipas en México. En México el estado que inicio con las plantaciones de nuez fue Nuevo León, teniendo sus inicios con sus primeras plantaciones comerciales durante el año de 1904.

Su nombre “pecán” o “pecana” deriva de una palabra del idioma indio algonquin “*Pakan*”, haciendo referencia al fruto como “nuez que requiere una piedra para romperse” (Doreste, 2011).

### 2.2 Estructura y morfología (Descripción botánica)

Retes-López *et al.* (2021), describen al nogal como un árbol de gran tamaño, capaz de alcanzar más de 30 metros de altura, de larga vida y vigor, comenzando su producción de los 6 a los 10 años posteriores a su plantación y manteniendo producción comercial durante más de 40 años, pertenece a la familia de Juglandácea, que comprende plantas arbóreas que producen drupas que cuentan con mesocarpio, pericarpio y endocarpio (cáscara) que secan durante su fase de maduración, mientras que la semilla es considerada la nuez.

#### 2.2.1 Raíz

Es una raíz pivotante sin pelos absorbentes provocando que la asimilación de nutrientes dependa de hongos micorrizicos, a partir del tercer año la raíz se vuelve semifibrosa, crece horizontalmente y verticalmente alcanzando un tamaño similar al

área que abarca el follaje de hasta 20 m de distancia del tronco y hasta 4 m de profundidad en su madurez (Muncharaz-Pou, 2012).

### 2.2.2 Tronco

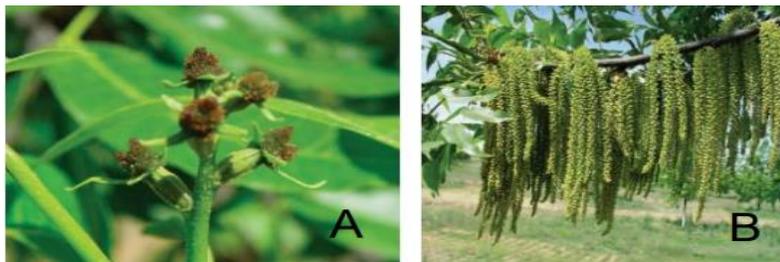
Se caracteriza por tener corteza gris plateada cuando es joven, con el tiempo se torna agrietado y de tonos marrones, de crecimiento recto y ramificaciones, pueden alcanzar hasta 4 m de diámetro, la altura del tronco es determinada por la poda de formación (Muncharaz-Pou, 2012).

### 2.2.3 Hojas

Son de carácter caducifolias, alternas, imparipinnada (número impar), compuesta de cinco a nueve folíolos ovales, peciolados de forma oblonga lanceoladas, acuminadas y con bordes semicerradas de 11 a 17 cm longitud, presentan pubescencia cuando son jóvenes y lampiñas en la madurez a excepción de las nervaduras (CSIC, 2015).

### 2.2.4 Flor

Es una fanerógama monoica que presenta flores unisexuales femeninas y masculinas, de amentos colgantes y estambres erectos en las masculinas, mientras que las femeninas se presentan en estructuras péndulas. De polinización por medio de viento (anemófila) (Urrea-López & Urzúa-Esteva, 2016).



**Figura 1:** Flores del nogal pecanero. A) Flor femenina y B) Flor masculina.

Fuente: (Tarango-Rivero, 2012)

### 2.2.5 Fruto

Botánicamente clasificado como un drupáceo, se encuentran agrupados de uno a cuatro, sobre un pedúnculo corto, son drupas dehiscentes con cubierta carnosa (el pericarpio) y el ruezno (el mesocarpio), mismo que cuando secan se hacen cuatro valvas que dan salida a la parte leñosa, al endocarpio que es el tejido leñoso o cáscara de la semilla, la parte que se encuentra cubriendo la almendra de nuez, reducida a un embrión de dos cotiledones, siendo esta la parte comestible (González & Lemus, 2020). La almendra del fruto llega a pesar únicamente entre el 40 y 50 % del peso total de la nuez con cascara (Reyes-Vázquez, 2016).

### 2.3 Clasificación taxonómica

El género *Carya*, perteneciente a la familia Juglandaceae, abarcando poco más de 20 especies dentro de las cuales únicamente siete son las cultivadas por sus nueces, en México la especie más ampliamente distribuida es *Carya Illinoensis* la cual se puede encontrar hasta el sur de Oaxaca, además de ser la única con importancia económica a nivel mundial (Reyes-Vázquez & Urrea-López, 2016; SNICS, 2017).

Dominio: Eukaryota

Reino: Plantae

División: Spermatofitas

Subdivisión: Angiospermas

Clase: Dicotiledóneas

Familia: Juglandáceae

Género: *Carya*

Especie: *illinoensis* (Koch)

Se ha descrito al nogal como una especie perenne, perteneciente a la familia Juglandácea y al grupo de alimentos de las oleaginosas, grupo de alimentos que

está conformado por cacahuates, almendras, pistaches, ajonjolí, semillas de girasol, pepitas, por mencionar algunos (SADER, 2021).

#### 2.4 Variedades de nogal

Actualmente la industria Pecanera emplea muy pocos cultivares de los cientos conocidos; “Desirable”, “Stuart” y “Schley” por mencionar algunos se cultivan en la zona Este de Estados Unidos de América, en el Oeste y en México “Western” y “Wichita” (Cervantes-Vázquez *et al.*, 2018); por su parte Orona-Castillo *et al.* (2006) destacan a que en la Comarca Lagunera la variedad Western se encontraba en el 100 % de los huertos, Wichita en 62 % y en una menor proporción reportan las variedades Choctaw, Fructuoso, Cheyenne, Barton y Mahan. Por otro lado, Cervantes-Vázquez *et al.* (2018) menciona en su obra “Análisis comparativo de huertos de nuez Pecanera (*Carya illinoensis* Koch en la Comarca Lagunera” que la variedad Wichita es la más utilizada en este sitio, en combinación con variedades como la Western, siendo estas variedades las de mayor importancia.

#### 2.5 Dicogamia

Urrea-López & Urzúa-Esteva (2016) afirman que gran parte de los cultivares muestran dicogamia incompleta, donde hay lapsos asincronía en la liberación de polen y recepción del estigma, esta falta de sincronía en el desarrollo floral requiere la utilización de varios cultivares en una misma plantación para garantizar una polinización efectiva, por esta razón, en el oeste de Estados Unidos y en México para la producción comercial se emplean Western, Schley y Wichita, la Wichita como polinizador, la Western presenta menor grado de dicogamia, su periodo de

receptividad es bien cubierto por el periodo de liberación de la variedad Wichita y a su vez la Wichita es bien polinizada por Western.



**Figura 2:** Fechas promedio de receptividad de estigma (—) y liberación de polen (....) de dos variedades de nogal en dos regiones de Chihuahua. O= en Ojinaga, D= en Delicias.

Fuente: (Tarango-Rivero, 2012)

## 2.6 Fenología del nogal

La “fenología” estudia el comportamiento de plantas y animales en un hábitat determinado; mide y fecha la ocurrencia de las fases fenológicas con relación al clima (Tarango-Rivero, 2012).



**Figura 3:** Fenología del árbol de nogal.

Fuente: (Tarango Rivero, 2012)

En México la producción se obtiene en los meses de octubre a diciembre (Retes-López *et al.*, 2021).

## 2.7 Principales plagas

Las plagas son un problema fitosanitario muy común el cultivo de nogal (Tarango-Rivero, 2012); el clima de cada zona juega un papel de suma importancia que determina la presencia de plagas y enfermedades, a mayores temperaturas la incidencia incrementa (Grageda-Grageda *et al.*, 2014).

Los insectos al alimentarse intensivamente la savia del nogal reducen el potencial productivo, debido a la disminución de los carbohidratos accesibles en la planta reflejándose en la formación de flores y el desarrollo de la almendra (Urrea-López y Urzúa-Esteva, 2016).

Dentro de las principales plagas del nogal pecanero, podemos encontrar el barrenador ambrosial de la madera (*Euplatypus segnis*) y pulgones entre los que

destacan el pulgón amarillo (*Monelliopsis pecanis*), pulgón gigante (*Longistigma caryae*), pulgón amarillo de márgenes negros (*Monellia caryella*) y salivazo (*Clastoptera achatina*) (Flores-Gallardo, 2014), además se presentan plagas de gusano barrenador del ruezno (*Cydia cariana*) y gusano barrenador de la nuez (*Acrobasis nuxvorella*), estas últimas dos de mayor incidencia e importancia económica, cuando se presentan durante el crecimiento en julio causan caída de los frutos y durante el llenado de la nuez a finales de agosto y septiembre afectan la calidad de la almendra (Tarango-Rivero *et al.*, 2013).

Cervantes-Vázquez *et al.* (2018) menciona que a mayor tamaño de huerto existe menor incidencia de número de plagas lo cual atribuye a que los grandes productores cuentan con mayor financiamiento que les permite atender oportunamente plagas.

## 2.8 Principales enfermedades

**Cuadro 1:** Principales enfermedades que afectan al nogal.

<b>Agente causal</b>	<b>Enfermedad</b>
<b><i>Gnomonia leptostyla</i></b>	(Antracnosis)
<b><i>Phytophthora cinnamomi</i></b>	(Tinta del Nogal)
<b><i>Armillaria mellea</i></b>	(Podredumbre blanca de la raíz)
<b><i>Xanthomonas arboricola</i> pv. <i>juglandis</i></b>	(Bacteriosis o mal seco)
<b><i>Brown Apical Necrosis [BAN]</i></b>	(Necrosis apical)

Fuente: Rodríguez-Hernández, (2021)

Según su área de incidencia se agrupan las enfermedades del sistema radicular donde se encuentra la Tinta, provocada por el hongo *Phytophthora cinnamomi*, entre las enfermedades de follaje y fruto se encuentra la Bacteriosis y Antracnosis, esta última se presenta cuando es favorecida por un tiempo húmedo y fresco, que facilita la producción del hongo *Gnomonia leptostyla* (MAPA, 2019).

## 2.9 Requerimientos climáticos

El nogal para poder desarrollar sus procesos fisiológicos como lo son la formación de yemas, y fructificación, tiene la necesidad de pasar un determinado número de horas por debajo de una temperatura dada durante su periodo de dormancia o reposo en el invierno comprendido de diciembre a febrero (Tarango-Rivero, 2012; González & Gamalier, 2010).

### 2.9.1 Temperatura

Es un factor abiótico que genera daños directamente al cultivo, ocasionados por déficit de horas frío, junto con eventos climáticos como heladas, ráfagas de viento, radiación solar, granizo e incluso las sequias, al mismo tiempo que influyen en el desarrollo de plagas, enfermedades y desórdenes fisiológicos (Villapando y Ruiz, 1993).

Su temperatura adecuada comprende de 25° a 30°C, con una temperatura promedio de 26.7 °C en general, durante los meses más fríos necesita un rango térmico medio que oscile entre 7.2 °C y 12.3 °C (Medina-Morales & Cano-Ríos, 2002).

### 2.9.2 Humedad relativa (HR)

Cuando se tiene HR superior al 80 % durante la polinización, ésta se limita a causa de falta de apertura de las anteras y el polen no puede ser liberado, altos porcentajes de HR causan brotación de la nuez en el interior del ruzno antes de la cosecha, favorecen la propagación de enfermedades fungosas, y por el contrario cuando hay condiciones de baja humedad relativa durante la polinización den grano de polen tiende a deshidratarse (Brison, 1976; Medina-Morales & Cano-Ríos, 2002).

## 2.10 Requerimientos edáficos

El nogal se adapta a casi cualquier tipo de suelo, tan sólo debe cumplir con un buen drenaje y tener un pH neutro (Hhusqvarna, 2019), suelos con texturas desde migajón arenoso hasta migajón arcilloso, suelos de origen aluviales, con profundidades de 1 a 1.5 m, sueltos, de buena fertilidad, permeables, el pH ideal oscila entre 5.4 y 8.4, siendo 4 el límite inferior aceptable y 9.5 el superior (Villaseca, 2007); mientras que por su lado Madero *et al.* (2016) considera que el suelo ideal para la plantación de pecan debe ser un suelo con un pH entre 6-6.8 y bien drenado.

### 2.10.1 Fertilización

Es una especie de altos requerimientos nutricionales, gasto energético elevado debido a la gran cantidad de aceite que produce, es por ello que sus procesos fisiológicos son de mayor gasto energético en comparación de otros frutales (Lara, 2010).

Orona-Castillo *et al.* (2013) mencionan que en el norte de Coahuila, las huertas son atendidas nutrimentalmente para alcanzar mejores niveles productivos, se realizan fertilizaciones al suelo aplicando sulfato de amonio como fuente nitrogenada, dividido en los meses de marzo, abril y mayo, mientras que para fertilizaciones foliares se aplica zinc y manganeso; por su parte Cruz-Alvarez *et al.* (2020) recalcan que se ha realizado diversas investigaciones en las cuales han concluido de que la fertilización nitrogenada y la disponibilidad de agua son dos de las principales limitantes para la obtención de mayores rendimientos y mejor calidad de la nuez en el nogal pecanero.

### 2.10.2 Salinidad

El nogal no tolera suelos salinos ni altas concentraciones de boro, necesita agua de riego con menos de 1,200 ppm de sales y suelos con menos de 1 ppm de boro (Upson *et al.*, 2012); un contenido elevado de sales presentes en el suelo suele ocasionar un aumento en el pH, lo cual actúa interfiriendo en la capacidad de las plantas para absorber nutrientes y desencadena acumulación de estos en las capas superficiales del suelo, dificultando de forma progresiva el flujo de agua hacia el sistema radicular de los árboles (Urrea-López & Urzúa-Esteva, 2016), el valor tolerado de conductividad eléctrica es de 1.8 dS/m y el valor crítico 4.8 dS/m (Villaseca, 2007).

### 2.10.3 Propiedades químicas del suelo

Por lo que refiere a propiedades químicas del suelo destacan el nivel de Capacidad de intercambio Catiónico (CIC), el pH, la materia orgánica y la Conductividad eléctrica (CE); la CIC es un factor que indica la habilidad de suelos a retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes para la planta y su pH potencial entre otras (FAO, 2024).

**Cuadro 2:** Clasificación capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

Clase	CIC (Cmol(+) Kg <sup>-1</sup> )
Muy alta	> 40
Alta	25 - 40
Media	15 - 25
Baja	5 - 15
Muy baja	> 5

Fuente: DOF, 2002

El valor del pH determina el grado de adsorción de iones (H<sup>+</sup>) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino, un suelo con valores de pH <5.5 son

muy ácidos y tienden presentar cantidades elevadas y tóxicas de aluminio y manganeso, un pH >8.5 son suelos muy alcalinos y tienden a dispersarse, para los cultivos agrícolas el valor del pH ideal se encuentra en 6.5 (FAO, 2024), por su parte el DOF (2002) clasifica valores de pH < 5.0 como fuertemente ácidos, 5.1- 6.5 moderadamente ácido, 6.6 - 7.3 neutro, 7.4 - 8.5 medianamente alcalino y > 8.5 fuertemente alcalino.

Mientras que el porcentaje de materia orgánica se evalúa a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black (DOF, 2002), la encargada de mejorar las propiedades físicas del suelo, aumenta la Capacidad de Intercambio Catiónico, la retención de humedad y contribuye con estabilidad de suelos arcillosos al ayudar a aglutinar las partículas para formar agregados (FAO, 2024).

**Cuadro 3:** Valores de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica en los suelos minerales y volcánicos.

Clase	Materia orgánica (%)	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
<b>Muy bajo</b>	< 4.0	< 0.5
<b>Bajo</b>	4.1 - 6.0	0.6 - 1.5
<b>Medio</b>	6.1 - 10.9	1.6 - 3.5
<b>Alto</b>	11.0 - 16.0	3.6 - 6.0
<b>Muy Alto</b>	> 16.1	> 6.0

Fuente: DOF, (2002)

La conductividad eléctrica uno de los índices empleados para evaluar la concentración salina del suelo, es una medida de la capacidad de un material para transportar la corriente eléctrica (DOF, 2002).

**Cuadro 4.** Clasificación de suelos según su CE.

<b>CE dS m<sup>-1</sup> a 25°C</b>	<b>Efectos</b>
< 1.0	Efectos despreciables de la salinidad
1.1 - 2.0	Muy ligeramente salino
2.1 - 4.0	Moderadamente salino
4.1 - 8.0	Suelo salino
8.1 - 16.0	Fuertemente salino
> 16.0	Muy fuertemente salino

Fuente: DOF, (2002)

### 2.11 Requerimientos hídricos

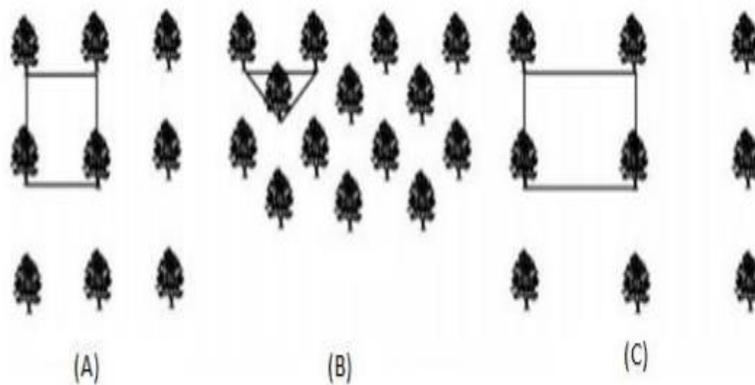
Estos requerimientos van incrementando conforme aumenta la edad del árbol (Orona-Castillo *et al.*, 2006), con rangos de 1 170 y 1 310 mm por año para los arboles adultos por lo que se considera un cultivo de alta demanda (Sifuentes-Ibarra *et al.*, 2015).

El factor hídrico es determinante respecto al comportamiento fisiológico “alternancia productiva”, ya que al haber deficiencia de agua se afecta el crecimiento celular, inhibición de transporte de nutrientes, translocación de fotosintatos dentro de la planta, fotosíntesis e incluso ocasionando deficiencia de brotes florales que por ende reduce la cantidad, tamaño y calidad de la nuez (Allan *et al.*, 2006), en este mismo sentido la calidad de las nueces se ve afectada negativamente cuando los árboles experimentan estrés por falta de agua durante la etapa de llenado del fruto (Urrea-López & Urzúa-Esteva, 2016), de aquí la necesidad de proporcionar suministro hídrico a lo largo del ciclo del cultivo, especialmente en los meses de agosto y septiembre durante la fase de llenado de la nuez con el fin de optimizar su productividad, calidad y rentabilidad (Sammis *et al.*, 2004), el riego es determinante en el tamaño de la nuez, se ha observado que los árboles que cuentan con mayor

disponibilidad de humedad registran mayor longitud y el diámetro de nuez (Rodríguez-González *et al.*, 2021).

## 2.12 Sistemas y densidad de plantación

En la actualidad se busca incrementar la densidad de población de árboles por hectárea, entre los marcos de plantación más empleados se pueden encontrar  $6 \times 12 \text{ m} = 139$  árboles por hectárea,  $8 \times 8 \text{ m} = 156$  árboles por hectárea y  $6 \times 10 \text{ m} = 166$  árboles por hectárea, con la finalidad de lograr una mayor rentabilidad (Esquer-Parra, 2010). En lo que respecta a sistemas de plantación se encuentra el sistema cuadrado o marco real, el triangular o tresbolillo y el rectangular. (Arreola-Avila & Legarda-Murrieta, 2002).



**Figura 4:** Diseños de plantación utilizados en huertas de nogal pecanero. A) Cuadrado o marco real. B) Triangular o tresbolillo y C) rectangular.

Fuente: (Arreola-Avila & Legarda-Murrieta, 2002).

## 2.13 Prácticas culturales

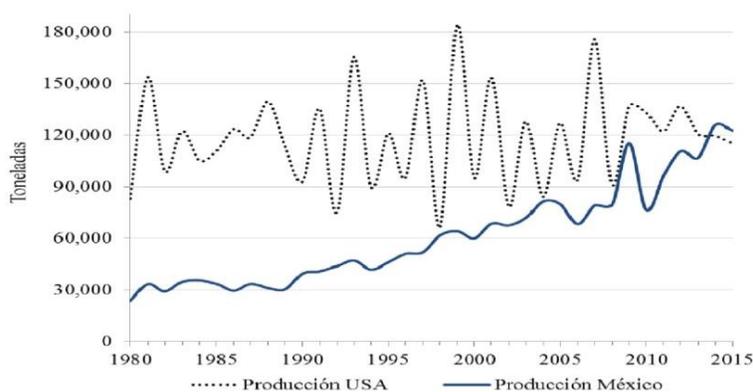
Son el conjunto de labores realizadas en las huertas, comprende la cosecha, fertilización, poda entre otras, esta última es una de gran importancia, ya que permite al frutal un mayor ingreso de luz y por lo tanto mayor fotosíntesis, promueve más brotes terminales, rejuvenece árboles, incrementa rendimiento y calidad debido

a la relación hoja-fruto, mayor fitosanidad, reduce alternancia, y favorece mayor porcentaje de ramas fuertes aptas de mantener la cosecha y evitar el sombreado, los tres principales tipos de podas son la de formación, producción o fructificación y rejuvenecimiento o aclareo (Arreola-Avila *et al.*, 2002).

Orona-Castillo *et al.* (2006) señala que la poda se efectúa en los meses de enero-febrero, mientras que el período de cosecha se realiza entre los meses de octubre y noviembre, la época habitual para realizar la poda es durante la etapa de dormancia (Madero *et al.*, 2016).

#### 2.14 Producción a nivel internacional

En el año 2010, la producción mundial de nuez pecanera en cáscara (*Carya illinoensis*) fue estimada en aproximadamente en 210 000 t, de los cuales un 72 % fue proveniente de Estados Unidos, un 25 % de México y el resto fue aporte de países como Australia, Sudáfrica, Israel, Brasil, Argentina, Perú y Egipto, por si fuera poco, Estados Unidos no únicamente exportan, sino que también importan nueces con cáscara provenientes de México (Ojeda-Barrios *et al.*, 2010).



**Figura 5:** Comportamiento del volumen de la balanza comercial internacional de nuez pecanera de México en el periodo 1980 a 2015.

Fuente: (Suárez Jacobo *et al.*, 2016)

Para 2017 México alcanzó la sexta posición como productor de nuez, el segundo específicamente en producción de nuez pecanera y primero en exportar esta variedad (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas [SNICS], 2017), por su lado hidroponía.mx (2017) menciona también que para 2017 a nivel mundial el sexto lugar como productor lo ocupó México, donde 97 % de la producción fue nuez pecana.



**Figura 6:** Distribución geográfica de nogales pecanero en América del norte en 2014.

Fuente: (Suárez Jacobo *et al.*, 2016)

Orona-Castillo *et al.* (2019) enfatiza que México se ubicó como el segundo país productor de nuez pecanera y el primer exportador de este producto en el mundo; mientras el SADER (2021), menciona que durante el lustro 2016-2020 el principal productor mundial de nuez de nogal fue México, con una participación de 52 %, seguido por Estados Unidos y Sudáfrica.

## 2.15 Producción de nogal en México

De acuerdo con Morales-Magallanes *et al.* (2020) en México las primeras plantaciones de nogal a nivel comercial se iniciaron en el estado de Nuevo León para el año 1904, Chihuahua en el año de 1946, mientras que en la Comarca Lagunera se inició la explotación hasta el año 1948.

Ojeda *et al.* (2010) menciona que para el año 2010 la distribución del nogal se encontraba en catorce estados, de los cuales destacan los estados de Nuevo León, Coahuila y Chihuahua, en ese mismo año las principales regiones con mayor producción de nuez en el país fueron Chihuahua con 45.6 %; Sonora con un 25.4 %; Coahuila con 12.5 %; Nuevo León con 7.6 % e Hidalgo con participación de 3.8 %, logrando conjuntamente aportar el 95 % del total que se produjo nacionalmente (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2017).

Ya para el 2020 los estados mexicanos que mayor producción reflejaron fue Chihuahua con un 63.14 %, Sonora 13.39 %, Coahuila 10.83 % y Durango 5.74 %, con participaciones respectivamente (Morales-Magallanes *et al.*, 2020); en el año 2021, chihuahua seguía posicionándose como el principal estado productor con participación de 62.9 % y una tasa media anual de crecimiento de 5.4 %, seguido de Sonora con una participación de 14.3 % y Coahuila con 10.7 % (SADER, 2021). Más recientemente el SIAP, (2024b) indico que, en México, la presencia del nogal pecanero incremento pasando de estar de 14 a 17 entidades del país, siendo los centros más importantes de la distribución natural del nogal los estados del norte, abarcando Chihuahua, Sonora, Coahuila, Durango y Nuevo León; estos a su vez fueron los estados de mayor producción (Cervantes Vázquez *et al.*, 2018).

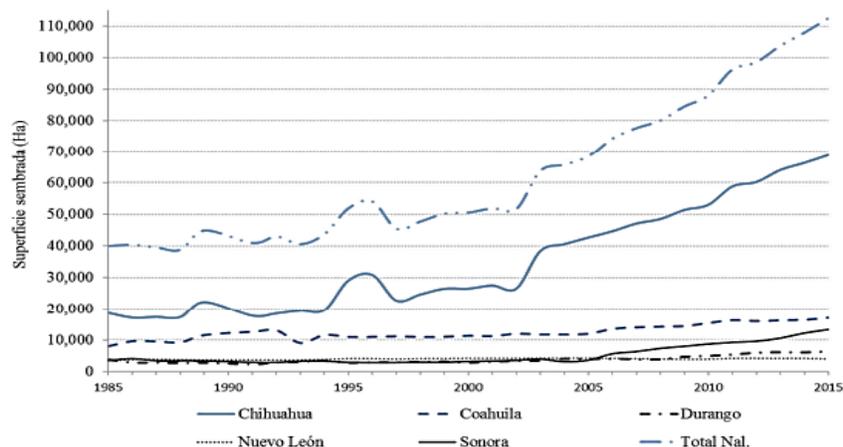
## 2.16 Producción en la Comarca Lagunera

En la Comarca Lagunera se inició cultivo de huertas de nogal pecanero para los años de 1948 (Morales-Magallanes *et al.*, 2020), para el año 2013 La Comarca Lagunera ocupó el cuarto lugar a nivel nacional de superficie sembrada con 8,641.99 ha, ubicándose por debajo de Chihuahua y por encima de Durango, las variedades de nuez que se cultivan en la región son la Western en un 65.73 %, Wichita el 30.58 %, Criolla con 3.44 % y Choctaw con un 0.04 % de la superficie destinada a la producción (Cervantes-Vázquez *et al.*, 2018).

Para Coahuila, el nogal representa un recurso económico significativo debido a que tiene un valor de 1,371 millones de pesos, con presencia en 34 municipios, donde los de mayor área sembrada San Pedro (25 %), Parras (10 %), Zaragoza (10 %), Villa Unión (7 %) y Morelos (6 %) (Sánchez, 2021).

## 2.17 Superficie sembrada en México

A nivel nacional ha presentado un crecimiento acelerado en cuanto al área sembrada, impulsado principalmente por la demanda internacional, mismo que lo llevado a aumentar el triple su área en comparación con los últimos 30 años, donde las principales entidades con aumento han sido Sonora con 3.8 veces, Chihuahua con 3.7, Coahuila con 2.1, Durango 1.7 y Nuevo León con incrementos 1.2 veces, tal y como se muestra en la siguiente gráfica (Urrea-López & Urzúa-Esteva, 2016). Hasta el año 2020 la superficie nacional del cultivo se mantenía en 108,771 hectáreas cosechada (Retes-López *et al.*, 2021).



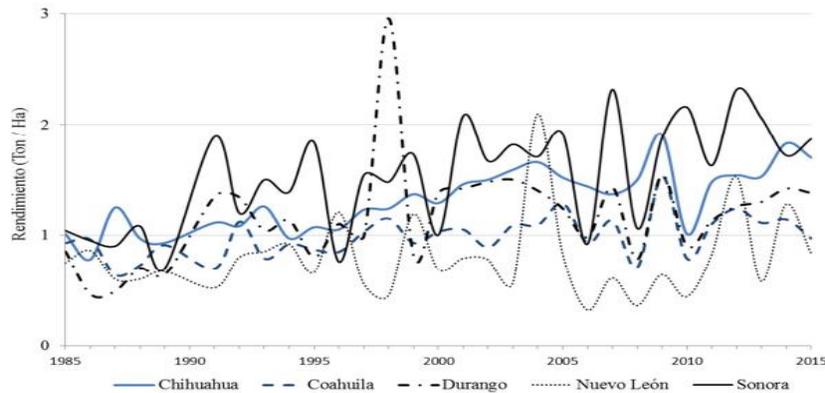
**Figura 7:** Comportamiento de superficie sembrada en el periodo 1985-2015.

Fuente: (SIAP, 2016)

Recientemente Sánchez (2021) revela que en México la superficie sembrada de nuez pecanera ha pasado de 38,904 hectáreas en 1980 a 141,492 hectáreas en 2020. De acuerdo a datos extraídos del Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, para el año 2020 en México había sembradas 144,653.41 Ha destinadas a la producción de nuez mientras que para el 2023 se contaba con 166, 839.64 Ha, reflejando un costo de producción de 11,139,012.10 miles de pesos, donde se obtuvo un rendimiento de 1.39 ton/Ha (SIAP, 2024a), actualmente la presencia de huertas de nogal se ha extendido a 17 estados donde siguen estando en el Top 5 de producción Chihuahua, Sonora, Coahuila, Durango y Nuevo León, principales estados del norte mexicano (SIAP, 2024b).

## 2.18 Rendimientos en nogal

La productividad y rendimiento del nogal depende de cómo se encuentre integrada la relación clima-suelo-manejo, englobando el control de plagas/enfermedades, poda, nutrición, riego, tipo de suelo y horas frío (Tarango-Rivero, 2012).



**Figura 8:** Comportamiento del rendimiento en la producción de nuez pecanera en el periodo 1985 a 2015, en los principales estados productores a nivel nacional.

Fuente: (Suárez Jacobo et al., 2016).

Sumado a que el nogal pecanero muestra variaciones en su producción debido la reducción de sus reservas energéticas de la planta después de un año muy productivo, esta alternancia se observa posteriormente a años con alta producción y el año siguiente se presentan producciones menores (Urrea-López & Urzúa-Esteva, 2016).

### 2.19 Condiciones climáticas en la Comarca Lagunera

Es una zona localizada al norte-centro de México, conformada de 15 municipios, cinco del suroeste del estado de Coahuila y 10 del noreste del estado de Durango, presenta un clima seco y desértico, con una precipitación media anual de 220 mm y una altitud promedio de 1,100 metros sobre el nivel del mar (Orona-Castillo *et al.*, 2006), durante los meses junio a septiembre, es donde mayor precipitación se presentan, históricamente, las precipitaciones mensuales alcanzan promedios de 30 mm en junio, 42.8 mm en julio, 40.9 mm en agosto y 51.6 mm en septiembre, en el restos de los meses presentan precipitaciones menores a los 20 milímetros (SADER, 2024).

### 2.19.1 Temperatura

La Comarca Lagunera se distingue por la escasez de recursos hídricos y por su clima árido, con veranos extremadamente calurosos que pueden alcanzar los 45.3 °C, e inviernos fríos con temperaturas que oscilan entre los 8 °C y 0 °C, llegando en ocasiones hasta los -7 °C (SADER, 2024).

### 2.19.2 Humedad relativa

La característica climática de la región es su ambiente seco semiárido, con una humedad relativa anual promedio de 24 % durante la sequía y de 78 % en los meses de máxima lluvia (Canedo, 2021).

### 2.20 Características de los suelos en la Laguna

Los estados de Chihuahua, Coahuila, Sonora, Durango y Nuevo León, en el norte de México, poseen suelos calcáreos con altos niveles de carbonatos y un pH elevado, lo que los convierte en suelos alcalinos y restringe la biodisponibilidad de ciertos nutrientes, especialmente los micronutrientes (Hernández-López *et al.*, 2020).

### 2.21 Importancia económica

Representa excelente derrama económica principalmente en el norte de México y sur de los Estados Unidos, en el 2015 se estimó una derrama de más de \$ 15 millones de dólares, favorecida por las exportaciones a Estados Unidos, principal país al que se le exporta este producto, se ha posicionado como un producto agrícola importante en la generación de divisas (Reyes-Vázquez *et al.*, 2016; Suarez-Jacobo & Urzúa-Esteva, 2016).

Además, México y Estado Unidos realizan exportaciones favoreciendo la economía de su país respectivamente, cuentan como principal mercado las importaciones que

son destinadas al mercado europeo, donde se tiene mayor consumo y demanda de nueces (Cervantes-Vázquez *et al.*, 2018).

### 2.22 Usos de la nuez

En el 2019, el 56 % del consumo de nuez estuvo directamente en los hogares y el otro 44 % se empleó con fines de uso industrial, específicamente en la industria de alimentos, en elaboración de suplementos alimenticios así como de cosméticos y productos de cuidado personal representando el 87.8 %, 10 % y 2.2 % respectivamente (Orona-Castillo *et al.*, 2019); más allá de sus usos en pastelerías, panaderías, bisqueterías, confiterías, neverías y dulcerías (Morales-Magallanes *et al.*, 2020), también se consume como fruta seca ya que cuenta con un alto valor nutritivo, tiene usos en la industria alimentaria, empleándose extrayendo sus compuestos bioactivos para incluirlos en suplementos alimenticios y productos nutraceutico, en la elaboración de cosméticos o incluso farmacéuticos (Cervantes-Martínez *et al.*, 2016), generalmente se recomienda consumir 45 gramos al día (Zavala, 2024). Al ser empacada al vacío o en nitrógeno alcanza hasta 12 meses de vida de anaquel lo que favorece su empleo y disponibilidad durante todo el año (Cervantes-Vázquez *et al.*, 2018).

### 2.23 Propiedades nutricionales de la nuez

La nuez se caracteriza por su gran contenido nutricional, como una excelente fuente de energía, proteínas de origen vegetal, ricas en minerales como calcio, hierro, magnesio, potasio y vitaminas, ofrecen gran aporte de compuestos antioxidantes y grasas saludables (grasas insaturadas), aproximadamente 100 gramos de nuez pueden contener 5-11 gramos de fibra dietética (SADER, 2021). Además, cuenta un alto contenido de ácidos grasos, proteínas, y bajo contenido en carbohidratos

haciéndola una oleaginosa de gran interés para ser incluida en dietas balanceadas y saludables, según la variedad el porcentaje de lípidos fluctúa entre el 69 al 72 %, proteínas 10 y 7.8 % de fibra cruda (Flores-Amaro *et al.*, 2022).

Montoya-Ballesteros *et al.* (2010) mencionan que en el aceite de las nueces el porcentaje de grasas, proteínas y carbohidratos siempre estará en función a la variedad, condiciones ambientales, composición del suelo y prácticas culturales; en ese mismo entendido Domínguez-Ávila *et al.* (2013), afirmaron que la concentración de estas moléculas en el aceite de nuez puede variar por factores en donde crece el árbol ya que están expuestas a diferentes condiciones como clima, prácticas de cultivo, características del suelo, edad del árbol, sistemas de extracción, procesos de refinación y condiciones de almacenamiento entre otras, las cuales en conjunto afectarán la calidad alimenticia de la nuez. Noperi-Mosqueda *et al.* (2019) por su lado mencionan que el contenido de compuestos bioactivos puede variar considerablemente dependiendo de la variedad, su madurez, las condiciones ambientales en las que se cultiva, los métodos de cultivo empleados, el proceso de fertilización e incluso la composición del suelo. Por su parte, Fawole y Opara (2013) consideran que están directamente asociadas a elementos genéticos y condiciones ambientales, específicamente a las propiedades físico-químicas de los suelos donde son cultivados; más recientemente Tavakoli *et al.*, (2022) y Sun & Shahrajabian, (2023), coinciden a que la variación del contenido de estos metabolitos secundarios están ampliamente dados en respuesta de las vías bioquímicas ante el estrés, evolución y adaptación de las plantas provocado factores bióticos (patógenos y depredadores) y abióticos de su sitio geográfico (clima, UV, precipitación, humedad relativa, materia orgánica y salinidad en el suelo).

## 2.24 Nuez de nogal como alimento nutraceútico

La nuez se ha clasificado como parte del grupo de alimentos nutraceúticos ya que además de contribuir a saciar el hambre y gracias a su contenido de compuestos bioactivos promueven el estado de salud, y es una buena fuente de grasa, fenólicos y proteínas (Kafkas *et al.*, 2020), su alto contenido de grasas insaturadas es un factor clave en la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, y su consumo regular se ha asociado con mejoras en el perfil lipídico y una disminución en los niveles de glucosa en humanos, además, de destacar por su riqueza en compuestos fenólicos y su notable actividad antioxidante (Noperi-Mosqueda *et al.*, 2019).

Flores-Córdova *et al.* (2016) mencionan existe una correlación entre la ingesta de nuez, que es rica en compuestos fenólicos, y una disminución en la incidencia de enfermedades cardiovasculares, así como efectos favorables sobre enfermedades crónicas, pulmonares obstructivas y la diabetes tipo 2; por su parte (Kafkas *et al.*, 2020) como conclusión de sus estudios realizados durante su investigación indican que las nueces son una muy buena fuente natural de ácidos grasos insaturados, fenoles y proteínas, mismos que la mayoría se ha informado que genera efectos positivos sobre el estado de salud. Además, la ingesta de frutos secos se ha relacionado con una reducción de los niveles séricos de lípidos y estrés oxidativo, estos efectos se han atribuido al aceite, pasando por alto la posible contribución de los polifenoles (Domínguez-Ávila *et al.*, 2015).

## 2.25 Métodos de extracción de aceite de nogal

La extracción de aceite de nuez pecanera suele llevarse a cabo mediante métodos del tipo convencional como el prensado (extrusión), y no tradicionales como el

realizado con fluido supercrítico a nivel laboratorio, el solvente más empleado es el etanol ya que las pequeñas cantidades residuales que pueden quedar al finalizar el proceso no afectan su viabilidad en usos cosméticos o nutracéuticos (Cervantes-Martínez *et al.*, 2016), también puede realizarse mediante técnicas de prensado en frío o en caliente, mediante extracción química donde generalmente sus rendimientos de aceite fluctúan desde el 60 al 90 % aproximadamente (Toro-Vazquez *et al.*, 1999).

Cuando se extraen los aceites usando prensas o se extraen de tejidos animales o vegetales como la nuez suelen contener materiales como ácidos grasos libres, fosfolípidos, materia mucilaginosa, materia saponificable; componentes relacionados con el sabor y el olor, tales como esteroides, vitaminas, antioxidantes, junto con distintos alcoholes, ésteres, hidrocarburos y triglicéridos (Embree, 1941). Por su parte, cuando se busca separar y cuantificar los principales polifenoles en la cáscara o almendra de nuez, como los flavonoides, fenólicos totales, taninos, carotenoides, tocoferoles y fitoesteroides, demanda el uso de herramientas analíticas altamente sensibles y específicas (Martínez *et al.*, 2016). Son diversos los factores que afectan la eficiencia de extracción de distintos compuestos, entre los que se encuentra la naturaleza del material del cual se extrae, el solvente empleado, condiciones en las que se realiza la extracción como el tiempo, temperatura por mencionar algunos (Ramesh-Kumar & Keum, 2016).

## 2.26 Aceite de nuez y sus principales compuestos

La porción comestible de la nuez está compuesta en su mayoría por aceite, se ha reportado que la nuez pecana y la macadamia son las que mayor contenido de aceite tienen alrededor del 71.8 a 76.2 % (Kornsteiner *et al.*, 2006), por otra parte

Toro-Vazquez *et al.* (1999) concuerda con esta misma afirmación al mencionar que el alto contenido de lípidos es una característica compositiva de la semilla refiriendo valores de 70-79 % p/p en base seca con una elevada concentración de ácido oleico de 55-75 % p/p.

Dentro de los elementos bioactivos en el aceite de nogal se pueden encontrar polifenoles, ácidos grasos insaturados, tocoferoles y tocotrienoles (Vitamina E), fitoesteroles y compuestos fenólicos, estos últimos con gran actividad antioxidante y anti proliferativa de las células cancerígenas, se sabe que los aceites extraídos de nueces pecanas son ácidos grasos insaturado, ricos en ácidos oleico entre un 49-76.5 %, ácido linoleico 13-40 % y pequeñas cantidades de ácidos grasos saturados 6-17 % (Exena-Cantú *et al.*, 2022).

#### 2.26.1 Contenido total de fenoles

El contenido de fenoles totales en los extractos obtenidos de almendra, cáscara y aceite de nuez pecanera se evalúan por técnicas espectrofotométricamente disolviendo primero las muestras en metanol, agregando el reactivo de Folin-Ciocalteu y midiendo la absorbancia a 760 nm, con ácido gálico como estándar, el mecanismo de reacción es una reacción redox, por lo que además puede considerarse como un método de medida de la actividad antioxidante total y los resultados se expresan como miligramos equivalentes de ácido gálico (GAE) por gramo de muestra fresca (mg GAE/g MF) (Prado *et al.*, 2013; García Martínez *et al.*, 2015; Yilmaz *et al.*, 2021).

Slatnar *et al.* (2015) reportaron un rango CTP de 2.07-2.13 mg GAE•100 mg<sup>-1</sup> de aceite, mientras que Aquino-Bolaños *et al.* (2017) determinaron un rango de 73-128 mg EAG•100 g<sup>-1</sup> base seca, por su parte Noperi-Mosqueda *et al.* (2019) señalaron

que el CTP oscila de 207 a 318 mg GAE•g<sup>-1</sup> PF, Kafkas *et al.* (2020) plantea un valor de 721.55 mg GAE•100 g<sup>-1</sup> peso seco, Miraliakbari & Shahidi, (2008) mencionan que el aceite de la nuez pecana contiene aproximadamente 19.6 mg GAE•100 g<sup>-1</sup> de aceite cuando se utiliza hexano para extraerlo, mientras que Domínguez-Avila *et al.* (2013) reportaron 11.33 y 11.92 mg GAE•100 g<sup>-1</sup> de aceite.

**Cuadro 5:** Clasificación de los polifenoles y ejemplos de ellos.

Estructura química	Tipo	Ejemplo de polifenol
C <sub>6</sub>	Fenol simple	Eugenol
C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub>	Ácido fenólico	Ácido gálico
	Ácido benzoico	Ácido elágico
(C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub> ) n	Taninos hidrolizables	
C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub>	Ácido fenil acético	
C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub>	Ácido hidroxicinámico	Ácido cafeico
	Cumarinas	
(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Lignanos	
C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>6</sub>	Benzofenonas	
	Xantonas	
C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>6</sub>	Estilbenos	Resveratro
C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub>	Flavonoides	Antocianinas
	Chalconas	Flavonoles
		Flavonas
		Flavanonas
		Isoflavonas
		Flavanoles
(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> ) n	Proantocianinas (taninos 4≤n≤11)	

Fuente: Elaborada con información de: (García-Martínez *et al.*, 2015)

Los fenólicos son una colección heterogénea de compuestos generados como metabolitos secundarios en las plantas, son compuestos aromáticos o alifáticos con al menos un anillo aromático al que están unidos uno o más grupos OH, se subdividen en diferentes grupos dependiendo del número de anillos fenólicos que poseen y los elementos estructurales unidos a estos. Desde un punto de vista fisiológico humano, los compuestos fenólicos son importantes en las respuestas de

defensa como antioxidantes, antienviejamiento, antiproliferativa y antiinflamatoria (Sun & Shahrajabian, 2023).

### 2.26.2 Polifenoles

Los polifenoles son compuestos fitoquímicos que se encuentran en plantas, frutas y compuestos naturales, divididos en no flavonoides (curcuminoides, lignanos, estilbenos y taninos) y flavonoides (de Luna *et al.*, 2023), intervienen en el crecimiento y reproducción de las plantas, así como en procesos defensivos contra agentes patógenos, depredadores o radiación ultravioleta (García Martínez *et al.*, 2015), son compuestos no energéticos, bio sintetizados por cualquier estructura vegetal, como resultados de actividades metabólicas secundarias produciendo una variedad de compuestos fenólicos entre los que destacan los flavonoides, ácidos fenólicos y lignanos, estilbenos y alcoholes fenólicos, algunos son indispensables para las funciones fisiológicas vegetales, en funciones de defensa ante situaciones de estrés y estímulos diversos (hídrico, luminoso, etc.), el contenido total de polifenoles es afectado por factores ambientales como la luz, grado de madurez, grado de conservación, clima, factores agronómicos, la exposición a la luz que es uno de los principales condicionantes para determinar el contenido de la mayoría de los polifenoles (Quiñones *et al.*, 2012), frecuentemente por su practicidad y costo accesible la cuantificación de los grupos de polifenoles se ha realiza por técnicas espectrofotométricas (Ignat *et al.*, 2011).

Los frutos secos como las nueces pecanas son una fuente rica de polifenoles, la cantidad de compuestos polifenólicos y tipos presentes en un alimento varía en función de la especie vegetal, variedad y parte del vegetal considerada (fruto, semillas, brotes, hojas), horas de exposición solar, grado de madurez, condiciones

de cultivo, procesado, condiciones de almacenamiento, etc., (Domínguez-Avila *et al.*, 2015). Además de los efectos sobre la salud, muchos compuestos polifenólicos tienen un efecto sobre la calidad de los alimentos pues son responsables de algunas propiedades sensoriales (García-Martínez *et al.*, 2015).

### 2.26.3 Flavonoides

Es un grupo grande de compuestos fenólicos naturales, según las diferencias en el anillo de pirano, clasifican en flavonas, isoflavonas, flavanoles, flavonoles, flavanonas, flavan-3-oles y antocianidinas (Sun & Shahrajabian, 2023).

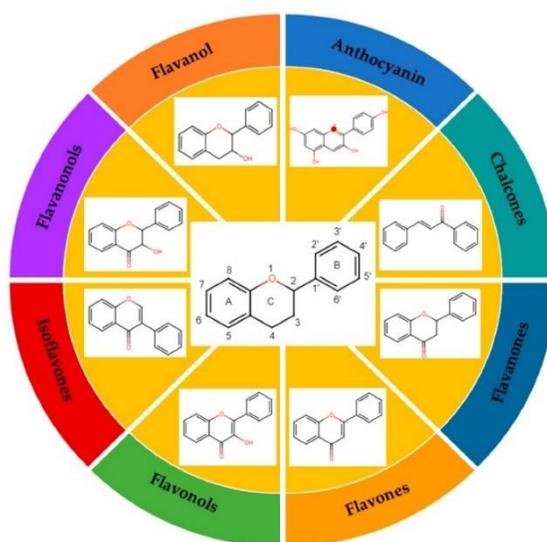
Son compuestos polifenólicos/fenólicos que comprenden 15 átomos de carbono, con dos anillos aromáticos conectados por un puente de tres carbonos (C6-C3-C6), se distribuyen en el reino vegetal en más de 2.000 especies de muy diversas familias (Russo & Sánchez, 2006).

**Cuadro 6:** Estructura genérica de las principales clases de flavonoides.

Flavonoides		Fórmula molecular
Flavononas	Apigenina	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>
	Luteolina	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>
	Cristina	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>
Flavonoles	Kaempferol	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>
	Quercetina	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>
	Isorhamnetina	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>
Flavononas	Naringenina	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>
	Eriodictiol	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>
	Hesperentina	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>
Flaavonoles		C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>
Antocianidina		C <sub>16</sub> H <sub>11</sub> O +
Flavanonoles	Taxifolina	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>
	Aromadendrina	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>
Flavan-3-oles	Galocatequina	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>
	Catequina	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>
	Genisteína	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>
Isoflavonas	Daidzeína	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>
	Formononetina	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>

Fuente: (Sun & Shahrajabian, 2023)

Los más comunes que se encuentran en la naturaleza son las antocianinas, flavonas, flavanonas, flavonoles, flavanonoles, isoflavonas y otras subclases (Sun & Shahrajabian, 2023).



**Figura 9:** Subclasificación de los flavonoides.

Fuente: (de Luna et al., 2023)

Están ampliamente distribuidos en el reino vegetal, encontrándose de forma universal en las plantas vasculares, en forma de glicósidos, de gran importancia para el desarrollo y buen funcionamiento de las plantas, ya que actúan: como atractivos de animales en la oviposición, agentes protectores contra la luz UV; contra la infección por organismos fitopatógenos; realizan múltiples actividades biológicas (regulación de la expresión de genes, la inhibición de enzimas y la modulación de la microbiótica entérica), además presentan características que favorecen la salud humana, debido a su actividad antioxidante (Cartaya & Reynaldo, 2001; Alves *et al.*, 2016), y actúan como mecanismo de defensa de las propias

plantas, como respuesta a factores de estrés biótico y abiótico (Tavakoli *et al.*, 2022 y Sun & Shahrajabian, 2023)

#### 2.26.4 Ácidos grasos

La almendra de nuez y su aceite se caracterizan por su alto contenido de ácidos grasos insaturados (lípidos monoinsaturados y poliinsaturados) lo que determina su alta susceptibilidad a la oxidación del fruto (Flores-Amaro *et al.*, 2022); dos de los más importantes son, el ácido linoleico (omega 6) y ácido alfa-linolénico (omega 3) esenciales para la salud humana, que al no ser producidos por el cuerpo es necesario obtenerlos de fuentes externas como lo son los alimentos, entre estos una fuente de gran aporte son las nueces pecanera (Hernández-Vázquez *et al.*, 2022), sin embargo son muy susceptibles a la oxidación y de esta manera sus características funcionales disminuyen a la vez que se provoca la pérdida del sabor de la almendra (Montoya Ballesteros *et al.*, 2010).

En el caso específico del aceite de nuez, debido a su contenido de ácidos grasos esenciales, ha despertado un gran interés, de manera especial en la industria de los alimentos y la cosmética, además representa una fuente destacada de compuestos antioxidantes naturales (Madawala *et al.*, 2012; Orona-Castillo *et al.*, 2019; Trandafir & Cosmulescu, 2020), lo cual ha favorecido su uso en elaboración de suplementos alimenticios, productos nutraceútico y farmacéuticos (Cervantes-Martínez *et al.*, 2016).

#### 2.26.5 Fitoesteroles

La nuez *C. Illinoensis* contiene esteroides y estanoles vegetales que de forma colectiva reciben el nombre de fitoesteroides, compuestos bioactivos presentes en aceites no refinados, legumbres, semillas y nueces, los fitoesteroides (PS) o esteroides

vegetales son estructuralmente similares al colesterol, los más comunes el  $\beta$ -sitosterol, campesterol y estigmasterol en este mismo orden (Awad & Fink, 2000) Lugasi (2009) reportó que un consumo diario de 2 a 3 g de fitoesteroles es capaz de disminuir el colesterol LDL (lipoproteínas de baja densidad, por sus siglas en inglés) de un 7 a un 11 % en seres humanos y que en promedio por cada 100 g de nuez se pueden encontrar de 114 a 157 mg de fitoesteroles

Por su parte, Segura *et al.* (2006) mencionan un rango de 102 a 157 mg de fitoesteroles por cada 100 g de nuez, los frutos secos no contienen colesterol, pero son ricos en fitoesteroles químicamente relacionados, una clase de compuestos que interfieren con la absorción intestinal del colesterol y por lo tanto ayudan a reducir el colesterol en sangre.

#### 2.26.6 Tocoferoles y tocotrienoles (vitamina E)

Son compuestos liposolubles, integrados por cuatro isómeros de tocoferoles ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta$  tocoferoles) y cuatro isómeros de 13 tocotrienoles ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta$  tocotrienoles) denominados colectivamente tococromanoles o tocoles, capaces de inhibir a la HMG-CoA reductasa que actúa regulando la síntesis de colesterol, de actividad predominante de tipo antioxidante; reduce radicales libres, y ya que los tocotrienoles son de carácter lipídico, éstos se incorporan en las membranas biológicas protegiendo a los lípidos insaturados de oxidación, y que además pertenecen al grupo de antioxidantes naturales (Rimbach *et al.*, 2002; Ramesh-Kumar & Keum, 2016).

Por su parte Sayago *et al.*, (2007) mencionan que el aceite de nuez contiene alrededor de 59.5 mg/100g de gama tocoferol y 56.3 mg/100g de alfa tocoferol, sin

embargo, la composición de vitamina E puede variar por factores genéticos y por factores ambientales (Amaral *et al.*, 2005).

#### 2.26.7 Antioxidantes

Son sustancias químicas encargadas de impedir o retrasar la oxidación de ácidos grasos (Hernández-Vazquez *et al.*, 2022), cuyas reacciones se producen tanto en los alimentos como en el organismo humano, los antioxidantes se agrupan en dos principales sistemas, el sistema enzimático y el sistema no enzimático, también conocidos como endógeno y exógeno respectivamente, que pueden actuar en el espacio intracelular como en el extracelular, el sistema no enzimático está integrado principalmente por sustancias como las vitaminas A, E, C, carotenoides y los minerales selenio y zinc (Zamora, 2007).

El método DPPH es un método de captación de radicales libres usado para cuantificar antioxidantes, permite determinar el poder antioxidante de diversos compuesto, alimentos o extractos, su principio se basa en la capacidad de los antioxidantes de aceptación /donación de electrones o de un átomo de hidrógeno por la molécula 1,1-difenil-2-picrilhidrazina, la cual en solución metanólica presenta una coloración púrpura fuerte que reacciona con un sustrato antioxidante, y cambia de color de púrpura a amarillo cuando interactúa y se neutraliza por la acción de antioxidantes, esta variación de color se mide espectrofotométricamente a 517 nm (Brand-Williams *et al.* ,1995).

Dunford *et al.* (2022) observaron que la capacidad antioxidante de los extractos aumenta a medida que aumenta el contenido fenólico en las muestras, siendo los mayores contribuyentes a la alta capacidad antioxidante el ácido gálico, la catequina y el ácido elágico.

### 2.27 Importancia de los compuestos fenólicos (polifenoles)

Las almendras como las nueces son una fuente importante de polifenoles para el humano, su consumo es capaz de elevar la concentración de polifenoles en circulación y por lo tanto elevar la capacidad antioxidante del plasma y reducir su peroxidación lipídica (Torabian *et al.*, 2009). Es un grupo extenso de sustancias no energéticas presentes en los alimentos de origen vegetal, se ha demostrado que una dieta rica en polifenoles vegetales puede mejorar la salud y disminuyendo la incidencia de enfermedades cardiovasculares, dichos efectos fundamentalmente son consecuencia de sus propiedades antioxidantes (Quiñones *et al.*, 2012).

Los compuestos fenólicos exhiben una amplia variedad de actividades biológicas positivas para la salud entre las que destacan sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anti fúngica, antimicrobiana y anticancerígenas, han demostrado ser prometedoras en el tratamiento de diversas afecciones, incluyendo enfermedades de la piel, cicatrización de heridas y el potencial neuroprotector (Sun & Shahrajabian, 2023).

### 2.28 Importancia de los antioxidantes en la alimentación

Los antioxidantes son moléculas protectoras, presente en los alimentos en forma de Vitamina A, C y E, Carotenoides, y polifenoles, en la salud humana su importancia radica en su capacidad de defensa contra los radicales libres al neutralizarlos, mediante la liberación de electrones en la sangre que son captados por los radicales libres (Avello & Suwalsky, 2006), pueden ayudar a prevenir enfermedades crónico-degenerativas, como enfermedades cardiovasculares, Alzheimer, Parkinson, diabetes y cáncer o bien, a retrasar algunas de estas enfermedades. La capacidad antioxidante de un alimento a otro varía según su naturaleza y concentración de las

moléculas (Coutiño-Hernández *et al.*, 2022). Además, son sustancias químicas encargadas de impedir o retrasar la oxidación de ácidos grasos (Hernández-Vazquez *et al.*, 2022).

### 2.29 Importancia de los flavonoides

Reyes-Vázquez (2016) señala que la almendra de nuez pecanera es rica en contenido de compuestos flavonoides, fenólicos totales y proantocianidinas (taninos condensados) la almendra de la nuez pecanera representa una fuente valiosa de antioxidantes, cuyo impacto positivo en la salud la hace relevante desde el punto de vista nutricional y medicinal.

Recientemente se han estudiado los efectos de los flavonoides al ser incluidos en la dieta y se ha informado que tienen efectos anticancerígenos, actúan eliminando radicales libres, regulan las respuestas inflamatorias, actividades enzimáticas, además de detener el ciclo mitótico, estimular el sistema inmunológico, con actividad antioxidante de mecanismo importante del efecto anticancerígeno antivirales, neuroprotector, radio protectoras, cardioprotectores y efectos protectores de la piel contra la radiación UV (Lee *et al.*, 2021; de Luna *et al.*, 2023; Sun & Shahrajabian, 2023).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización de huertas

El presente trabajo se llevó a cabo en 4 huertas diferentes de la Comarca Lagunera, la primera (Nirvana 1) y segunda (Nirvana 2) pertenecientes la granja Orgánica Nirvana ubicada en la localidad Santa Anita en Lerdo Durango, coordenadas 25° 05' N y 101° 40' O, para la segunda (Nirvana 2) 26° 54' N y 104°45 ' O ambas son árboles de 12 años de edad; la tercera huerta (Jaboncillo) ubicada en el ejido Jaboncillo, Durango 25° 45' 23.8" N y 103° 27' 00" W, con 10 años de edad, la cuarta huerta (Narro) perteneciente la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 25° 33' 23.335" N y 103° 22' 8.639" O, esta última con 40 años de edad. De cada uno de los sitios se extrajeron muestras de suelo, 1 kg•muestra<sup>-1</sup> mediante muestreo en forma de zig-zag a una profundidad de 0-30 cm, para realizar los análisis físico-químico correspondiente, así mismo se obtuvieron de muestras de nueces, 1 kg•muestra<sup>-1</sup>, para efectuar determinaciones de contenido total polifenoles (CTP) y contenido total de flavonoides (CTF).

#### 3.2 Extracción de nueces y preparación de la muestra

Las muestras fueron extraídas removiendo la cascara de las nueces de manera manual, se cortarón trozos pequeños y se pesaron 100 g de muestra en cada repetición, posteriormente almacenadas en bolsas de papel estraza, debidamente etiquetadas, y se colocaron a refrigeración a 4 °C hasta el momento de realizar la extracción del aceite, misma que fue realizada en las instalaciones del laboratorio de Biotecnología de la Universidad Politécnica de Gómez Palacio Durango.

### 3.3 Extracción de aceites de nuez

Se llevó a cabo mediante técnica de prensado en caliente (extrusión), usando un extractor de aceites de semillas, de acero inoxidable Henkel, modelo SC003-898®, en el cual los 100 g muestras por repetición, de cada huerta, fueron sometidas bajo presión pasando por un tornillo rotatorio, se registró el volumen resultante, etiqueto y almacenó en frascos con goteros, de color ámbar, se almacenaron a 4°C, hasta el momento de ser remitidas al laboratorio de Desarrollo de Productos Alimenticios de Bioquímica de la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca – UASLP, para determinar el contenido de flavonoides, polifenoles y pH en el aceite de nuez.

### 3.4 Determinación del contenido total de fenoles

De acuerdo a la metodología descrita por Nossa-González *et al.* (2016) en un tubo de ensayo (por duplicado) se colocaron 125 µL de muestra de aceite, se agregaron 0.5 mL de H<sub>2</sub>O destilada y 125 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu; se dejó reaccionar por 6 min y se agregaron 1.25 mL de una solución de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 7 %, por último se agregó 1 mL de H<sub>2</sub>O destilada y se dejó reposar por 90 min, en condiciones de laboratorio (25 °C y 65 % de humedad relativa); la absorbancia de cada muestra se determinó en el espectrofotómetro UV Genesys 10UV (Thermoelectron®), a una longitud de onda ( $\lambda$ ) de 760 nm, el resultado se expresó como miligramos equivalentes de ácido gálico (mg GAE•100 mL<sup>-1</sup> de aceite) y se empleó una ecuación de regresión de acuerdo a la fórmula de García-Martínez *et al.* (2015) y una curva de calibración de ácido gálico ( $R^2 = 0.9900$ ).

### 3.5 Determinación de Flavonoides

Inicialmente, se realizó una curva estándar con puntos de 150 a 1000 µM de catequina con metanol al 80 %, se utilizó una solución con los siguientes reactivos

y volúmenes: 250  $\mu\text{L}$  de muestra, 1.25 mL de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada, 75  $\mu\text{L}$  de  $\text{NaNO}_2$  al 5 %, seguido de reposo durante 5 min, más adelante se agregaron 150  $\mu\text{L}$  de  $\text{AlCl}_3$  al 10 %, dejando de nuevo en reposo por 6 min, al concluir se agregaron 500  $\mu\text{L}$  de  $\text{NaOH}$  1 M y 275  $\mu\text{L}$  de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada. Por último, se analizó la muestra a 510 nm de absorbancia en un espectrofotómetro, obteniendo datos del análisis los cuales son expresados en miliequivalentes de catequina por 100 mL de aceite ( $\text{mEq}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$ , aceite) (Re *et al.*, 1999).

### 3.6 Determinación de características químicas de suelos

Las características de las muestras de suelo de cada huerta, fueron determinadas en instalaciones del Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, considerando los procedimientos establecidos en la NOM-021-SEMARNAT-2000, para pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC), con ligeras adecuaciones.

### 3.7 Análisis estadístico

En este estudio, cada huerta fue considerada un tratamiento, y de cada una de éstas se obtuvieron seis muestras (repeticiones), para la extracción del aceite y se ajustaron a un diseño completamente al azar, para cada variable evaluada (CTP, CTF, pH) se aplicó el análisis de varianza (ANOVA), de una vía, así como la prueba de rangos múltiples de Tukey  $_{0.05}$ . Adicionalmente, se utilizaron correlaciones de Pearson (Lavalle *et al.*, 2006) entre las características químicas del suelo (pH\_S, MO, CIC, y CE), los componentes fitoquímicos del aceite de la nuez pecanera (CTP, CTF, pH\_A) y edad de las cuatro huertas.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Flores-Córdova y Sánchez-Chávez (2016) mencionan que el consumo de la nuez pecanera aporta beneficios significativos para la salud humana, debido a que este fruto contiene compuestos bioactivos y minerales, en consecuencia, tiene un papel relevante para el proceso nutritivo (Noperi-Mosqueda *et al.*, 2019; Kafkas *et al.*, 2020). Por lo anterior, cobra trascendencia el estudio realizado, ya que permite determinar las cantidades de estos compuestos bioactivos presentes en el aceite de las nueces de cuatro huertos de la Comarca Lagunera. Cabe resaltar que al igual que en todas las especies vegetales, las condiciones del suelo, ambientales como el clima y la edad en cada huerta juegan un papel crucial por el impacto que tiene en su rendimiento, calidad y contenido de compuesto bioactivos en la almendra, así como factores post cosecha, como lo mencionan diversos autores como Amaral *et al.*, (2005); Montoya-Ballesteros *et al.*, (2010), Domínguez-Avila *et al.*, (2013); Noperi-Mosqueda *et al.*, (2019) y Tavakoli *et al.*, (2022).

##### 4.1 Rendimiento promedio de extracción de aceites

A partir del proceso de prensado para extracción de aceites vegetal de nuez se determinó que por cada 100 g de nuez se obtuvieron en promedio de 52.2 g del peso total de nuez en aceite correspondiente a un 52 % de su peso, acercándose a lo postulado por Toro-Vazquez *et al.* (1999) al mencionar que los rendimientos de aceite mediante extracción química fluctúa entre el 60-90 %, sin embargo se encuentra lejano al promedio de 70 -79 % p/p en base seca mencionado por el mismo autor, así mismo más lejana a la afirmación de Kornsteiner *et al.* (2006), al determinar un porcentaje de lípidos entre el 71.8-76.2 % en la nuez.

Los datos obtenidos de rendimiento se presentan a detalle en el cuadro 7.

**Cuadro 7:** Cantidad de aceite obtenidos por cada repetición de 100 g.

Repetición	Huerta	Huerta	Huerta	Huerta
	Jaboncillo (ml)	Narro (ml)	Nirvana 1 (ml)	Nirvana 2 (ml)
R1	39	50	60	57
R2	39	55	66	62
R3	42	51	70	59
R4	48	58	69	57
R5	56	60	61	63
R6	55	67	67	65
<b>Promedios (ml)</b>	46.5	56.8	65.5	60.5
<b>Gramos</b>	41.6	50.6	58.3	53.8

Nota para pasar de ml a g, conociendo la densidad debe aplicarse la siguiente formula:  
Masa (gramos) = Volumen (mililitros) x Densidad (gramos/mililitro), donde: Densidad= 0.89 g/mL<sup>-1</sup>.

Fuente: datos propios

De las cuatro huertas evaluadas, la de mayor rendimiento de extracto de aceite fue Nirvana 1 con 65.5 ml y la de menor rendimiento la Huerta de Jaboncillo con 46.5 ml, para pasar los mililitros obtenidos, a gramos se empleó como factor de conversión densidad de 0.89 g•mL<sup>-1</sup>, valor cercano a la densidad señalada por Álvarez *et al.* (2019) 0.878 g•mL<sup>-1</sup>. Otros valores de densidad del aceite han sido reportados por Luna-Guevara & Guerrero-Beltrán, (2012) con 0.92 +/- 0.02 g•mL<sup>-1</sup>, Aquino-Bolaños *et al.* (2017) de 0.910-0.915 g•mL<sup>-1</sup>, Rodríguez Millán *et al.* (2011) determinó un valor de 0.9116 g•mL<sup>-1</sup>, y Sánchez Tovar (2005) mencionó un valor de 0.963 g•mL<sup>-1</sup>.

## 4.2 Propiedades de los suelos

Los muestreos de suelos realizados en las cuatro huertas evidenciaron valores de pH que van de 7.78 a 8.06, valores normales para estados del norte de México, entre ellos el estado de Coahuila tal como mencionó previamente Hernández-López *et al.*, (2020), permitiendo clasificar a estos suelos como medianamente alcalinos según la clasificación de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002). Los valores obtenidos se encuentran situados dentro del rango óptimo 5.4 a 8.4 para cultivo de nogal mencionado por Villaseca, (2007); pero fuera del rango 6 - 6.8 mencionado por Madero *et al.*, (2016) y el mencionado de por la FAO, (2024) al señalar que para los cultivos agrícolas el valor del pH ideal se encuentra en 6.5, y que un pH > 8.5 son suelos muy alcalinos, que tienden a dispersarse, lo que sugiere implicaciones sobre el desarrollo del cultivo. Debido a que las moléculas nutritivas no se adhieren al suelo, limitando la biodisponibilidad de algunos micronutrientes como indica Hernández-López *et al.*, (2020).

Por otro lado, se aprecia que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) está íntimamente relacionada con los valores de pH, y con el porcentaje de materia orgánica (MO) presente, ya que cuando el pH es bajo se observa mayor presencia de MO misma que favorece la CIC contribuyendo a una mejor retención de nutrientes, como señala la FAO (2024). Este fenómeno a su vez actúa al incrementar o disminuir la CE del suelo según sea la madurez de la materia orgánica presente, la relación entre pH, CIC, y MO sugiere que un pH medianamente alcalino, como el registrado en estos suelos, puede influir de manera significativa en la disponibilidad de nutrientes para el nogal. Aunque los valores de pH observados están dentro del rango recomendado por algunos estudios, como el de Villaseca

(2007), podrían estar fuera del rango óptimo propuesto por otros. En el cuadro 8 se resumen los datos obtenidos:

**Cuadro 8:** Datos obtenidos del muestreo de cuatro suelos en La Comarca Lagunera.

	Huerta Nirvana 1	Huerta Nirvana 2	Huerta Narro	Huerta Jaboncillo
<b>Propiedades químicas</b>				
pH (Disolución 1:1)	7.87	7.78	7.88	8.06
Materia Orgánica (%)	1.5	2.17	4.61	1.78
CIC (meq•100 g <sup>-1</sup> de suelo)	19	14.25	29.94	25.99
Salinidad (Extracto de saturación):				
pH	8.07	7.91	7.88	8.06
Conductividad eléctrica (mS•cm <sup>-1</sup> )	0.92	1.39	2.4	16.6

Fuente: Datos propios.

El mayor porcentaje de MO se presentó en la huerta de Narro con 4.61 %, en esa misma huerta se tuvieron valores de CIC 29.94 meq•100 g<sup>-1</sup> de suelo, CE de 2.4 mS•cm<sup>-1</sup> y pH de 7.88, mientras que el suelo con menor MO presente fue la Huerta Nirvana 1 con valor de 1.5 % siendo esta misma huerta la de menor CE con valores de 0.92 mS•cm<sup>-1</sup>, la huerta Nirvana 2 presentó 2.17 % de MO, fue la que menor pH y CIC reflejó con un valor de 7.78 y 14.25 meq•100 g<sup>-1</sup> de suelo respectivamente, finalmente la huerta Jaboncillo fue la que mayor pH y CE mostró con valores de 8.06 y 16.6 mS•cm<sup>-1</sup> respectivamente, con un contenido de 1.78 % de MO; según la clasificación que postulada por el DOF, (2002) se identificó la huerta de Narro como un suelo con alto contenido de MO, Nirvana 1 con bajo contenido, Nirvana 2 y Jaboncillo como contenido medio, en cuanto a Conductividad eléctrica (CE) Villaseca, (2007) menciona rangos óptimos 1.8 dS•m<sup>-1</sup> mientras que 4.8 dS•m<sup>-1</sup> como un umbral crítico. De los cuatro sitios de muestreo la huerta de Narro y

Jaboncillo se encuentran por encima del valor óptimo, significando un factor de estrés para el nogal, debido valores altos de CE son el resultado de la alta salinidad presente en el suelo, esta elevada presencia de sales en el suelo puede generar un aumento en el pH, y actuar desequilibrando el potencial de las plantas para asimilar nutrientes y a su vez desencadenar la concentración de sales en las capas superficiales del suelo reduce de forma progresiva la capacidad del agua para desplazarse hacia las raíces como lo menciona Urrea-López & Urzúa-Esteva, (2016).

#### 4.3 Contenido total de polifenoles

Los resultados de los ANOVA y las pruebas de rangos múltiples Tukey HSD  $p=0.05$ , para el contenido total de polifenoles (CTP), de las muestras de aceite de nuez para estas cuatro huertas incluidas en el estudio, se presentan en el cuadro 9.

**Cuadro 9:** Valores promedio y significancia estadística del contenido total de polifenoles (CTP), de las cuatro huertas en estudio, de la Comarca Lagunera.

Huerta	CTP (mg EAG•100 mL <sup>-1</sup> aceite)
Narro	151.52 ± 31.74 a
Nirvana 2	96.38 ± 11.06 b
Jaboncillo	84.83 ± 12.19 b
Nirvana 1	79.31 ± 16.46 b

Edad de los árboles de las huertas: Narro 40 años; Nirvana 1 y 2: 12 años; Jaboncillo: 10 años; CTP = Contenido total de polifenoles; CTF = Contenido total de flavonoides. Las medias de las columnas con la misma letra no son significativamente diferentes, mientras que las letras distintas indican un agrupamiento significativo Tukey HSD  $p=0.05$ .

Fuente: datos propios.

Respecto al CTP registrado en el aceite de la almendra de las nueces, cuyas muestras se obtuvieron del huerto de la Narro, superó al resto de las muestras de

aceite analizadas y aunque se determinaron diferencias numéricas en el resto de los lugares de muestreo, el CTP resultó estadísticamente igual, para las huertas Nirvana 1, 2 y la huerta del ejido Jaboncillo.

El intervalo de CTP, 79.31 – 151.52 mg EAG•100 mL<sup>-1</sup> de aceite de nuez, registrado en el presente estudio, superó ampliamente al rango de CTP, 2.07 – 2.13 mg EAG•100 mg<sup>-1</sup> de aceite, reportado por Slatnar *et al.* (2015), que resultaron ser sus contenidos estadísticamente superiores, al determinar el CTP en aceite de cinco cultivares de nuez común (*Junglans regia* L.).

Sin embargo, este mismo rango de CTP determinado, 79.31 – 151.52 mg EAG•100 mL<sup>-1</sup> de muestra de aceite de la almendra de nuez (cuadro 9), resultó similar al rango, 73 - 128 mg EAG•100 g<sup>-1</sup> base seca de CTP, reportado por Aquino-Bolaños *et al.* (2017) para las siguientes variedades: a) *Macadamia integrifolia* (cv. Ika Ika 333); b) *M. tetraphylla* (cv. Alberca-527 (A-527) y L1); y c) *M. integrifolia* x *M. tetraphylla* (cv. Cate, Lewis, UCLA, Beaumont 695, Huatusco y Victoria), desarrolladas en una huerta comercial, ubicada en la zona alta, de Coatepec, Veracruz, México (19° 47' 92.56" N, 96° 98' 99.33" O y 1,530 m de altitud). Aunque son diferentes variedades, la similitud de los CTP, entre las muestras de aceite de nuez pecanera y las muestras de nuez de las variedades de *Macadamia*, refutan parte de lo señalado por Amaral (2005); Fawole y Opara (2013), quienes destacan que los factores genéticos (variedades) son responsables de las variaciones fitoquímicas registradas entre los cultivos, pero manteniendo que condiciones ambientales (propiedades físico – químicas) de los suelos, la época de cosecha, donde se desarrollan las especies vegetales como causantes de esta variación.

Por su parte Noperi-Mosqueda *et al.* (2019), reportaron CTP que oscilaron de 207 a 318 mg EAG•g<sup>-1</sup> PF, en una huerta de nogal ubicada en el municipio de Aldama, Chihuahua, superando así al intervalo 79.31 – 151.52 mg EAG•100 mL<sup>-1</sup> aceite, registrado en las cuatro huertas de la región Lagunera. Estas variaciones, en gran parte podrían deberse, como lo expresa Al-Yahyai y Khan (2015), en relación a las palmas datileras, se relaciona con las propiedades del suelo, tanto físicas como químicas, además del clima y las estrategias de manejo agrícola y post cosecha, que afectan su desarrollo.

El CTP, 151.52 mg EAG•mL<sup>-1</sup>, registrado en el aceite de las nueces de la huerta de la Narro fue ampliamente superado, por el valor promedio 721.55 mg EAG•100 g<sup>-1</sup> peso seco, reportado por Kafkas *et al.* (2020), quienes determinaron el CTP en muestras de nueces, de nueve cultivares y seis genotipos *J. regia* establecido en USA, una vez más se corrobora que estas variaciones no se deben a factores genéticos, sino más bien a condiciones de cultivo, manejo y ambiente, ya que como se evidencia entre las mismas variedades hay diferencias en el CTP y similitudes entre variedades diferentes.

Sus concentraciones varían de forma considerable, debido a que son unidades experimentales diferentes, donde cada una tiene características propias, implicando distintas condiciones de suelo, edad de las huertas y clima, factores que inciden directamente en los resultados obtenidos, dichas variaciones juegan un papel importante, ya que influye en el comportamiento de los cultivos, lo que puede generar diferencias notables en las concentraciones de los fitocompuestos analizados tal como menciona diversos autores como Montoya-Ballesteros *et al.*,(2010), Domínguez-Avila *et al.*, (2013), Noperi-Mosqueda *et al.*, (2019) y

Tavakoli *et al.*, (2022) y como se evidencia en los datos presentados. De manera similar Amaral (2005) y Pinheiro-do Prado *et al.* (2009) destacan que factores como la composición del suelo, condiciones climáticas, y época de cosecha son determinantes clave para explicar estas variaciones.

Quiñones *et al.* (2012) coinciden con que el contenido total de polifenoles está influenciado por factores ambientales como la exposición luz, grado de madurez, grado de conservación, el clima, factores agronómicos.

Tavakoli *et al.* (2022) y Sun & Shahrajabian, (2023) más que en las condiciones hacen hincapié a que la variación del contenido de estos metabolitos secundarios está en función a la evolución de respuesta de las vías bioquímicas de vegetales/plantas frente condiciones de estrés causadas por elementos del entorno vivos y no vivos tales como clima, sitio geográfico, precipitación, materia orgánica en el suelo, humedad relativa, salinidad, UV, patógenos y depredadores.

En este sentido, importante recalcar que en la Comarca Lagunera se presentan condiciones climáticas que representan desafíos significativos para el cultivo del nogal, en la región se cuenta con precipitaciones anuales media 220 mm como menciona Orona-Castillo *et al.*, (2006), lo que está muy por debajo de los requerimientos hídricos óptimos para este cultivo, que varían entre 1 170 y 1 310 mm por año para las huertas de edad adulta mencionado por Sifuentes-Ibarra *et al.*, (2015), a esto se suma que en verano se registran temperaturas de 45.3 ° C y en invierno temperaturas que van desde los 8 a 0 °C, llegando incluso a los -7 °C como menciona SADER (2024), estas fluctuaciones en la temperatura afectan el desarrollo de las plantas ya que en promedio el cultivo requiere una temperatura de 25 a 30 °C, y para invierno requiere en promedio 7.2 y 12.3 °C como señalan

Medina-Morales & Cano-Ríos, (2002), además el pH alcalino de los suelos, reflejan una limitante de la biodisponibilidad de los micronutrientes, como señala Hernández-López *et al.*, (2020) representando un desajuste entre las condiciones climáticas locales y las condiciones óptimas para el nogal creando un ambiente de estrés abiótico que causa las variaciones en el contenido de estos fitoquímicos, en el rendimiento y calidad del fruto.

#### 4.4 Contenido total de flavonoides

Como se aprecia en el cuadro 10, el CTF, registrado en las muestras, de las cuatro huertas de nogal, osciló entre 430.72 y 782.74 mg EAG•100 mL<sup>-1</sup> aceite.

**Cuadro 10:** Valores promedio y significancia estadística del contenido total de flavonoides (CTF), de las cuatro huertas en estudio, de la Comarca Lagunera.

Huerta	CTF (mg EAG•100 mL <sup>-1</sup> aceite)
Narro	782.74 ± 111.40 a
Nirvana 2	499.94 ± 117.62 b
Jaboncillo	473.58 ± 121.53 b
Nirvana 1	430.72 ± 76.68 b

Edad de los árboles de las huertas: Narro 40 años; Nirvana 1 y 2: 12 años; Jaboncillo: 10 años; CTF = Contenido total de flavonoides. Las medias de las columnas con la misma letra no son significativamente diferentes, mientras que las letras distintas indican un agrupamiento significativo Tukey HSD p=0.05.

Fuente: datos propios.

Representando una diferencia porcentual de 55.02 % entre ellas, y siendo la huerta Narro la de mejor desempeño y estadísticamente superior con un agrupamiento significativo Tukey HSD p=0.05, probablemente, la explicación del contenido de 782.74 mg EAG•100 mL<sup>-1</sup> aceite, se haya debido a que los nogales de la huerta Narro, registran una edad de 40 años, mientras que las otras huertas resultaron con

un bajo contenido debido a que son huertas aún muy jóvenes, no rebasan los 15 años, las dos de Nirvana cuentan con 12 años, tuvieron resultados de 499.94 y 430.72 mg EAG•100 mL<sup>-1</sup> aceite y mientras que la huerta Jaboncillo es la de menor edad reflejando así un resultado reflejo 473.58 mg EAG•100 mL<sup>-1</sup> muestra y mayor coeficiente de variación entre repeticiones ( $\pm 121.53$ ), coincidiendo con Domínguez-Avila *et al.* (2013) y Noperi-Mosqueda *et al.* (2019) con la atribución al factor edad en las variaciones del contenido de estos compuestos bioactivos.

Al igual que ocurre en el CTP, también para CTF sus concentraciones varían de forma considerable, debido a que son unidades experimentales diferentes, donde cada entorno tiene características propias en condiciones de suelo, edad y clima, factores que inciden directamente en los resultados obtenidos, que generar diferencias notables en las concentraciones de los fitocompuestos tal como mencionan autores como Montoya-Ballesteros *et al.*, (2010), Domínguez-Avila *et al.*, (2013), Noperi-Mosqueda *et al.*, (2019) y Tavakoli *et al.*, (2022).

Al combinar estas condiciones en cada sitio de muestro los niveles de estrés en cada huerta son distintos para cada uno y el nivel de respuesta ante ese estrés es diferente, resultando en diferente cantidad producida de fitocompuestos como señala Tavakoli *et al.* (2022) y Sun & Shahrajabian, (2023).

4.5 pH del aceite de nuez

**Cuadro 11:** Valores promedio y significancia estadística del pH del aceite de nuez de las cuatro huertas en estudio, de la Comarca Lagunera.

Huerta	pH <sub>A</sub>
Narro	7 $\pm$ 0.41 a
Nirvana 2	6.85 $\pm$ 0.12 ab

Jaboncillo	6.52±0.15 b
Nirvana 1	6.45±0.30 b

Edad de los árboles de las huertas: Narro 40 años; Nirvana 1 y 2: 12 años; Jaboncillo: 10 años; pH<sub>A</sub> = pH aceite. Las medias de las columnas con la misma letra no son significativamente diferentes, mientras que las letras distintas indican un agrupamiento significativo Tukey HSD  $p=0.05$ .

Fuente: datos propios.

Como ya se observa en el cuadro 11, para el pH del aceite de nuez resultó estadísticamente igual ( $P \geq 0.05$ ) entre los tratamientos Nirvana 1,2 y jaboncillo, entre el tratamiento Nirvana 2 y Narro, registrándose solo pequeñas variaciones numéricas, que oscilaron de 6.45 a 7. Pero estadísticamente diferente y con significancia  $p=0.05$  el tratamiento Narro sobre Jaboncillo y Nirvana 1. Estos valores difieren de lo establecido por Kader (2002) quien establece que: a) el rango ideal de pH, para casi todos los frutos, debe ser ligeramente ácido: alrededor de 3 y 5; b) los frutos con  $pH < 3$  se consideran muy ácidos y tienen sabores agrios indeseables; y c) los frutos con  $pH > 5$  se consideran insípidos o desabridos. Esta última característica refleja en algunas ocasiones el sabor que tienen las nueces pecaneras. El pH que presentan los frutos consumibles por el hombre está afectado por factores vinculados a la variedad, el suelo, el clima donde se desarrollan los frutales, así como por factores relacionados con el manejo post-cosecha de los frutos, como lo son el manejo de temperatura y la atmósfera con la que se cuente durante su almacenamiento (Domínguez-Avila *et al.*, 2013; Bhagwat *et al.*, 2014; Yahyai y Khan, 2015)

#### 4.6 Consideraciones generales

Las diferencias registradas en los CTP y de CTF del presente estudio con respecto a los resultados reportados por los autores citados, en ambos apartados, suelen

estar relacionados a las técnicas de extracción utilizados en cada uno de los trabajos, el manejo aplicado en cada ensayo, el tipo de muestra utilizado (sólido y líquido), la edad de los árboles muestreados, así como a las variedades evaluadas.

#### 4.7 Coeficientes de Correlación

En el cuadro 12 se muestran los coeficientes de correlación de Pearson (R2) encontradas entre las características fitoquímicas del aceite de las almendras de nuez (CTP, CTF, pH\_A,), las propiedades químicas de los suelos (pH\_S, MO, CE, CIC) y edad de las cuatro huertas de donde se obtuvieron las muestras de nueces, para el desarrollo del presente estudio.

**Cuadro 12:** Coeficientes de correlación de Pearson para las variables fitoquímicas del aceite, de almendra de nuez, y las características de los suelos, de cuatro huertas de nogal de la Comarca Lagunera, del estado de Coahuila de Zaragoza, México.

pH y Variables fitoquímicas	Características de los suelos				
	pH_S	MO (%)	CE (mS•cm <sup>-1</sup> )	CIC (meq•100 g <sup>-1</sup> suelo)	Edad de huerta
pH_A	-0.48	0.35	-0.35	-0.22	0.26
CTP (mg EAG•100 g <sup>-1</sup> PF)	-0.22	0.85**	-0.29	0.46	0.83**
CTF (mg Cat•100 g <sup>-1</sup> PF)	-0.14	0.79*	-0.21	0.49	0.78*

pH\_A = pH del aceite de la almendra de nuez; CTP = Contenido total de polifenoles; CTF = Contenido total de flavonoides; pH\_S= pH suelo; MO = Materia orgánica; CE = Conductividad eléctrica; CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico; \*, \*\* = Correlación significativa al 0.05 y 0.01 (bilateral), respectivamente. Donde según la escala de color el rojo indica áreas de mayor actividad (correlación positiva); zonas sin color no tienen actividad; mientras que tonos de azul, representan correlación negativa.

Fuente: datos propios.

En este cuadro se aprecian correlaciones altamente significativa y significativa, se registraron para los contenidos de CTP y CTF, y el contenido de MO en los suelos de las huertas de nogal. Respecto a estas correlaciones positivas (0.85\*\* y 0.79\*) González-González (2009) las considera correlaciones altas, así mismo se detectó correlación positiva entre CTP y CTF con la edad de los huertos. 0.83\*\* y 0.78\* respectivamente, identificándolas según la clasificación de González-González (2009) como altamente correlacionadas; significando así que cuanto más rico es el suelo en materia orgánica y más viejo es el árbol, mayor es la producción de compuestos fitoquímicos como polifenoles y flavonoides, lo cual podría mejorar la calidad nutraceútica del fruto. Además, se identificó correlación negativa entre pH del aceite y pH del suelo (-0.48) según la clasificación de González-González (2009) una correlación moderada, significando que entre más alcalino el suelo, más bajo tiende a ser el pH del aceite y viceversa.

Por otro lado, Tavakoli et al. (2022), al analizar cómo diversos factores climáticos y las propiedades del suelo influyen en la composición fitoquímica de *Savia multicaulis* Vahl., identificaron, entre otros hallazgos, una correlación negativa entre el contenido de compuestos fenólicos y el pH del suelo. Asimismo, observaron que estos compuestos se incrementan en suelos con alto contenido de materia orgánica (MO), lo cual concuerda con los resultados de la correlación obtenidos en el presente estudio, ya que también se puede observar correlación positiva respecto a la MO, ya que a medida que aumenta la MO aumenta el contenido de los compuestos fenólicos y correlación negativa respecto al pH del suelo.

## V. CONCLUSIÓN

El cultivo del nogal es de suma importancia económica tanto en el país como en la Comarca Lagunera, sin embargo se requiere otorgar información a los productores acerca del impacto de los factores ambientales, edáficos (pH, CIC, CE y MO), manejo que se otorga al huerto durante la producción y post cosecha, y el estrés que en conjunto provocan en el nogal, y en como esto favorece la calidad y cantidad de polifenoles, flavonoides, antioxidantes presentes en el aceite de nuez, para que así puedan agregar valor a su producto dentro del mercado de los alimentos nutraceuticos.

Los huertos de menor edad (Nirvana 1, 2 y Jaboncillo), fueron los que tuvieron mayor rendimiento en el porcentaje de aceites, pero menores valores de CIC, CE y MO en el suelo, fueron las mismas huertas que menor CTP y CTF presentaron en el aceite, mientras que la huerta Narro fue la de mayor edad, y presentó mayor porcentaje de MO y CIC en el suelo, menor rendimiento de aceite pero mayor contenido de CTP y CTF, se encontró una correlación negativa entre pH del aceite y el pH del suelo, es decir a medida que el pH del suelo aumenta disminuye la pH del aceite y viceversa, de igual manera el contenido de dichos compuestos también resultó mayor en suelos abundantes en materia orgánica, es decir hay una correlación positiva a medida que aumenta la MO aumenta el contenido de compuestos bioactivos, así como también se evidencio correlación positiva entre el contenido de fitocompuestos y edad de los huertos, a medida que aumenta la edad se favorece la producción de estos fitocompuestos.

La variación del contenido de estos metabolitos secundarios no se debe estrictamente a la genética (variedad) del cultivo, ya que se observó que entre la

mismas variedades hay diferencias en el contenido y similitudes en variedades distintas, ni del todo a la ubicación geográfica, sino más bien a la respuesta de las plantas ante estrés biótico y abiótico que se presenta en su entorno, en como los productores ejecutan sus labores a las labores agrícolas (fertilización, poda, riego), edad del árbol, manejo post cosecha, almacenamiento, y métodos de extracción del aceite. Por lo que se concluye que la hipótesis planteada “El contenido de compuestos bioactivos en el aceite de nuez de la Comarca Lagunera variará en función de las propiedades químicas de los suelos de cada sistema de producción, y nutrición del suelo, siendo mayor cuando las condiciones son favorables” se cumple parcialmente.

Ya que ciertamente las propiedades químicas de los suelos y nutrición del suelo en conjunto influyen en la producción de estos metabolitos, no siempre será mayor cuando se cuenten con las condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo, si bien es cierto incrementa su producción cuando hay condiciones óptimas en el suelo, pero también influyen condicione como estrés biótico (plagas) o abiótico (clima) en su entorno, a medida que las plantas se encuentran bajo este tipo de estrés es como producirán y concentraran más estos compuestos fitoquímico como parte de una medida de defensa, evolución y adaptación, prueba de ello es que hoy en día el nogal está distribuido en 17 estados del país, debido a que es una especie de amplia adaptación, y en la Comarca Lagunera muy a menudo se enfrenta con sequias, pH alcalinos, temperaturas extremas en verano, suelos alcalinos, alta CE debido a la acumulación de sales provenientes del riego, lo cual significa condiciones de estrés para el cultivo y se refleja en la producción de estas sustancias bioquímicas. Por tal motivo es de gran interés seguir con estas investigaciones para nutrir el tema, y

difundirlo ya que es poca la información con la que se cuenta, y es de gran trascendencia conocer la adaptabilidad de las plantas ante condiciones estresantes bióticas y abióticas, dentro de las cuales se incluyen condiciones dadas por el clima, salud y nutrición de suelo, y su influencia en la producción de estos metabolitos, entender pero sobre todo dar a conocer como la producción de estos fitocompuestos no está dada únicamente por un factor, sino algo integral y entenderlo como un todo.

## VI. LITERATURA CITADA

- Alvarez, S., Prieto, R., & Lamas, D. L. (2019). Caracterización fisicoquímica del aceite obtenido de nuez de macadamia y de semillas de soja, mediante extracción por solventes. *Repositorio Institucional CONICET Digital*.  
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/199977>
- Alves, A. M., Fernandes, D. C., Borges, J. F., Sousa, A. G. D. O., & Naves, M. M. V. (2016). Oilseeds native to the Cerrado have fatty acid profile beneficial for cardiovascular health. *Revista de Nutrição*, 29 (06), 859-866.  
<https://doi.org/10.1590/1678-98652016000600010>
- Al-Yahyai, R., y Khan, M. M. (2015). Date fruit quality, plant growth regulators, and palm date bunches - A review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29(2): 179–189.
- Amaral J.S., Alves M.R., Seabra R.M., Oliveira, B.P. 2005. Vitamin E composition of walnuts (*Juglans regia* L.): a 3-year comparative study of different cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(13): 5467-5472.  
<https://doi.org/10.1021/jf050342u>
- Aquino-Bolaños, E.N., Mapel-Velazco, L., Chávez-Servia, J.L., Corona-Velázquez, R., Herrera-Meza, S., Verdalet-Guzmán, Í. 2017. Caracterización física y química de la nuez y el aceite de nueve variedades de *Macadamia integrifolia*, *M. tetraphylla* e híbridos. *Nova Scientia*. 9(19): 255-272. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.1098>
- Arreola-Avila J.E y Legarda Murrieta A., P. (2002). Establecimiento de una huerta. En Tecnología de producción de nogal pecanero. (Primera Edición, pp. 15–26). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).  
<https://es.scribd.com/document/277015124/Tecnologia-de-Produccion-de-Nogal-Pecanero>

Arreola-Avila, J. E., Legarda Murrieta, A., & Medina Morales, M. del C. (2002). SISTEMA DE CONDUCCIÓN, PODA SELECTIVA Y ACLAREO DE ÁRBOLES. En *Tecnología de producción en nogal pecanero* (Primera Edición, pp. 39–54). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).  
<https://es.scribd.com/document/277015124/Tecnologia-de-Produccion-de-Nogal-Pecanero>

Avello, Marcia, & Suwalsky, Mario. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea (Concepción)*, (494), 161-172.  
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-04622006000200010>

Awad, A. B., & Fink, C. S. (2000). Phytosterols as anticancer dietary components: evidence and mechanism of action. *The Journal of Nutrition*, 130(9), 2127–2130.  
<https://doi.org/10.1093/jn/130.9.2127>

Barrientos-Ramírez, L., Arvizu, M. L., Salcedo Pérez, E., Villanueva Rodríguez, S., Vargas Radillo, J. J., Barradas Reyes, B. A., & Ruiz López, M. A. (2019). Contenido de polifenoles y capacidad antioxidante de *Physalis chenopodifolia* Lam. silvestre y cultivo: Polifenoles y antioxidante de *Physalis chenopodifolia* Lam. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(51), 182–200.  
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.323>

Berradre, M., González, C., Sulbarán, B., & Fernández, V. (2013). Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de extractos de semilla de uva (*Vitis vinifera*) variedad Malvasia y Tempranillo. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 30(4), 619-631.

- Bhagwat, A. A., Haytowitz, D. B., & Holden, J. M. 2014. USDA database for the oxygen radical absorbance capacity (ORAC) of selected foods, Release 2. *Nutrient Data Laboratory*.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Brison R F. (1976). Cultivo del nogal pecanero. 1r<sup>a</sup> ed. Comisión Nacional de Fruticultura (CONAFRUT). México. 350 pp.
- Burrola-Morales, J. R., García Nevárez, G., & Carnero Avilés, L. (2022). Salivazo *Clastoptera achatina* Germar (Hemiptera: Clastopteridae) en nogal Pecanero: Fluctuación poblacional, distribución y eficacia de insecticidas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(2). <https://doi.org/10.19136/era.a9n2.3335>
- Canedo, F. P. (2021, junio 13). La Laguna, región con grandes contrastes en el clima. *El Siglo de Torreón*. <https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/2021/la-laguna-region-con-grandes-contrastes-en-el-clima.html>
- Cartaya, O., Reynaldo, I. 2001. Flavonoides: Características químicas y aplicaciones. *Cultivos Tropicales*. 22(2), 5-14.
- Cervantes-Martínez, J., Reyes Vázquez, N. del C., Obregón Solís, E., & García Fajardo, J. A. (2016). Capítulo 2 Tecnologías de extracción y métodos de cuantificación de fitocompuestos. En N. del C. Reyes Vázquez & R. Urrea López (Eds.), *Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México*. (pp. 54–69). CIATEJ. [https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion\\_5a43b790138f4.pdf](https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b790138f4.pdf)
- Cervantes-Vázquez, M. G., Orona Castillo, I., Vázquez Vázquez, C., Fortis Hernández, M., & Espinoza Arellano, J. de J. (2018). Análisis comparativo de huertos de nuez

pecanera (*Carya illinoensis* Koch) en la Comarca Lagunera. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(1), 25–35. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.845>

Chemat, F., & Cravotto, G. (2011). Combined Extraction Techniques. In Farid Lebovka, Nikolai Vorobie, & Eugene Chemat (Eds.), *Enhancing Extraction Processes in the Food Industry* (pp. 173–194). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11241>

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). (2015, octubre 7). *Juglans regia*. Arbolapp; Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). <https://www.arbolapp.es/especies/ficha/juglans-regia/>

Coutiño-Hernández, D., Sánchez-Tapia, M., & Torres-y-Torres, N. (2022). ¿Por qué son buenos los antioxidantes? *RedNutrición*, 13(3), 992–997.

Cruz-Alvarez, O., Hernández-Rodríguez, A. O., Jacobo-Cuellar, J. L., Ávila-Quezada, G., Morales-Maldonado, E., Parra-Quezada, R., Robles-Hernandez, L., & Ojeda-Barrios, D. L. (2020). Nitrogen fertilization in pecan and its effect on leaf nutrient concentration, yield and nut quality. *Revista Chapingo. Serie: Horticultura*, 26(3), 163–173. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2019.10.021>

de Luna, F. C. F., Ferreira, W. A. S., Casseb, S. M. M., & de Oliveira, E. H. C. (2023). Anticancer potential of flavonoids: An overview with an emphasis on tangeretin. *Pharmaceuticals* (Basel, Switzerland), 16(9), 1229. <https://doi.org/10.3390/ph16091229>

Diario Oficial de la Federación. (2002). *NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado de:

[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002#gsc.tab=0)

Domínguez-Avila, J. A., Álvarez-Parrilla, E., González-Aguilar, G. A., Villa-Rodríguez, J., Olivas-Orozco, G. I., Molina Corral, J., Gómez-García, M. del C., & de la Rosa, L. A. (2013). Influence of growing location on the phytochemical content of pecan (*Carya illinoensis*) oil. *Journal of Food Research*, 2(5), 143.

<https://ccsenet.org/journal/index.php/jfr/article/view/29031>

Domínguez-Avila, J. A., Álvarez-Parrilla, E., López-Díaz, J. A., Maldonado-Mendoza, I. E., Gómez-García, M. del C., & de la Rosa, L. A. (2015). The pecan nut (*Carya illinoensis*) and its oil and polyphenolic fractions differentially modulate lipid metabolism and the antioxidant enzyme activities in rats fed high-fat diets. *Food Chemistry*, 168, 529–537. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.092>

Doreste, P. (2011). Ficha Técnica FRUTAS SECAS: NUEZ PECAN. Gob.ar. [https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/sectores/frutasecas/informes/NuezPecan\\_2011\\_06Junio.pdf](https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/sectores/frutasecas/informes/NuezPecan_2011_06Junio.pdf)

Dunford, N. T., Gumus, Z. P., & Gur, C. S. (2022). Chemical composition and antioxidant properties of pecan shell water extracts. *Antioxidants*, 11(6), 1127. <https://doi.org/10.3390/antiox11061127>

Embree, N. D. (1941). The separation of natural components of fats and oils by molecular distillation. *Chemical Reviews*, 29(2), 317–332. <https://doi.org/10.1021/cr60093a008>

Esquer-Parra, L. A. (2010). Factores que influyen en la productividad del nogal pecanero. En XI Simposio Internacional de Nogal Pecanero (pp. 10–12). <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=f0a51413132c146e34dbd710a821840cc2ab2a76#page=45>

- Estrela, J.M., Mena, S., Obrador, E., Benlloch, M., Castellano, G., Salvador, R., & Dellinger, R.W. (2017). Fitoquímicos polifenólicos en la prevención y terapia del cáncer: biodisponibilidad versus bioeficacia. *Journal of medicinal chemistry*, 60 (23), 9413-9436.
- Exena-Cantú, J. C., Báez González, J. G., & Reyes Vázquez, N. C. (2022). Microemulsión de aceite de nuez pecanera para protección de ácidos grasos omegas en el desarrollo de un pan funcional bajo en grasa. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7, 254-260.
- Fawole, O. A., & Opara, U. L. (2013). Effects of storage temperature and duration on physiological responses of pomegranate fruit. *Industrial Crops and Products*, 47: 300-309.
- Flores-Amaro, M. G., Reyes-Vázquez, N. C., Obregón-Solís, E., & García-Fajardo, J. A. (2022). Determinación del perfil de ácidos grasos en tres variedades de nuez del estado de Nuevo León. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7, 227-233.
- Flores-Córdova, M. A., Berzoza Vasquez, P., Sánchez Chávez, E., Sáenz Solís, J. I., & S. y Hernández Carrillo J., G. M. (2016). Composición fisicoquímica y capacidad antioxidante del fruto del pecanero en condiciones de año de elevada producción ("on") y de año de baja producción ("off"). *Información Técnica Económica Agraria*, 112(3). 255-270. <https://doi.org/10.12706/itea.2016.016>
- Flores-Gallardo, Hilario & Santana Espinoza, Saúl & Ramírez-Delgado, Manuel & Nava-Camberos, Urbano. (2014). Control biológico en plagas del nogal pecanero. *Torreón: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. p, 2.

- Fuentes-Berrio, L., Acevedo-Correa, D., & Gelvez-Ordoñez, V. M. (2015). Functional foods: impact and challenges for development and welfare society Colombian. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 13(2): 140-149
- García-Martínez, E., Fernández, S., & Fuentes López, A. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/Garcia%20Mart%C3%ADnez%20et%20al.pdf?sequence=1>
- González R., C., & Gamalier, L. S. (2010). Botánica y fenología del nogal. En R. Bianchini & J. Millar (Eds.), *Manual de manejos productivos del nogal en Chile* (pp. 21-33). Estadísticas Chilenut. Santiago, Chile: Estadísticas Chilenut. <https://www.plataformaextension.cl/archivos/2023/03/Manual-de-manejos-productivos-del-nogal-en-Chile.pdf>
- González-González, J.A. (2009). Manual Básico SPSS: *Manual de introducción a SPSS*. Programa Jóvenes Profesionales. Centro de Inserción Laboral. Universidad de Talca, Chile. Disponible en: [https://www.academia.edu/67833717/Manual\\_basico\\_spss\\_universidad\\_de\\_talca](https://www.academia.edu/67833717/Manual_basico_spss_universidad_de_talca).
- Grageda-Grageda, J., Ruiz Corral, J. A., Jiménez Lagunes, A., & Fu Castillo, A. A. (2014). Influencia del cambio climático en el desarrollo de plagas y enfermedades de cultivos en Sonora. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(SPE10), 1913-1921
- Hernández-López, M., Rodríguez-Ortiz, J. C., Hernández-Montiel, L. G., Figueroa-Viramontes, U., Zapata-Sifuentes, G., & Preciado-Rangel, P. (2020). Corrección de la sintomatología “oreja de ratón” en nogal pecanero con aplicaciones foliares de

níquel. *Terra Latinoamericana: órgano científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C*, 38(4), 833–840. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.791>

Hernández-Vázquez, M. J., Guevara-Merino, E. M., Reyes-Vázquez, N. C., & Ponce Hernández, J. S. (2022). Calidad de aceite de nuez pecanera, [*Carya Illinoensis* (Wangenh.) K. Koch], variedad Rayones durante el almacenamiento. *Revista Fitotecnia Mexicana* 7, 7–12. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume7/7/1/2.pdf>

Husqvarna. (2019). Nogal, una de las especies arbóreas más cultivadas en la región europea. *Blog de Husqvarna*. Recuperado de <https://tiendahusqvarna.es/blog/nogal/>

Hidroponía, C. (14 de septiembre de 2017). Cultivo de nuez en México, ¿por qué es tan relevante? *Hydroenvironment*. <http://hidroponia.mx/cultivo-de-nuez-en-mexico-por-que-es-tan-relevante/>

Ignat, I., Volf, I., & Popa, V. I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126(4), 1821–1835. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.026>

Kader, A. A. (2002). Postharvest biology and technology: An overview. *Postharvest technology of horticultural crops*, 39-47.

Kafkas, E., Attar, S.H., Gundesli, M.A., Ozcan, A., Ergun, M. (2020). Phenolic and Fatty Acid Profile, and Protein Content of Different Walnut Cultivars and Genotypes (*Juglans regia* L.) Grown in the USA. *International Journal of Fruit Science*. 1-11. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1830014>.

Kornsteiner, M., Wagner, K.-H., & Elmadfa, I. (2006). Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types. *Food Chemistry*, 98(2), 381–387. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.033>

Lara, M. A. (2010). Manual de manejos productivos del nogal en Chile. En R. Bianchini & J. Millar (Eds.), *Manejo actual de la nutrición del nogal* (pp. 34–45). Estadísticas

Chilenut. <https://www.plataformaextension.cl/archivos/2023/03/Manual-de-manejos-productivos-del-nogal-en-Chile.pdf>

Lavalle, A. L., Micheli, E. B., & Rubio, N. (2006). Análisis didáctico de regresión y correlación para la enseñanza media. *Revista Latinoamericana de Invest. Mat. Educativa*, 9(3): 383-406.

Lee, Y., Lee, J., & Lim, C. (2021). Anticancer activity of flavonoids accompanied by redox state modulation and the potential for a chemotherapeutic strategy. *Food Science and Biotechnology*, 30(3), 321–340. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00899-8>

Lugasi A. (2009). Foods fortified with phytosterins: their role in decreasing the cholesterol level in serum, their Community authorization and requirements for placing them to the market. *Orvosi hetilap*, 150(11), 483–496. <https://doi.org/10.1556/oh.2009.28572>

Luna-Guevara, J.J., & Guerrero-Beltrán, J.Á. (2012). Evaluación de algunos índices físicos y químicos de aceites extraídos de nuez pecanera, nuez de castilla y Macadamia. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 22(2): 33-39.

Madawala, SRP, Kochhar, SP, & Dutta, PC (2012). Lipid components and oxidative status of selected specialty oils. *Grasas y Aceites*. 63(2): 143-151. <https://doi.org/10.3989/gya.083811>.

Madero, E. R., Trabichet, F. C., Pepe, F., & Wright, E. R. (2016). Sistema de conducción de las plantas y poda. En E. R. Madero, F. C. Trabichet, F. Pepe, & E. R. Wright (Eds.), *Manual de manejo del huerto de nogal pecán* (1ª ed., pp. 27-32). Ediciones INTA. Estación Experimental Agropecuaria Delta del Paraná. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/5792?locale-attribute=en>

Medina-Morales, M. del R., & Cano Ríos, P. (2002). Aspectos generales del nogal pecanero. En M. del R. Medina Morales & P. Cano Ríos (Eds.), *Tecnología de producción en nogal pecanero* (1ª ed., pp. 1-14). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).  
<https://es.scribd.com/document/277015124/Tecnologia-de-Produccion-de-Nogal-Pecanero>

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. (2019). *Guía de gestión integrada de plagas nogal* (Informe técnico). Recuperado de [https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/guiagipnogal\\_tcm30-507887.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/guiagipnogal_tcm30-507887.pdf)

Miraliakbari, H., & Shahidi, F. (2008). Oxidative stability of tree nut oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(12), 4751–4759.  
<https://doi.org/10.1021/jf8000982>

Montoya-Ballesteros, L. del C., García Pérez, TG, Martínez Núñez, YJ, Vázquez O., F., & Robles-Ozuna, LE (2010). Comportamiento de los ácidos grasos insaturados y vitamina E durante el almacenamiento de nuez (*Carya illinoensis*), confitada. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1), 59-66.  
<https://www.redalyc.org/pdf/813/81315093008.pdf>

Morales-Magallanes, H., Landeros Soriano, C., & Villegas Berúmen, H. G. (2020). Desarrollo tecnológico para la optimización de la extracción de nuez pecanera. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(5), 1111–1121.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2300>

Muncharaz-Pou, M. (2012). *El nogal. Técnicas de producción de fruto y madera*. Ediciones Mundi-Prensa.

Noperi-Mosqueda, L.C., Soto-Parra, J.M., Sánchez, E., Piña-Ramírez, F.J., Pérez-Leal, R., Flores-Córdova, M.A., Salas-Salazar, N.A. (2019). Impact of Organic and Mineral Fertilization in Pecan Nut on Production, Quality and Antioxidant Capacity. *Agricultural Sciences*. 10, 227-240.

Nossa-González, DL, Talero Pérez, YV, & Rozo Núñez, WE (2016). Determinación del contenido de polifenoles y actividad antioxidante de los extractos polares de consuelda (*Symphytum officinale* L). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 21 (2), 125–132.

Ojeda-Barrios, D. L., Arras Vota, A. M., Hernández-Rodríguez, O. A., López Díaz, J. C., Aguilar Valdés, A., & Denogean Ballesteros, F. G. (2010). ANÁLISIS FODA Y PERSPECTIVAS DEL CULTIVO DEL NOGAL PECANERO EN CHIHUAHUA. (27), 348–359. <https://www.redalyc.org/pdf/141/14114743006.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2024). Propiedades químicas. En *Clasificación de suelos: Sistemas numéricos*. Recuperado de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

Orona-Castillo, I., Espinoza Arellano, J. D. J., González Cervantes, G., Murillo Amador, B., García Hernández, J. L., & Santamaría César, J. (2006). Aspectos técnicos y socioeconómicos de la producción de nuez (*Carya illinoensis* Koch.) en la Comarca Lagunera, México. *Agricultura técnica en México*, 32(3), 295-301. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v32n3/v32n3a5.pdf>

Orona-Castillo, I., Sangerman Jarquín, D. M., Cervantes Vázquez, M. G., Espinoza Arellano, J. de J., & Núñez Moreno, J. H. (2019). La producción y comercialización

de nuez pecanera en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(8), 1797–1808. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1833>

Orona-Castillo, I., Sangerman-Jarquín, D. M., Fortis Hernández, M., Vázquez Vázquez, C., & Gallegos Robles, M. Á. (2013). Producción y comercialización de nuez pecanera (*Carya illinoensis* Koch) en el norte de Coahuila, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(3), 461–476. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342013000300010](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000300010)

Pinheiro-do Prado, A.C., Monalise Aragão, A., Fett, R., Block, J.M., 2009. Phenolic compounds and antioxidant activity of Pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch] kernel cake extracts obtained by sequential extraction. *Grasas y Aceites*. 60(5), 460-469. <https://doi.org/10.3989/gya.129708>

Prado, A. C. P. do, Manion, B. A., Seetharaman, K., Deschamps, F. C., Barrera Arellano, D., & Block, J. M. (2013). Relationship between antioxidant properties and chemical composition of the oil and the shell of pecan nuts [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch]. *Industrial Crops and Products*, 45, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.042>

Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición hospitalaria: órgano oficial de la Sociedad Española de Nutrición Parenteral y Enteral*, 27(1), 76-89. [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-16112012000100009&lng=es&tlng=es](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112012000100009&lng=es&tlng=es)

Ramesh-Kumar, S., & Keum, Y.-S. (2016). Tocopherols and tocotrienols in plants and their products: A review on methods of extraction, chromatographic separation, and detection. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 82, 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.025>

- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang y C. Rice–Evans. (1999). Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biol Med.* 26(9,10):1231–1237.
- Retes-López, R., Moreno Medina, S., Ibarra Flores, F. A., Martín Rivera, M. H., & Suárez Suárez, N. E. (2021). Cultivo de nogal pecanero en la Costa de Hermosillo asociado a su rentabilidad, ciclo 2020. *Revista mexicana de Agronegocios*, 48(2021), 714-723. <https://www.redalyc.org/journal/141/14167610012/html/>
- Retes-López, R., Nasaimea Palafox, A. R., Moreno Medina, S., Denogean Ballesteros, F. G., & Martín Rivera, M. H. (2014). Análisis de rentabilidad del cultivo de nogal pecanero en la costa de Hermosillo. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 34(2014).
- Reyes-Vázquez, N. del C. (2016). Aprovechamiento integral de la nuez pecanera como fuente de fitocompuestos. En N. del C. Reyes Vázquez & R. Urrea López (Eds.), *Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México* (pp. 96-111). CIATEJ. Reyes-Vázquez, N. del C., & Urrea López, R. (Eds.). (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). [https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion\\_5a43b790138f4.pdf](https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b790138f4.pdf)
- Rimbach, G., Minihane, A. M., Majewicz, J., Fischer, A., Pallauf, J., Virgli, F., & Weinberg, P. D. (2002). Regulation of cell signalling by vitamin E. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 61(4), 415–425. <https://doi.org/10.1079/pns2002183>  
[https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion\\_5a43b790138f4.pdf](https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b790138f4.pdf)
- Rodríguez-González, M., Arreola-Ávila, J. G., Trejo-Calzada, R., Cueto-Wong, J. A., Zegbe-Domínguez, J. A., Reyes-Juárez, I., & Borja-de la Rosa, A. (2021). Producción y viviparidad de nogal pecanero (*Carya illinoensis* [Wangenh.] K. Koch) en relación con la humedad del suelo. *Revista Chapingo serie ciencias*

*forestales y del ambiente*, 28(1), 155–167.

<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2021.07.046>

Rodríguez-Hernández, J. L. (2021). Plagas y enfermedades del nogal pecanero.

CESAVEQ. Recuperado de

<https://www.cesaveq.org.mx/cesa3/page/biblioteca/investigacion/MIPE%20DEL%20NOGAL.pdf>

[0NOGAL.pdf](https://www.cesaveq.org.mx/cesa3/page/biblioteca/investigacion/MIPE%20DEL%20NOGAL.pdf)

Rodríguez-Millán, P. S., Silva Ramírez, A. S., & Carrillo Inungaray, M. L. (2011).

Caracterización fisicoquímica del aceite de nuez de Macadamia (*Macadamia integrifolia*) Physicochemical characterization of Macadamia nut (*Macadamia integrifolia*) oil. *CyTA - Journal of Food*, 9(1), 58–64.

<https://doi.org/10.1080/19476331003597097>

Russo, R. O., & Sánchez, D. M. (2006). Los flavonoides en la terapia cardiovascular.

*Revista Costarricense de cardiología*, 8(1), 13-18. Recuperado de

[https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-41422006000100003&script=sci_arttext)

[41422006000100003&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-41422006000100003&script=sci_arttext)

Sammis, T. W., Mexal, J. G., & Miller, D. (2004). Evapotranspiration of flood-irrigated

pecans. *Agricultural Water Management*, 69(3), 179–190.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.05.005>

Sánchez, S. A. (2021, 7 de septiembre). Importancia del financiamiento en la red nuez

en Coahuila. *El Economista*.

[https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Importancia-del-financiamiento-en-la-](https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Importancia-del-financiamiento-en-la-red-nuez-en-Coahuila-20210907-0122.html)

[red-nuez-en-Coahuila-20210907-0122.html](https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Importancia-del-financiamiento-en-la-red-nuez-en-Coahuila-20210907-0122.html)

Sánchez-Tovar, V., & García, J. A. B. (2005). Extracción y caracterización fisicoquímica del aceite obtenido de nueces del fruto de Agüire (*Couepia dolichopoda* Prance) en la zona de planicie amazónica, municipio de Solano-Caquetá.

Sayago, A., Marin, M., Aparicio, R., & Morales, M. (2007). Vitamina E y aceites vegetales. *Grasas Y Aceites*, 58, 74–86.  
<https://doi.org/10.3989/GYA.2007.V58.I1.11>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017, 8 de octubre). Se incrementa 83 por ciento la producción de nuez en México. Recuperado de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/se-incrementa-83-por-ciento-la-produccion-de-nuez-en-mexico>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021, 8 de octubre). México, segundo exportador mundial de nuez pecanera sin cáscara. Recuperado de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-segundo-exportador-mundial-de-nuez-pecanera-sin-cascara?idiom=es>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). Boletín informativo: Producción agropecuaria y el clima - Región Lagunera (No. 2). Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/892300/BOLET\\_N\\_INF\\_PROD\\_A\\_GROP\\_Y\\_CLIMA\\_No\\_2.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/892300/BOLET_N_INF_PROD_A_GROP_Y_CLIMA_No_2.pdf)

Segura, R., Javierre, C., Lizarraga, M. A., & Ros, E. (2006). Other relevant components of nuts: phytosterols, folate and minerals. *The British Journal of Nutrition*, 96 Suppl 2, S36-44. <https://doi.org/10.1017/bjn20061862>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024, 12 de abril). Mucho ruido y muchas nueces de calidad. *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*.

Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/articulos/mucho-ruido-y-muchas-nueces-de-calidad?idiom=es>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024a). Cierre de la producción agrícola. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Recuperado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. (2017). Nogal (*Carya illinoensis* W.). gob.mx. Recuperado de <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/nogal-carya-illinoensis-w>

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. (2017, septiembre 1). Nogal (*Carya illinoensis* W.). Recuperado de <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/nogal-carya-illinoensis-w>

Sifuentes-Ibarra, E., Samaniego Gaxiola, J. A., Anaya Salgado, A., Núñez Moreno, J. H., Valdez Gascón, B., Gutiérrez Soto, R. G., Ruelas Islas, J. del R., & Macías Cervantes, J. (2015). Programación del riego en nogal pecanero (*Carya illinoensis*), mediante un modelo integral basado en tiempo térmico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(8), 1893–1902. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342015000801893](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000801893)

Slatnar, A., Mikulic-Petkovsek, M., Stampar, F., Veberic, R., Solar, A. (2015). Identification and quantification of phenolic compounds in kernels, oil and bagasse pellets of common walnut (*Juglans regia* L.). *Food Research International*. 67, 255-263. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.016>.

Suárez-Jacobo, Á., & Urzúa Esteva, E. (2016). Oportunidades tecnológicas para la nuez en el sector alimenticio. En N. del C. Reyes Vázquez & R. Urrea López (Eds.), *Retos*

y oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México (pp. 73-92). CIATEJ. [https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion\\_5a43b790138f4.pdf](https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b790138f4.pdf)

Suárez-Jacobo, Á., Obregón Solís, E., Urzúa Esteva, E., Cervantes Martínez, J., García Fajardo, J. A., Reyes Vázquez, N. del C., & Urrea López, R. (2016). Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México. En N. del C. Reyes Vázquez & R. Urrea López (Eds.), Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). [https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion\\_5a43b790138f4.pdf](https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b790138f4.pdf)

Sun, W., & Shahrajabian, M. H. (2023). Therapeutic potential of phenolic compounds in medicinal plants—natural health products for human health. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 28(4), 1845. <https://doi.org/10.3390/molecules28041845>

Tarango-Rivero, S. H. (2012). Manejo del nogal pecanero con base en su fenología (3<sup>a</sup> ed.). Folleto técnico No. 24. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Recuperado de [https://comenez.com/wp-content/uploads/manejo\\_del\\_nogal\\_pecanero\\_con\\_base\\_en\\_su\\_fenologia1.pdf](https://comenez.com/wp-content/uploads/manejo_del_nogal_pecanero_con_base_en_su_fenologia1.pdf)

Tarango-Rivero, S. H., García Nevárez, G., Burrola Morales, J. R., & González Hernández, A. (2013). Manejo del barrenador del ruezno en Chihuahua (1<sup>a</sup> ed.). Folleto técnico No. 42. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Recuperado de <https://comenez.com/wp-content/uploads/manejo-del-barrenador-del-ruezno-en-chihuahua-1.pdf>

Tavakoli, M., Tarkesh Esfahani, M., Soltani, S., Karamian, R., & Aliarabi, H. (2022). Effects of ecological factors on phenolic compounds in *Salvia multicaulis* Vahl (Lamiaceae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 104(104484), 104484. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2022.104484>

Torabian, S., Haddad, E., Rajaram, S., Banta, J., & Sabaté, J. (2009). Acute effect of nut consumption on plasma total polyphenols, antioxidant capacity and lipid peroxidation. *Journal of Human Nutrition and Dietetics: The Official Journal of the*

*British Dietetic Association*, 22(1), 64–71. <https://doi.org/10.1111/j.1365-277X.2008.00923.x>

Toro-Vazquez, J. F., Charó-Alonso, M. A., & Pérez-Briceño, F. (1999). Fatty acid composition and its relationship with physicochemical properties of pecan (*Carya illinoensis*) oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(8), 957–965. <https://doi.org/10.1007/s11746-999-0113-4>

Trandafir, I., Cosmulescu, S. 2020. Total Phenolic Content, Antioxidant Capacity and Individual Phenolic Compounds of Defatted Kernel from Different Cultivars of Walnut. *Erwerbs-Obstbau*. 62(3): 309-314. <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00501-1>

Upton, S., Rohla, C., Locke, J., & Springer, J. (2012). *Pecan Production 101: Establishing and Managing an Improved Variety Pecan Enterprise in the Southern Great Plains*. Samuel Roberts Noble Foundation.

Urrea-López, R., & Urzúa Esteva, E. (2016). Retos y oportunidades en la producción de nuez pecanera en México. En N. del C. Reyes Vázquez & R. Urrea López (Eds.), *Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México* (pp. 1-42). CIATEJ.

[https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion\\_5a43b790138f4.pdf](https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b790138f4.pdf)

Venkatachalam, M., Kshirsagar, H. H., Seeram, N. P., Heber, D., Thompson, T. E., Roux, K. H., & Sathe, S. K. (2007). Biochemical composition and immunological comparison of select pecan [*Carya illinoensis* (wangenh.) K. koch] cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(24), 9899–9907. <https://doi.org/10.1021/jf0714721>

Villalpando-Ibarra, J. F., & Ruiz Corral, J. A. (1993). Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura.

Villaseca, C. (2007). El nogal, una especie exigente en suelo y clima. *Tierra Adentro*, 74. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6332>

Yilmaz, R., Yildirim, A., Çelik, C., & Karakurt, Y. (2021). Bazı Pikan Ceviz Çeşitlerinin Meyve Özellikleri İle Biyokimyasal İçeriklerinin Belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(4), 906–914.

<https://doi.org/10.29133/yyutbd.899879>

Zamora S., J. D. (2007). Antioxidantes: micronutrientes en lucha por la salud. *Revista chilena de nutrición*, 34(1), 0. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46934102>

Zavala, T. (2024, mayo 26). *Cuántas nueces comer al día para bajar el colesterol*. El Universal. <https://www.eluniversal.com.mx/menu/cuantas-nueces-comer-al-dia-para-bajar-el-colesterol/>