



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MEXICO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



Contenido fenólico y unidades SPAD en *Crataegus mexicana* en función de la fertilización

TESIS COLECTIVA

COMO TRÁMITE INICIAL PARA LA EVALUACIÓN PROFESIONAL
DE LA CARRERA DE INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA

PRESENTAN

GABRIELA GÓMEZ ACOSTA
MARIANO DÍAZ TÉLLEZ

GENERACIÓN
44

NO. DE CUENTA
1572117
1570026

ASESORES

DR. OMAR FRANCO MORA
DR. JESÚS RICARDO SÁNCHEZ PALE

TOLUCA, MÉXICO, 2024

ÍNDICE

PÁGINA

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	OBJETIVOS.....	3
2.1.	OBJETIVO GENERAL.....	3
2.1.1.	Objetivos específicos.....	3
III.	HIPÓTESIS.....	4
IV.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1.	PRODUCCIÓN Y MANEJO DEL CULTIVO.....	5
4.1.1.	Necesidades nutrimentales.....	7
4.1.2.	Influencia de la fertilización en las hojas.....	7
4.1.2.1.	Clorofila.....	7
4.2.	MERCADO.....	9
4.3.	VALOR NUTRACEÚTICO.....	11
4.3.1.	Contenido fenólico.....	12
4.4.	IMPORTANCIA PARA LA SALUD HUMANA.....	15
V.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
5.1.	UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	19
5.2.	MANEJO DEL CULTIVO.....	20
5.2.1.	Fertilización.....	21
5.3.	EVALUACIÓN DEL CICLO VEGETATIVO.....	23
5.3.1.	Medición de unidades SPAD.....	24
5.3.2.	Determinación del área foliar.....	24
5.3.3.	Contenido de materia seca.....	25

5.3.4. Contenido de compuestos fenólicos.....	25
5.4. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	27
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
6.1. UNIDADES SPAD.....	28
6.2. ÁREA FOLIAR.....	31
6.3. MATERIA SECA FOLIAR.....	34
6.4. COMPUESTOS FENÓLICOS.....	35
6.5. MATERIA SECA DE RAMAS.....	38
VII. CONCLUSIONES.....	42
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

No.		<i>Pág.</i>
1	Datos meteorológicos reportados por la estación climatológica Álvaro Obregón dependiente de CONAGUA (datos 1981-2010).	17
2	Fecha de aplicación y dosis de fertilización por aplicación a tejocoteros establecidos en Pueblo Nuevo, Lerma, México, en 2023.	22
3	Dosis anual de nitrógeno, fósforo y potasio aplicada en 2023 a tejocoteros establecidos en Pueblo Nuevo, Lerma, México.	23
4	Área foliar en tejocoteros establecidos en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, México, en cinco fechas de 2023	31
5	Valor de F y su significancia para el contenido de compuestos fenólicos en hojas de tejocotero en cinco fechas de muestreo y tratados con diferentes dosis de fertilización.	35
6	Contenido fenólico foliar en tejocoteros en cinco fechas de muestreo en el año 2023.	36
7	Contenido fenólico en tejocoteros en cinco fechas de muestreo por efecto de cinco dosis de fertilización en el año 2023.	37
8	Materia seca en ramas de tejocoteros fertilizados con cinco dosis diferentes en cinco ocasiones durante el año 2023	39

ÍNDICE DE FIGURAS

No.		Pág.
1	Planta representativa del tejocotero 'Probosque' creciendo en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan.	18
2	Vista parcial del lote experimental de tejocotero en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan. Se observa el medidor de clorofila SPAD	19
3	Presencia del frailecillo o tonto (<i>Macrodactylus</i> sp.) y su daño al follaje de tejocotero en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan.	20
4	Vista de los árboles de tejocote podados en diciembre de 2023.	21
5	Vista de la aplicación del fertilizante a un tejocotero en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma.	22
6	Toma de lectura del verdor foliar de tejocotero con el medidor SPAD	24
7	Pesado de las hojas de tejocotero para su posterior ebullición en agua corriente.	26
8	Curva patrón para obtener la ecuación para determinar el contenido de compuestos fenólicos en hojas de tejocotero, por el método colorimétrico de Folín Cicalteu, 2023.	26
9	Valor de las unidades SPAD en hojas de árboles de tejocotero bajo fertilización diferenciada en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, México, 2023.	29
10	Área foliar en árboles de tejocotero fertilizados con cinco dosis diferentes y muestreadas en cinco fechas del año 2023. Los datos son directos del integrados foliar con el total de hojas muestreadas	33

- | | | |
|----|--|----|
| 11 | Porcentaje de materia seca foliar en el año 2023 en tejocoteros con fertilización diferenciada con triple 18. Los datos son la media de 3 repeticiones, 10 hojas por repetición. | 34 |
| 12 | Representación gráfica del modelo cuadrático para el efecto de cinco dosis de fertilización y el contenido de materia seca en ramas de tejocotero. Se presenta la línea del modelo lineal como referencia. | 40 |
| 13 | Representación gráfica del modelo lineal del efecto de tres dosis de fertilización y el contenido de materia seca en ramas de tejocotero. | 40 |

Contenido fenólico y unidades SPAD en *Crataegus mexicana* en función de la fertilización¹

Gabriela Gómez Acosta y Mariano Díaz Téllez

¹ Tesis de Licenciatura que se presenta como requisito parcial para obtener el título de Ingeniera/o Agrónoma/o Fitotecnista. Asesores de Tesis: Dr. Omar Franco Mora y Dr. Jesús Ricardo Sánchez Pale

El fruto del tejocote (*Crataegus mexicana* Moř & Sess. ex DC) ha sido empleado tradicionalmente y desde tiempos prehispánicos en México. Particularmente en el Estado de México, incluyendo el Valle de Toluca, se consume fresco o cocido en distintas festividades. Sin embargo, se ha dado poca atención al manejo agronómico de esta especie. Árboles de tejocote de dos años de edad fueron fertilizados con 5 dosis de triple 18 (N-P-K), 0, 200, 400, 600 y 800 g/árbol/año, cada dosis se dividió en 5 ocasiones. El lote experimental se encuentra en la localidad de Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, Estado de México. La dosis de 600 g/árbol/año presentó de manera constante el mayor verdor de las hojas. Además del fertilizante, se observó que el verdor de las hojas posiblemente fue influenciado por las condiciones ambientales y la etapa fenológica, en el mes de junio se tuvo el mayor verdor en todos los tratamientos de fertilización. Por otro lado, la fertilización no influyó en el área, ni en el contenido de materia seca foliar, pero, en dichas variables, si influyeron las condiciones ambientales. El contenido de compuestos fenólicos fue afectado por la fertilización y la fecha de muestreo; el promedio de mayor contenido para todos los tratamientos de fertilización (6.48 mg de equivalente de ácido gálico por gramo de peso fresco de hoja) se presentó en junio; y para esa fecha, la dosis

de 400 g/árbol/año generó el mayor contenido de compuestos fenólicos (8.17 mg de equivalente de ácido gálico por gramo de peso fresco de hoja). El contenido de materia seca en ramas no presentó diferencias estadísticas por la fertilización aplicada; pero después de observar el modelo cuadrático generado, se realizó un análisis con las tres dosis de fertilización menores (0, 40 y 80 g/árbol/aplicación), y se generó una explicación lineal entre la fertilización con N-P-K y la materia seca en ramas de tejocotero. De acuerdo a lo evaluado, se sugiere continuar la aplicación de dosis de triple 18 entre 400 y 600 g/árbol/año; además de determinar la influencia de estas fertilizaciones en los años de desarrollo arbóreo siguientes.

Palabras clave: clorofila, herbolaria, huerto, nutrición, tejocote,

ABSTRACT

Phenolic content and SPAD units in *Crataegus mexicana* in function of fertilization¹

Gabriela Gómez Acosta and Mariano Díaz Téllez

¹ Thesis Project that is presented as a partial requirement to obtain the title of Agricultural Engineer. Thesis Advisors: Dr. Omar Franco Mora and Dr. Jesús Ricardo Sánchez Pale.

The fruit of hawthorn (*Crataegus mexicana* Moř & Sess. ex DC) has been used traditionally and since pre-Hispanic times in Mexico. Particularly, in the State of Mexico, including the Valley of Toluca, it is consumed fresh or cooked in different festivities. However, little attention has been given to the agronomic management of this species. Two-year-old hawthorn trees were fertilized with 5 doses of 18-18-18 (N-P-K), 0, 200, 400, 600 and 800 g/tree/year, each dose was divided in 5 application times. The experimental plot is located in the town of Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, State of Mexico. The dose of 600 g/tree/year consistently presented the greatest greenness of the leaves. In addition to the fertilizer, it was observed that the greenness of the leaves was possibly influenced by environmental conditions and the phenological stage, in the month of June there was observed the highest greenness in all fertilization treatments. Otherwise, fertilization did not influence the foliar area and foliar dry matter content, but those variables were, environmental influenced. The content of phenolic compounds was affected by fertilization and sampling date; the average of highest content for all fertilization treatments (6.48 mg of equivalent of gallic acid (EGA) per gram of fresh leaf weight) was presented in June; and during the year, the dose of 400 g/tree/year generated the highest content

of phenolic compounds (8.17 mg of EGA per gram of fresh leaf weight). The dry matter content in branches did not present statistical differences due to the fertilization applied; but after observing the quadratic model generated, an analysis was carried out with the three minor fertilization doses (0, 40 and 80 g/tree/application), and a linear explanation was generated between fertilization with N-P-K and dry matter in hawthorn branches. According to present results, it is suggested to continue the application of fertilizer 18-18-18 at doses between 400 and 600 g/tree/year; in addition to determining the influence of these fertilizations in the following years of tree development.

Keywords: chlorophyll, herbalism, garden, nutrition, hawthorn.

1. INTRODUCCIÓN

El fruto del tejocote (*Crataegus mexicana* Mot & Sess. ex DC) ha sido empleado tradicionalmente y desde tiempos prehispánicos en México. Particularmente en el Estado de México, incluyendo el Valle de Toluca, se consume fresco o cocido en distintas festividades. Es apreciado preferentemente en épocas navideñas debido a su empleo en la elaboración del ponche. Sin embargo, se ha dado poca atención al manejo agronómico de esta especie.

Al ser una especie que crece de manera natural en el Estado de México, el Valle de Toluca es un lugar de alto potencial productivo de tejocote; pero deben de estudiarse las técnicas de fruticultura comercial que pueden incrementar la calidad y producción de su fruto, e incluso el valor nutracéutico de sus hojas. Entre estas técnicas se encuentra la fertilización.

La nutrición de los tejocoteros se ha dejado al contenido natural de elementos esenciales que tienen los suelos en donde crecen. Por lo que es interesante tener estudios sobre la aplicación de fertilizantes comerciales; particularmente en este se trabajó se empleó triple 18 (N-P-K). De las cinco dosis de fertilización empleadas, la aplicación de 400 ó 600 g/árbol/año en árboles de dos años de edad, generó mayor desarrollo en dichas plantas. El tejocotero, además de ser una especie nativa poco estudiada, tiene el carácter de perenne y se sabe que puede empezar a producir frutos a partir del tercer año. Al estar adaptado a las

condiciones ambientales del Valle de Toluca, es importante establecer trabajos a largo plazo, o multianuales, para generar o mejorar los paquetes tecnológicos de producción para esta especie.

Por ello, con este trabajo, se inicia un proyecto a mediano y largo plazo para proponer un paquete tecnológico del tejocotero en el municipio de Lerma. Asimismo, se genera información en relación al aprovechamiento integral de esta especie, ya que en este trabajo también se determinó el contenido foliar de compuestos fenólicos, los cuales son fuente de antioxidantes y su determinación puede relacionarse con la capacidad antioxidante.

En el Valle de Toluca, el tejocote es uno de los frutales nativos que mejor se desarrollan antes las adversidades climáticas. Por ello, para mantener la producción de tejocote e incrementar su cultivo, es importante generar o mejorar los paquetes tecnológicos de producción para esta especie. Se sabe, que los trabajos en frutales se realizan en varios ciclos de cultivo, por lo que con en este trabajo se inicia un proyecto a mediano y largo plazo para proponer un paquete tecnológico del tejocotero en el municipio de Lerma. Asimismo, se genera información en relación al aprovechamiento integral de esta especie, ya que se en este trabajo se busca conocer si existe relación entre la fertilización y el contenido de compuestos fenólicos, involucrados con la capacidad antioxidante.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la influencia de cinco dosis de fertilización sobre el desarrollo vegetal de *Crataegus mexicana* en el municipio de Lerma, Estado de México.

2.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el estado fisiológico de los árboles con la medición del contenido de clorofila en hojas (unidades SPAD).
- Registrar el área foliar, peso seco y peso fresco de hojas de tejocotero fertilizados con 5 dosis diferentes.
- Determinar el contenido de compuestos fenólicos en hojas de tejocotero, mediante el método Folín-Ciocalteu.

3. HIPOTESIS

La aplicación de cinco dosis de fertilización, conteniendo nitrógeno, fósforo y potasio, a través de un año, a árboles de *Crataegus mexicana*, provocará cambios en los indicadores de desarrollo vegetal.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. PRODUCCIÓN Y MANEJO DEL CULTIVO

El tejocote es apreciado preferentemente en épocas navideñas debido a su empleo en la elaboración del ponche, bebida tradicional asociada a las posadas mexicanas (Franco-Mora *et al.* 2010). Además del consumo en fresco, como fruta de temporada, el tejocote se procesa para obtener ate, jaleas y mermeladas debido a que posee alto contenido de pectinas y azúcares (Huerta *et al.*, 2015). Frutos, hojas y raíces son bastante apreciadas por contener vitamina C, carotenoides y sales minerales como calcio, fósforo y hierro (Nieto y Borys, 2008), por ello se han empleado tradicionalmente para aliviar diversas enfermedades humanas, entre ellas, padecimientos del corazón, del sistema respiratorio y del urinario (Nieto y Borys, 1993; Özcan *et al.*, 2005).

Aunque no existen datos concretos de manejo de esta especie, se indica que en Calpan, Puebla, en promedio, cada productor de tejocote maneja 1.7 ha con 190 árboles, cuya edad es de 25 años (Bustos, 2020). Esta información resulta en aproximadamente 89 metros cuadrados por árbol, siendo un ejemplo de esta densidad de población, un arreglo espacial de aproximadamente 10 metros entre líneas y 9 m entre árboles. Bustos (2020) agrega que, en dicho municipio poblano, la distancia más empleada es entre hileras de árboles 10 metros y entre árboles 6

metros. Continúa indicando que casi en su totalidad, los productores emplean el sistema de asociación con cultivos perennes y/o anuales. El 85% de los productores abona y fertiliza, realiza deshierbe manual, 80% de ellos controla plagas y enfermedades y 30% cosecha contratando gente, además de participar el productor y su familia; el resto cosecha solo con su familia.

El tejocotero puede reproducirse por semilla o por propagación asexual a través del estacado, acodado e injerto (SIRE, s/f). Aunque en la mayoría de los lugares donde se produce tejocote, se emplean selecciones locales o criollas, Nieto *et al.* (2008) recomiendan los cultivares 'Centenario', 'Tempranero', 'Eli', 'Calpan Gold' y 'Chapeado', los cuales pueden injertarse sobre materiales criollos.

El tejocotero debe podarse en invierno, y es factible hacerlo en verano y otoño. Se recomienda limitar la dominancia apical del tronco central y favorecer el crecimiento de las ramas secundarias, las cuales al tener crecimiento horizontal favorecen la producción de frutos (Nieto y Borys, 2008).

Las principales plagas reportadas por los tejocoteros de Calpan, Puebla, fueron: barrenador del hueso (*Conotrachelus crataegi*), mosca de la fruta (*Rhagoletis pomonella*), escama tortuga (*Quadraspidiotus perniciosus*) y araña roja (*Eotetranychus lewisi*). Mientras que una compilación de autores, indica que las principales enfermedades son roya (*Gymnosporangium clavipes*), bacteriosis (*Pseudomonas syringae*), tizón de fuego (*Erwinia amylovora*), roña (*Venturia inaequalis*) y alternaría (*Alternaria* spp.) (Núñez *et al.*, 2012).

4.1.1. NECESIDADES NUTRIMENTALES

En el municipio de Calpan, Puebla, aproximadamente 40% de los productores de tejocote aplican estiércol bovino a sus plantas. La dosis varía de acuerdo a la edad de la planta. Aplican de 10 a 20 litros de estiércol a árboles de 1 a 3 años; de 5 a 80 litros para árboles de 4 a 6 años, y de 3 a 160 litros a los tejocoteros de 7 a 30 años. La dosis de fertilizante químico no se puede calcular, ya que solo se indica que aplican de 0.1 a 0.2 kg por árbol de 1 a 3 años; de 0.1 a 0.5 kg por árbol de 4 a 6 años; de 0.15 a 3 kg por árbol de 7 a 30 años. Mientras que las principales fuentes listadas fueron fosfato di amónico (DAP) (18-46-00), triple 17 y urea (46-00-00). Los productores de temporal, que son la mayoría, fertilizan o abonan de abril a junio, mientras que los productores con riego en su huerta fertilizan de febrero a abril y algunos de ellos dan una segunda aplicación de septiembre a enero (Bustos, 2020). Por su parte, SIRE (s/f) indica que el tejocotero es una planta que no requiere fertilización.

4.1.2. INFLUENCIA DE LA FERTILIZACIÓN EN LAS HOJAS

4.1.2.1. CLOROFILA

La clorofila es importante en la planta para realizar la fotosíntesis. En las plantas, existen tres tipos de clorofila y revisten la mayor relevancia dado que se utilizan para la síntesis de glucosa a partir de CO_2 y H_2O , con liberación de O_2 y en etapa de plántula es fundamental dada la alta demanda de carbohidratos para el crecimiento y desarrollo de la planta completa (Bidwell, 1990).

La clorofila en la hoja está estrechamente relacionada con la concentración de nitrógeno y, por lo tanto, refleja el estado nutricional con respecto a este importante nutrimento. El nitrógeno es necesario para la síntesis de la clorofila y, como parte de esta molécula, está involucrado en el proceso de fotosíntesis (Salisbury y Ross, 1992; Potash and Phosphate Institute, 1997). Cantidades adecuadas de nitrógeno en la planta, producen hojas de color verde oscuro debido a que estas tienen alta concentración de clorofila. El pigmento verde de la clorofila absorbe la energía de la luz necesaria para iniciar la fotosíntesis (Rincón-Castillo, 2010).

Existen diversos métodos para determinar el contenido de clorofila en tejidos vegetales; sin embargo, estos suelen ser destructivos y costosos, además de ser muy lentos, en comparación con el uso del SPAD-502 (Moran, 1982; Hurtado *et al.*, 2017). Así, se ha reportado que existe clara correlación entre las unidades SPAD (Análisis del Desarrollo de la Planta en el Suelo, por sus siglas en inglés Soil Plant Analysis Development) y la concentración de clorofila y nitrógeno total en hojas (Rodríguez *et al.*, 1998; Padilla *et al.*, 2014; Camen *et al.*, 2017). El medidor SPAD-502, permite determinar, indirectamente, el contenido de clorofila en tejidos vegetales sin necesidad de destruir las muestras, agregando la ventaja de tener resultados inmediatos (Hurtado *et al.*, 2017).

Los valores SPAD se obtienen en función del principio que considera que parte de

la luz que llega a la hoja es absorbida por la clorofila y la parte que se refleja entra en contacto con la celda SPAD-502 donde se transforma en una señal eléctrica. (Hurtado *et al.*, 2017). La luz captada por la celda es inversamente proporcional a la luz utilizada por la clorofila, la señal es procesada, la absorbancia se cuantifica en valores dimensionales que van de 0 a 199 y las unidades SPAD serán siempre las mismas, según el tono verde de las hojas (Krugh *et al.*, 1994).

4.2. MERCADO

En los sistemas de producción frutícola existe alto grado de participación de intermediarios y fuerte desconocimiento del mercado por los productores, lo que se refleja en precios muy bajos de la fruta fresca para el productor primario. La cosecha y venta de tejocote, en la mayoría de los municipios productores de México, se realiza principalmente en dos fechas, la primera en Día de Muertos y la segunda en la primera semana de diciembre, para las fiestas de fin de año (Núñez, 2022).

Núñez (2022) afirma que, para general valor agregado, es necesario que, no sólo se comercialice el tejocote durante la temporada decembrina, sino que pueda ser utilizado en el transcurso del año, a través de la deshidratación de la pulpa y posterior utilización en la elaboración de diferentes platillos en la cocina mexicana. Asimismo, como alternativa se puede extraer la pectina para aplicaciones industriales, la cual es espesante en la elaboración de gelatinas, y en las

aplicaciones farmacéuticas, para elaborar cremas y geles reafirmantes.

En un estudio realizado en Puebla, se informó que el 70% de la cosecha se vende solo en el mercado local, y el resto se envía al mercado regional a través de intermediarios que lo distribuyen al resto del país (Muñiz, 2011). De acuerdo con los datos, de la venta total, el 70% de la cosecha se destina al consumo en fresco y el resto a la industria (Núñez, 2022).

De cada 10 tejocotes que se consumen en México, 9 provienen del estado de Puebla, representando el 94% del total del país, dejándole el 6% restante al Estado de México, Tlaxcala, Chiapas, Michoacán, Hidalgo y Morelos (Núñez, 2022).

En cuanto a la exportación de tejocote a Estados Unidos, se anunció su apertura el 30 de marzo de 2015, siendo Puebla el único estado exportador, siempre y cuando el productor cuente con su certificado fitosanitario expedido por la SENASICA, el cual demuestre que su fruta se encuentra libre de riesgos de plagas cuarentenarias (Núñez, 2022).

4.3. VALOR NUTRACEÚTICO

El tejocotero, con una gran variedad de especies en México, es representativo de

las plantas mexicanas empleadas en la medicina tradicional (Banderas-Tarabay *et al.*, 2015). Por sus antecedentes en la herbolaria mexicana y porque en los últimos años se ha incrementado el interés en la búsqueda de antioxidantes naturales, generalmente constituidos por mezclas de compuestos con elevada diversidad molecular y funcionalidad biológica (García-Mateos *et al.*, 2013), el tejocote, al igual que otras especies vegetales de origen mexicano, han recobrado interés en su cultivo y producción.

Banderas-Tarabay (2015) reportó información acerca de la composición y contenido de metabolitos antioxidantes en *Crataegus mexicana*. Los compuestos fenólicos tienen una gran capacidad antioxidante; la cual es considerada la actividad biológica responsable del efecto preventivo sobre algunas enfermedades de origen cardiaco e inmunológico (García-Mateos *et al.*, 2013).

En hojas, fruto y raíces de *C. mexicana* se han encontrado altas concentraciones de diversos metabolitos secundarios, tales como bi-flavonoides, procianidinas oligoméricas de flavonoides, ácidos fenólicos, ácidos triterpénicos, ácidos orgánicos y los esteroides, epicatequina y catequina (Edwards *et al.*, 2012). En relación con el contenido de flavonoides, en el fruto de *Crataegus mexicana* no tienen alta importancia para su desarrollo; sin embargo, su rol es la de aportar color y protección contra los rayos solares a la cáscara y la pulpa, e incluso contra los agentes patógenos, ataque de insectos y eventos de cicatrización. La concentración

de flavonoides dependerá de factores ambientales, como estrés hídrico, intensidad solar y tipo de terreno. La alta concentración de estos metabolitos en la cáscara tiene como resultado amplia diversidad de actividad biológica, antimicrobiana, antifúngica y antioxidante (Havsteen, 2002; García-Mateos *et al.*, 2013).

Como se sabe, la actividad antioxidante se asocia al contenido de flavonoides, y a la estructura y disposición de los grupos hidroxilo en esos compuestos (Kirakosyan *et al.*, 2003). Investigaciones han demostrado que algunos subproductos de procesos agroindustriales contienen compuestos bioactivos, principalmente compuestos fenólicos, que actúan sinérgicamente como protectores en contra de agentes oxidantes (Pasqualone *et al.*, 2018).

4.3.1. CONTENIDO FENÓLICO

Los fenoles son compuestos bioactivos que actúan sinérgicamente como protectores en contra de agentes oxidantes (Pasqualone *et al.*, 2018). Los compuestos fenólicos participan en la estabilización de los radicales libres y metales al actuar como donantes de electrones (Robles-Botero *et al.*, 2020). Regularmente, los compuestos fenólicos actúan deslocalizando uno de sus electrones y lo hacen reaccionar con otros antioxidantes o mediante la unión a metales (Cu y Fe). Sin embargo, el efecto antioxidante mostrado por el extracto depende de su composición y concentración (Sokoł-Łętowska *et al.*, 2007).

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios esenciales para el crecimiento y reproducción de las plantas, son sintetizados como parte del mecanismo de defensa en condiciones de estrés y protegen a las plantas de enfermedades. Todos contienen en su estructura al menos un grupo fenol, mismo que a su vez puede tener más de un grupo hidroxilo (Vermerris y Nicholson, 2008).

Estos compuestos bioactivos se clasifican en polifenoles y fenoles simples. Los fenoles simples más abundantes del género *Crataegus* generalmente son ácidos fenólicos, mientras que los flavonoides son los compuestos polifenólicos más importantes en el tejocote. Estos últimos se encuentran generalmente conjugados con azúcares y ácidos orgánicos. El contenido de flavonoides en los frutos de tejocote suele representar entre 27 y 84% del contenido de compuestos fenólicos totales (Núñez-Colín *et al.*, 2008) y son los responsables de la actividad farmacológica (Refaat *et al.*, 2010). Dentro de los flavonoides, destacan en diferentes partes de la planta los flavonoles, flavonas y procianidinas (Chang *et al.*, 2002; Cui *et al.*, 2006).

Factores climáticos, hidrológicos y geográficos, así como los modelos productivos utilizados en las distintas regiones, influyen en la productividad y en el contenido de compuestos bioactivos (Jing *et al.*, 2007; Mekonnen y Hoekstra, 2010).

Reyes-Becerril *et al.* (2019) reportaron que los compuestos fenólicos extraídos de *C. mexicana*, nanoencapsulados en maltodextrina, lograron aumentar el porcentaje de células fagocíticas, estimularon la producción de especies reactivas de oxígeno y modularon la capacidad antioxidante, al aumentar la actividad de la enzima superóxido dismutasa en leucocitos de peces de la especie *Seriola rivoliana*.

En un estudio realizado por Robles-Botero *et al.* (2020), en los extractos de semilla de *C. mexicana*, se identificaron los flavonoides catequina y vitexina; esta última es un flavonoide de la subclase flavonas, cuya presencia en hojas y semillas proporciona protección contra la radiación UV-B. Este tipo de radiación es la que estimula su síntesis y acumulación en el tejido vegetal (Edwards *et al.*, 2012).

Las actividades biológicas documentadas para las especies de *Crataegus*, se asocian con la presencia de vitexina, de la que se tienen informes sobre su acción farmacológica como un potente antioxidante, anticancerígeno, antiinflamatorio y eficaz neuroprotector (Robles-Botero *et al.*, 2020).

4.4. IMPORTANCIA PARA LA SALUD HUMANA

Las especies de *Crataegus* han sido empleadas en muchas partes del mundo para el tratamiento de diversas enfermedades cardíacas e hipertensión, particularmente en Europa, China y América del Norte. Estudios *in vitro* e *in vivo* han demostrado que los extractos obtenidos de las hojas, flores y frutos, inducen efectos

antiisquemia por reperfusión coronaria, antiarrítmicos, hipolipidémicos, vasorelajantes, antiinflamatorios, hipotensores y cardioprotectores (Bujor *et al.*, 2020; Nazhand *et al.*, 2020). Además, existen pruebas de que el tejocote puede reducir significativamente la presión arterial en pacientes con hipertensión leve en tratamientos a largo plazo (Cloud *et al.*, 2020). Se puede indicar que los órganos, o sus extractos, poseen capacidad antioxidante, cardioprotectora, hipolipidémica, antiinflamatoria, antiespasmódica, diurética y digestiva, entre otras (Arrieta *et al.*, 2010). De igual manera, existen informes sobre su acción farmacológica como potente anticancerígeno y eficaz neuroprotector (Robles-Botero *et al.*, 2020).

En México, como en otros países, las distintas variedades de *Crataegus* han sido utilizadas como tratamiento de muchas enfermedades respiratorias, tales como gripe, tos, bronquitis y asma (Pérez-Lainez, 2014). Las decocciones preparadas a partir de hojas, frutos y flores de *Crataegus* spp. se han utilizado en la medicina tradicional mexicana para el tratamiento de diversas enfermedades respiratorias como tos, resfriado, bronquitis, como diurético y para mejorar el flujo sanguíneo coronario (Martínez, 1991; Arrieta *et al.*, 2010).

Algunos autores consideran que la acción antioxidante del extracto de *Crataegus* es atribuible a un complejo de compuestos activos, que puede denominarse efecto sinérgico. Con frecuencia se han utilizado extractos de plantas enteras y/o combinaciones de flavonoides en lugar de clases específicas aisladas de fitoquímicos. Se ha descubierto que la separación de extractos fenólicos de

Crataegus en compuestos individuales no parece ser benéfica en cuanto a sus efectos antioxidantes, ya que las mezclas de compuestos tienden a ejercer efectos más fuertes que los de compuestos individuales en las mismas concentraciones (Arrieta *et al.*, 2010). Los estudios sobre la composición química y el efecto farmacológico de las especies de *Crataegus* han llevado al desarrollo de extractos estandarizados y medicinas a base de hierbas útiles en el tratamiento de enfermedades cardíacas crónicas leves (Koch y Malek, 2011).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

El lote experimental se encuentra en la localidad de Pueblo Nuevo, Lerma, Estado de México. Las condiciones climatológicas del lugar se muestran en la Tabla 1; la altitud aproximada del lugar es 2589 metros (CONAGUA, 2022).

Tabla 1. Datos meteorológicos reportados por la estación climatológica Álvaro Obregón dependiente de CONAGUA (datos 1981-2010).

Mes	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima normal (°C)	Temperatura mínima normal (°C)	Lluvia (mm)
Enero	3.2	10.9	-4.6	9.0
Febrero	4.7	11.9	-2.6	9.2
Marzo	5.9	13.1	-1.4	12.3
Abril	7.8	14.9	0.8	27.1
Mayo	9.1	15.0	3.2	58.9
Junio	10.0	14.8	5.2	152.3
Julio	9.3	13.9	4.7	178.2
Agosto	9.1	13.6	4.7	159.8
Septiembre	9.3	13.6	5.1	132.4
Octubre	7.9	13.0	2.8	53.5
Noviembre	5.4	12.3	-1.6	18.2
Diciembre	3.6	11.5	-3.9	4.4
Anual	7.1	13.2	1.0	815.3

Para el presente trabajo se emplearon clones de tejocotero de 2 años de edad de la selección 'Probosque' (Figura 1), plantados a 2 metros entre planta y planta y 4 metros entre hileras. Se emplearán 15 tejocoteros, distribuidos en 5 bloques con tres árboles cada uno, siendo un árbol por repetición (Figura 2).



Figura 1. Planta representativa del tejocotero 'Probosque' creciendo en Pueblo Nuevo, Tlalmimilolpan.



Figura 2. Vista parcial del lote experimental de tejocotero en Pueblo Nuevo, Tlalmimilolpan. Se observa el medidor de clorofila SPAD.

El suelo donde crecen los árboles de tejocote en su capa de 0 a 30 cm, es franco arenoso, con pH de 5.0, CIC 7.8 Cmol/kg S; 0.7% materia orgánica, y contenidos limitantes de N (0.13%), P (7.55 ppm) y K (36.8 ppm).

5.2. MANEJO DEL CULTIVO

A los árboles de manera permanente se les deshirió con azadón. Se aporcó cada seis meses y la plaga principal que se presentó fue *Macroductilus* sp (Figura 3). La cual se limitó con captura manual y aplicación de neem, ya que para este ciclo de cultivo se consideró a la hoja como el producto agrícola. No se presentó alguna otra plaga de importancia económica. La poda (Figura 4) se realizó después del experimento, en diciembre de 2023.



Figura 3. Presencia del frailecillo o tonto (*Macroductilus* sp.) y su daño al follaje de tejocotero en Pueblo Nuevo, Tlalmimilolpan.



Figura 4. Vista de los árboles de tejocote podados en diciembre de 2023.

5.2.1. FERTILIZACIÓN

Cada dos meses, a partir del mes de marzo de 2023, se aplicó fertilizante comercial tripe 18; en total se realizaron 5 fertilizaciones por año (Figura 5) (Tabla 2). Se aplicaron 5 diferentes dosis, para ello se emplearán los 5 bloques de 3 árboles cada uno. Al primer bloque no se le fertilizó y se empleó como testigo.



Figura 5. Vista de la aplicación del fertilizante a un teocotero en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma.

Tabla 2. Fecha de aplicación y dosis de fertilización por aplicación a teocoteros establecidos en Pueblo, Nuevo, Lerma, México, en 2023.

Fecha de aplicación	Gramos del fertilizante triple 18 por árbol por árbol por fecha de aplicación				
	0	200	400	600	800
13 de marzo, 2023	0	40	80	120	160
16 de mayo, 2023	0	40	80	120	160
5 de agosto, 2023	0	40	80	120	160
6 de octubre, 2023	0	40	80	120	160
8 de diciembre, 2023	0	40	80	120	160

La suma del fertilizante aplicado en las cinco fechas dio un total anual de 0, 200 400, 600 y 800 gramos anuales del fertilizante triple 18 (Tabla 3).

Tabla 3. Dosis anual de nitrógeno, fósforo y potasio aplicada en 2023 a tejocoteros establecidos en Pueblo, Nuevo, Lerma, México.

Cantidad del elemento por año	del nutricional	Gramos del fertilizante triple 18 por árbol por año				
		0	200	400	600	800
N (g por árbol)		0	36	72	108	144
P (g por árbol)		0	36	72	108	144
K (g por árbol)		0	36	72	108	144

Dependiendo de la época de fertilización, se regó con 20 litros de agua por árbol para facilitar la absorción del fertilizante. En época de lluvias, la fertilización no ocupó riego. En cualquier fecha, previo a la fertilización se limpió perfectamente el cajete.

5.3. EVALUACIÓN DEL CICLO VEGETATIVO

El desarrollo de los árboles se evaluó a partir del mes de febrero de 2023 con la medición de diferentes variables relacionadas con las hojas; estas fueron: verdor, área, contenido de materia seca y contenido de compuestos fenólicos. Finalmente, al término del año 2023, se evaluó el contenido de materia seca en ramas.

5.3.1. MEDICIÓN DE UNIDADES SPAD

En 10 hojas por árbol se midió las unidades SPAD, con el medidor de clorofila SPAD 502 (Konica Minolta, Japón) (Figura 6). Las hojas empleadas fueron de la periferia del árbol, para que fueran hojas con buena captación de luz solar. Se eligieron hojas de aproximadamente 8 días después de expansión total.



Figura 6. Toma de lectura del verdor foliar de tejocotero con el medidor SPAD.

5.3.2. DETERMINACIÓN DEL ÁREA FOLIAR

Con un medidor de área foliar portátil CI-202 (Bio-Science, USA) se registró el área, en cm^2 , de 10 hojas por árbol, cada hoja fue una repetición.

5.3.3. CONTENIDO DE MATERIA SECA

Se tomó el peso fresco de 10 hojas por árbol; y se colocaron en una estufa para, posteriormente, por diferencia de peso, obtener el contenido de agua y materia seca por hoja. El mismo procedimiento se realizó con ramas de tejocotero, una sola ocasión en noviembre, previo a la poda.

5.3.4. CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS

La extracción fenólica se inició pesando 1 gramo de hojas (Figura 7), las cuales se hirvieron en 10 mililitros de agua corriente; en caso de evaporación se aforó nuevamente a 10 mililitros. Posteriormente, se utilizó el método de determinación de fenoles por Folin-Ciocalteu. En un tubo de ensayo se agregaron 4 mililitros de agua destilada, 0.2 mililitros de la muestra (infusión de la hoja de tejocotero), 0.5 mililitros de Folin-Ciocalteu, 1.5 mililitros de carbonato de sodio al 80% y se aforó a 8 mililitros con agua destilada, agitando en el vórtex con cada reactivo que se agregue, realizando 3 veces cada muestra. La absorbancia se leyó en el fotómetro Genesys 10 vis. Para obtener la curva patrón (Figura 8) se empleó ácido gálico, por lo que los resultados se expresaron en mg de equivalente de ácido gálico (EAG) por gramo de hoja.

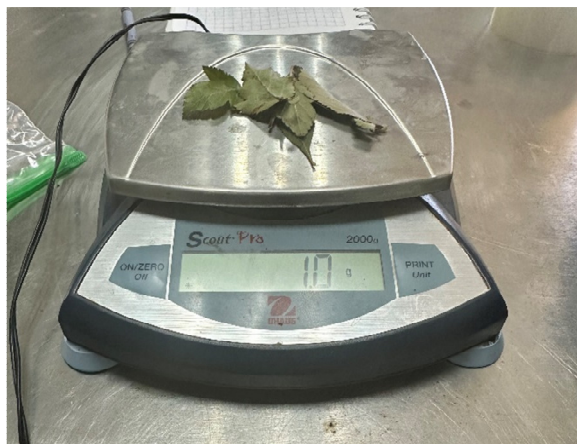


Figura 7. Pesado de las hojas de tejocotero para su posterior ebullición en agua corriente.

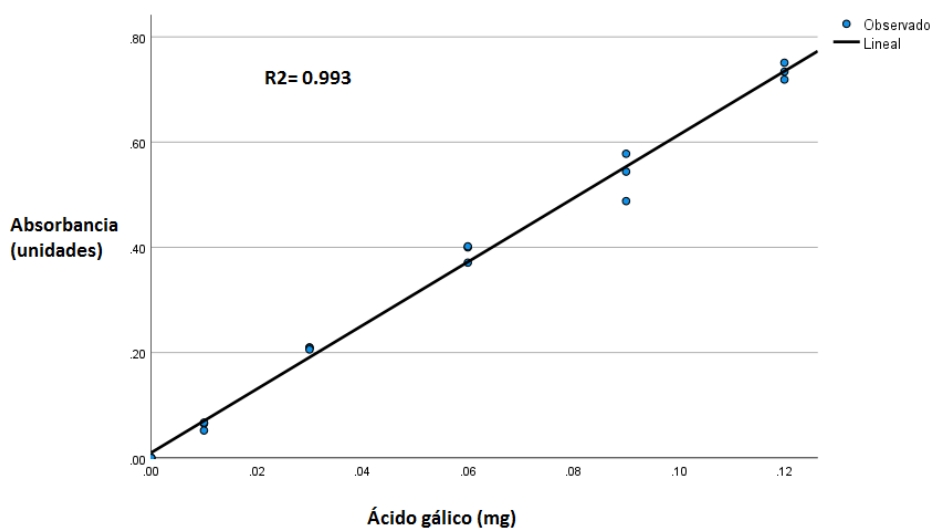


Figura 8. Curva patrón para obtener la ecuación para determinar el contenido de compuestos fenólicos en hojas de tejocotero, por el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, 2023.

Como referente, y por lo tanto no involucrado en el análisis estadístico, se determinó el contenido de compuestos fenólicos en hojas de tejocotero creciendo en el vivero de la Facultad de Ciencias Agrícolas. Esto en una sola ocasión en el mes de junio.

5.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se manejó como completamente al azar, debido a la ubicación de los árboles y el número de los mismos. Posteriormente, los datos se sometieron a un análisis de varianza con 5 tratamientos y mismo número de repeticiones. Para el caso de la materia seca de las ramas se realizó la determinación de la ecuación de regresión en modelos lineal y cuadrático.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. UNIDADES SPAD

Las unidades SPAD variaron de 35 a 55 unidades durante el ciclo 2023. En general, todos los árboles alcanzaron su mayor valor SPAD a finales del mes de junio, siendo esta situación de manera consistente. Por otro lado, en la mayoría de las fechas de muestreo, los árboles tratados con 120 gramos de fertilizante por aplicación presentaron el mayor verdor (Figura 9). En las hojas de los árboles tratados con 120 gramos de fertilizante por ocasión, independientemente de las temperaturas máximas y mínimas normales, su valor SPAD nunca fue menor a 47, a partir de la primera fertilización. Esto indica cierta estabilidad en el verdor de las hojas en los árboles de este tratamiento.

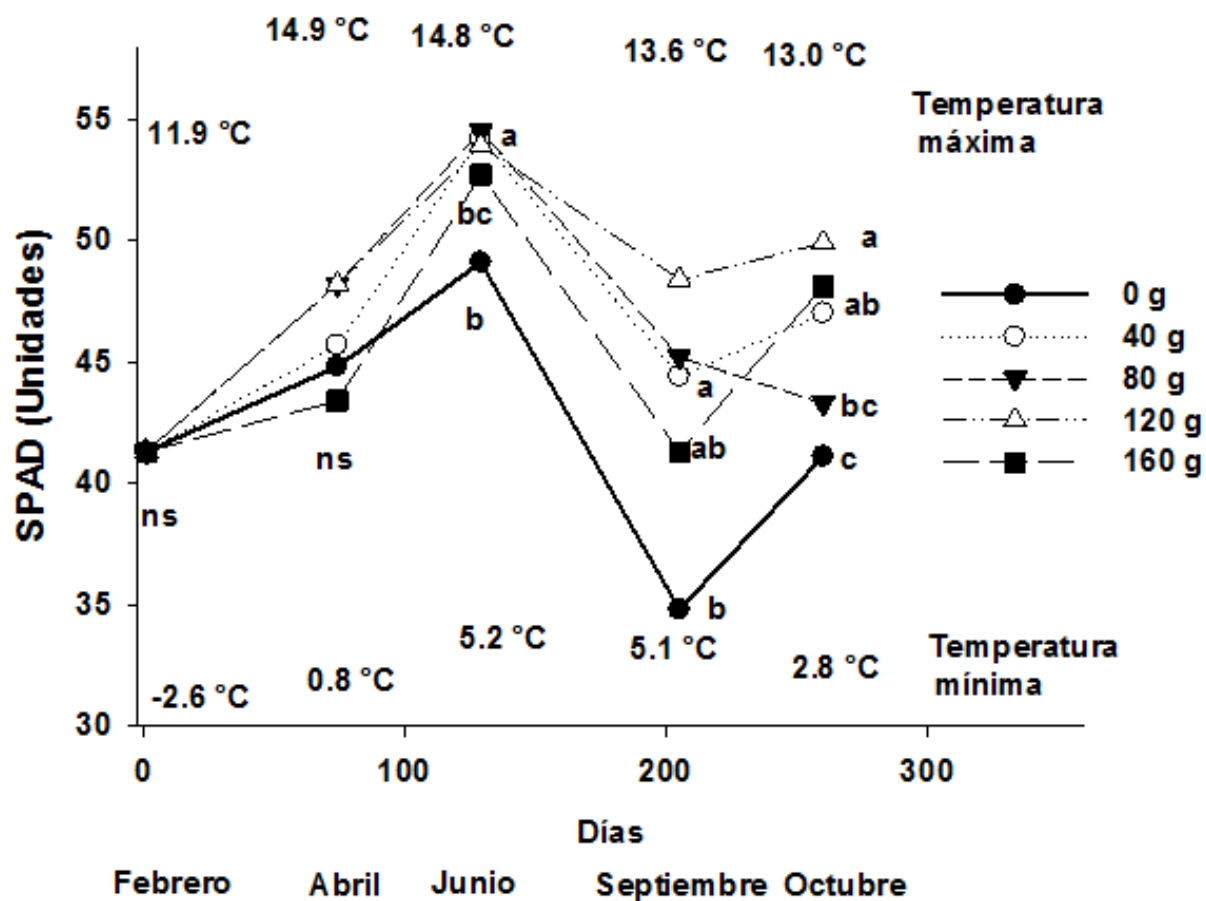


Figura 9. Valor de las unidades SPAD en hojas de árboles de tejocotero bajo fertilización diferenciada en Pueblo Nuevo, Tlalmimilolpan, Lerma, México, 2023. Los datos son la media de 3 repeticiones, 10 hojas por repetición. Se indican las temperaturas máxima y mínima normales en los meses de muestreo.

Por los trabajos realizados por diferentes investigadores, se acepta que el valor SPAD se correlaciona con el contenido de clorofila en hojas vegetales; por ello, estos valores son referentes de la tasa fotosintética y por ende del vigor de los árboles (Xie *et al.*, 2023). En este caso, se infiere que los tejocoteros fertilizados con

120 gramos del fertilizante presentaron mayor vigor y como ya se indicó, el vigor fue estable en el año

En Brasil, se determinó que plantas de chile (*Capsicum annum*) con índice SPAD de 58 al momento de la floración, fueron los más productivos; así, se propuso que el índice SPAD se considere un método predictivo de la producción en dicho cultivo (Da Silva *et al.*, 2018). La fertilización diferenciada de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) generó diferencias en los valores SPAD en hojas de salvia 'Vista red'; mayor aportación de N, nula de P y nula o escasa aportación de K generó los valores más altos (Dunn *et al.*, 2018). La dosis de N también resultó en valores SPAD diferenciados en plantas de calabacita; el uso del medidor de SPAD, para proyectar la productividad, fue más efectivo en condiciones de irrigación que en temporal (Swiader y Moore, 2007).

La fenología de la planta y las condiciones ambientales también influyen en los valores SPAD de las hojas de diversos cultivos. Así, en la determinación de este índice, en cítricos, se encontraron valores en julio (71.5) que ascendieron en septiembre (76.0) y llegaron a su nivel más bajo en noviembre (68.5). En cítricos se ha hipotetizado que el mayor valor SPAD se alcanza por el mayor uso de nutrimentos y la preparación metabólica para actividades fisiológicas demandantes como la fructificación (Ding *et al.*, 2023). En la especie herbácea *Ajuga iva* (L) se determinó que el contenido de clorofila en verano fue 8 veces mayor que en invierno, siendo el valor del contenido de clorofila afectado por la temperatura, duración del día y la pluviosidad (El-Lamey, 2020). En orégano se propuso una lista de cuatro

niveles de valores SPAD, muy bajo, bajo, medio y alto para tomar decisiones en cuanto a nutrición vegetal (Soares *et al.*, 2023) Para tejocoteros, aparte de ser importante correlacionar estos valores SPAD con las necesidades nutrimentales, con los datos de este trabajo se observa que esa separación está influida por la estación del año.

6.2. ÁREA FOLIAR

Como ya se indicó, independientemente de la fertilización recibida, a finales de junio se observaron los mayores valores SPAD. Por la edad de las plantas, en el año en estudio año aún no presentaron fructificación, y, es de suponerse que la clorofila realizó actividades metabólicas, entre ellas el desarrollo de las hojas, ya que las hojas de septiembre y octubre fueron estadísticamente más grandes que en los meses de junio, abril y febrero (Tabla 4).

Tabla 4. Área foliar en tejocoteros establecidos en Pueblo Nuevo, Lerma, México, en cinco fechas de 2023.

Día	Fecha (2023)	Área foliar (cm ²)	
1	12 febrero	7.98 ± 1.4	b
74	27 abril	5.90 ± 0.9	c
129	27 junio	5.06 ± 0.4	c
205	5 septiembre	9.64 ± 1.7	a
260	30 octubre	10.20 ± 1.5	a

Los datos son la media de tres repeticiones, 10 hojas por repetición, \pm D.E. Valores con la misma letra no son diferentes estadísticamente con la prueba de Tukey al 0.05.

En el caso de los tejocoteros del presente trabajo, no existió diferencia en el área foliar por efecto de la dosis de fertilización (Figura 10), pero, como ya se indicó, por efecto de la fecha de muestro y por ende los factores ambientales y fenológicos.

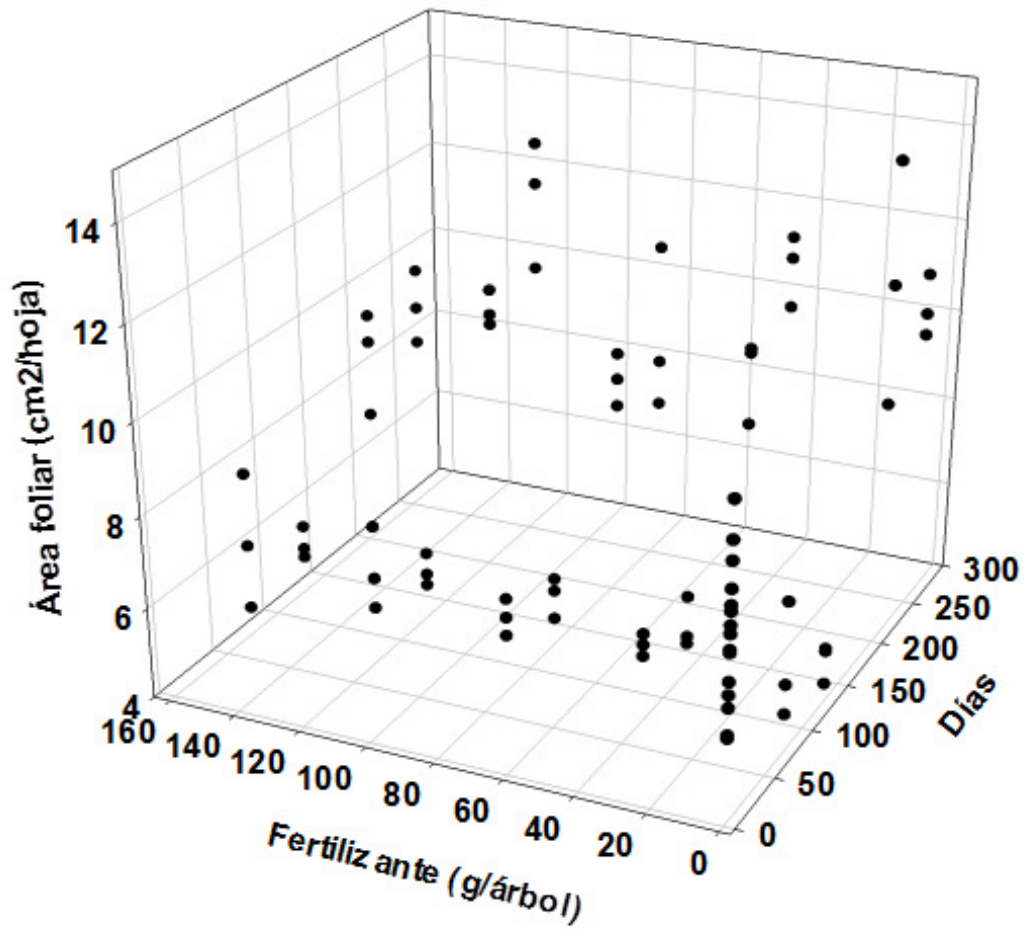


Figura 10. Área foliar en árboles de tejocotero fertilizadas con 5 dosis diferentes y muestreadas en cinco fechas del año 2023. Los datos son directos del integrador foliar son el total de hojas muestreadas.

6.3. MATERIA SECA FOLIAR

La materia seca de las hojas varió de 30 a 50% durante el ciclo de cultivo, no existieron diferencias significativas entre tratamientos, pero si por efecto de la fecha de muestreo, siendo a los 74 días, correspondiente a junio, la fecha de menor valor de materia seca (Figura 11).

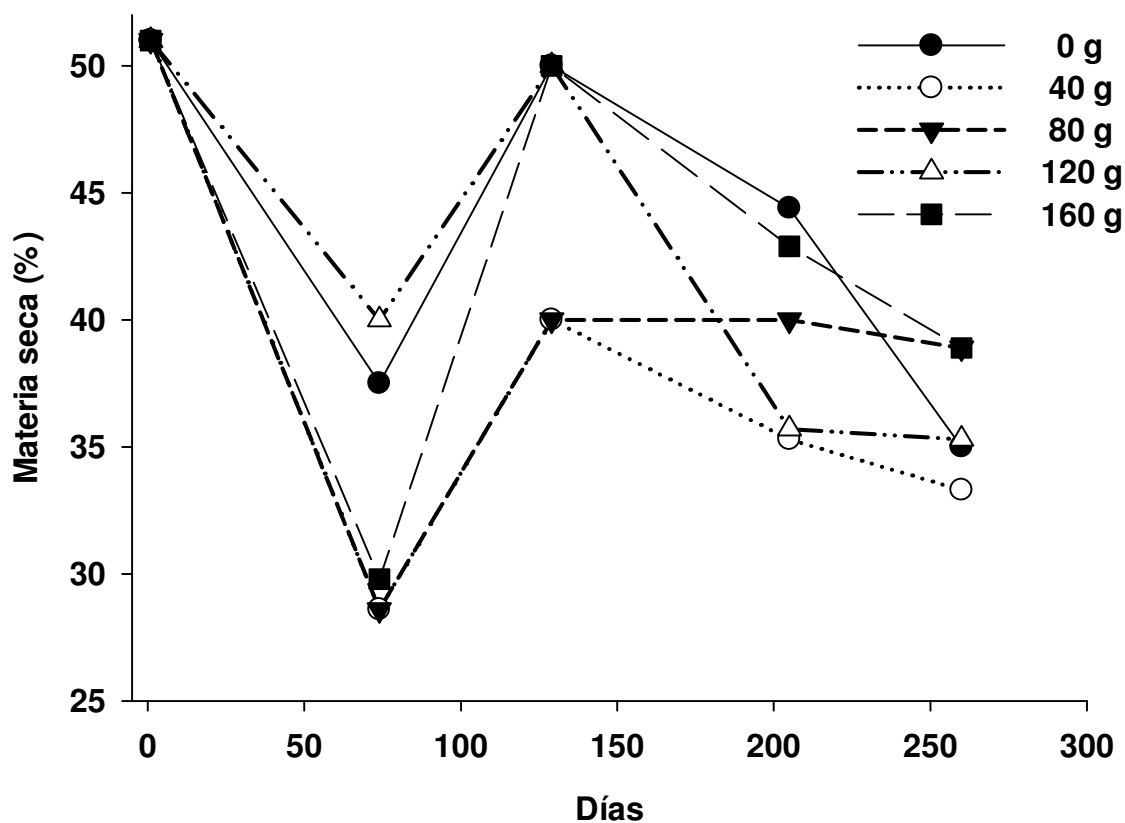


Figura 11. Porcentaje de materia seca foliar en el año 2003 en tejocoteros con fertilización diferenciada con triple 18. Los datos son la media de 3 repeticiones, 10 hojas por repetición.

6.4. COMPUESTOS FENÓLICOS

El contenido foliar de compuestos fenólicos fue diferente para fechas y para dosis de fertilización (Tabla 5). El mayor contenido fenólico se observó en las hojas de finales de junio (Tabla 6), mientras que el contenido de las hojas de las dosis más altas (120 y 160 g/árbol) presentaron menor contenido que las hojas de los árboles de 40 y 80 g de fertilizante por árbol (Tabla 7). En el mes de junio se determinó el contenido de compuestos fenólicos de tejocoteros creciendo en el vivero de la Facultad de Ciencias Agrícolas, encontrándose el valor de 4.64 mg EAG/g de hoja fresca.

Tabla 5. Valor de F y su significancia estadística para el contenido de compuestos fenólicos en hojas de tejocotero en cinco fechas de muestreo y tratados con diferentes dosis de fertilización.

Factor	Fenoles
Fecha	42.4 ***
Fertilización	5.1 **
Fecha × Fertilización	3.6 ***

** Significativo a 0.05; *** Significativo a 0.001

Tabla 6. Contenido fenólico foliar en tejocoteros en cinco fechas de muestreo en el año 2023.

Día	Fecha (2023)	Compuestos fenólicos en hojas (mg/g PF)	
1	12 febrero	3.48 ± 1.81	b
74	27 abril	2.10 ± 0.79	c
129	27 junio	6.48 ± 1.96	a
205	5 septiembre	2.40 ± 0.44	c
260	30 octubre	3.52 ± 0.98	b

Los datos son la media del promedio de 5 tratamientos de fertilización, 3 repeticiones de 10 hojas por tratamiento, ± E. E. Valores con la misma letra minúscula no son estadísticamente diferentes con Tukey al 0.05.

Tabla 7. Contenido fenólico foliar en tejocoteros en cinco fechas de muestreo por efecto de cinco dosis de fertilización en el año 2023.

Fertilización (g/árbol/aplicación)	1	74	129	205	260	Promedio anual
0	3.48 ^{ns}	1.07 c	7.49 ab	2.68 ^{ns}	4.35 a	3.68 ab
40	3.48	2.83 a	7.73 ab	2.27	3.73 a	4.14 a
80	3.48	2.61 ab	8.17 a	2.76	3.53 a	4.27 a
120	3.48	1.55 bc	5.58 bc	2.34	1.81 b	2.82 b
160	3.48	2.44 ab	3.40 c	1.94	4.19 a	2.99 b

Los datos son la media de 5 repeticiones, 1 infusión de 1 g de hojas por repetición, Valores con la misma letra minúscula a nivel de la columna no son estadísticamente diferentes con Tukey al 0.05; ns: no significativo con Tukey al 0.05.

En hojas de *Crataegus azarolus*, creciendo en Túnez, se encontró que el contenido de compuestos fenólicos en las hojas (3.68 mg/g) fue mayor que en las semillas y el tallo. Dicha especie es medicinal y las hojas son empleadas para tratar enfermedades cardiovasculares, debilidad sexual, diabetes y cáncer en dicho país, y Marruecos y Palestina (Balaky *et al.*, 2021). En las hojas de *Crataegus oxyacantha* se determinó que el contenido foliar de compuestos fenólicos fue similar en la etapa vegetativa y en floración, mientras en el fructificación el valor disminuyó 40% (Loubna y Rachid, 2015). En una evaluación del contenido foliar de compuestos fenólicos en 4 especies de *Crataegus*, se reportó que las hojas de *C. orientalis*

presentaron el doble del contenido que las hojas de *C. pentagyna*, y aproximadamente 4 veces más contenido que las hojas de *C. turcicus* y *C. monogyna* (Ülger *et al.*, 2023). Los datos emanados de este trabajo, concuerdan con otros autores indicando el potencial de las hojas de *Crataegus*, en este caso *C. mexicana*, como una fuente de antioxidantes y que puede emplearse en farmacología y alimentos nutraceuticos (Dikici y Köksan, 2023).

En la especie herbácea *Aguva ivi* se encontró que el valor de los compuestos fenólicos foliares en invierno representó 75% del contenido reportado en verano (El-Lamey, 2020). Esto concuerda parcialmente con los datos del presente trabajo, ya que el contenido en verano fue superior al encontrado en invierno y primavera. Por otro lado, el contenido fenólico foliar de los tejocoteros creciendo en el vivero de la Facultad de Ciencias Agrícolas se encuentra en el rango reportado para los tejocoteros del presente trabajo.

6.5. MATERIA SECA DE RAMAS

De manera similar a lo encontrado en hojas, la materia seca de las ramas no presentó diferencia estadística entre tratamientos, reportándose valores cercanos al 25% de agua en estos órganos vegetales (Tabla 8).

Tabla 8. Materia seca en ramas de tejocoteros fertilizados con cinco dosis diferentes en cinco ocasiones durante el año 2023.

Fertilización (g/ árbol/aplicación)	Materia seca en ramas (%)
0	72.4 ± 1.2
40	74.5 ± 1.6
80	77.2 ± 1.4
120	74.1 ± 1.4
160	72.9 ± 1.5

Los datos son la media de tres repeticiones, 3 ramas por repetición, ± E.E. No existió diferencia estadística con la prueba de Tukey al 0.05.

La acumulación de materia seca en ramas por efecto de las 5 dosis de fertilización se explicó con un modelo cuadrático, $R^2 = 0.785$ (Figura 12); y al contemplar solo las dosis de fertilización de 0 a 120 g/árbol/aplicación se encontró que un modelo lineal lo explica con R^2 igual a 0.995 (Figura 13).

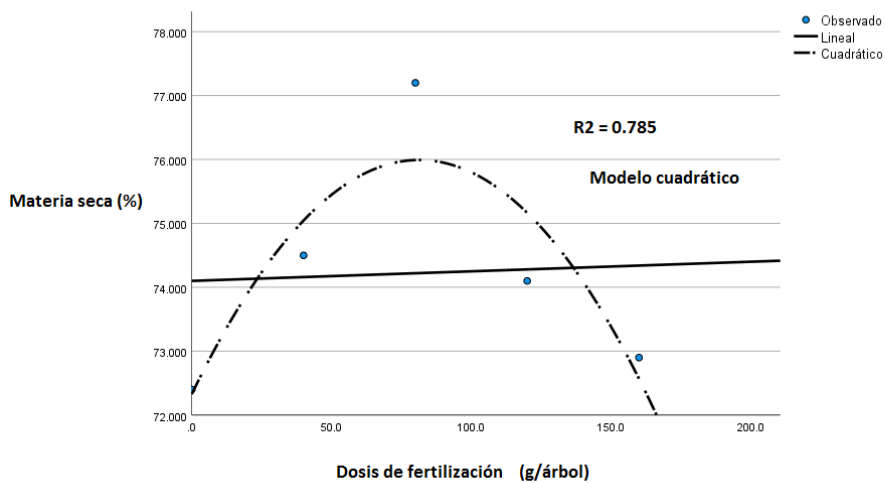


Figura 12. Representación gráfica del modelo cuadrático para el efecto de cinco dosis de fertilización y el contenido de materia seca en ramas de tejocotero. Se presenta la línea del modelo lineal como referencia.

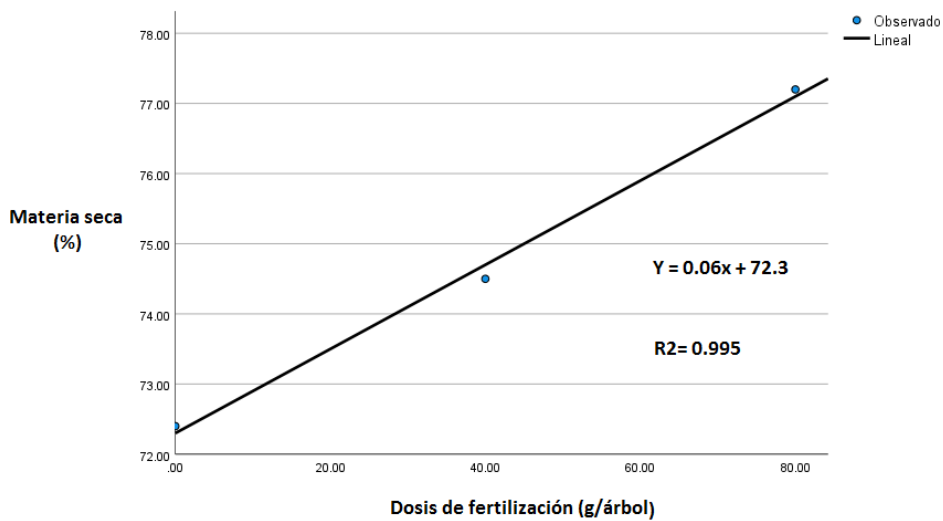


Figura 13. Representación gráfica del modelo lineal el efecto de tres dosis de fertilización y el contenido de materia seca en ramas de tejocotero.

En *Eucalyptus globulus* la dosis de fertilización fosfatada incrementó el contenido de materia seca en ramas (Graciano *et al.*, 2004). Mientras que el nivel disponible de potasio también incremento el contenido de materia seca en plantas de algodón, hasta cierto nivel, en donde ya no hubo incremento de la misma (Shao *et al.*, 2023). Mientras que en la especie forrajera *Brachiaria brizantha* Cv. Marandu se reportó efecto lineal de la aplicación de nitrógeno, desde 0 hasta 250 kg/ha, para la acumulación de materia seca (Oliveira *et al.*, 2022).

En manzano se indicó que los portainjertos más vigorosos generaban mayor acumulación de materia seca en las ramas (Stutte *et al.*, 1994); mientras que en *Citrus reticulata* la presencia de diferentes niveles de estrés hídrico redujo la acumulación de materia seca en las ramas (Toro-Herrera *et al.*, 2023). Por lo tanto, es importante continuar la evaluación de los tejocoteros empleados en este trabajo para determinar el efecto de la mayor acumulación de materia orgánica en ramas por efecto de las diferentes dosis de fertilización.

7. CONCLUSIONES

La fertilización con cinco dosis del fertilizante comercial triple 18 generó diferencias en el verdor de las hojas de tejocotero en tres de cuatro fechas de muestreo. Siendo la dosis de 120 gramos de fertilizante por árbol por aplicación (600 g/año) la que presentó de manera constante el mayor verdor de las hojas. Además del fertilizante, se observó que el verdor de las hojas posiblemente fue influenciado por las condiciones ambientales y la etapa fenológica, en el mes de junio se tuvo el mayor verdor en todos los tratamientos de fertilización.

La fertilización no influyó en el área ni en el contenido de materia seca foliar, pero si lo hicieron las condiciones ambientales. El contenido de compuestos fenólicos fue afectado por la fertilización y la fecha de muestreo; el promedio de mayor contenido para todos los tratamientos de fertilización (6.48 mg de equivalente de ácido gálico por gramo de peso fresco de hoja) se presentó en junio; y para esa fecha, la dosis de 400 gramos fertilizante/año generó el mayor contenido de compuestos fenólicos (8.17 mg de equivalente de ácido gálico por gramo de peso fresco de hoja).

El contenido de materia seca en ramas no presentó diferencias estadísticas por la fertilización aplicada; pero al ser explicada por un modelo cuadrático, se realizó un análisis con las tres dosis de fertilización menores (0, 40 y 80 gramos de fertilizante por árbol por aplicación). Esto generó una explicación lineal entre la fertilización N-P-K y la materia seca en ramas de tejocotero. Estudios posteriores podrían indicar si existe resultado en el posterior desarrollo de los árboles.

De acuerdo a lo evaluado, se sugiere continuar la aplicación de dosis de triple 18 entre 400 y 600 g/árbol/año. Entre las variantes a incluir se encuentra más o menos fechas de aplicación, y la variación en el contenido de fósforo y potasio, así como la inclusión de micronutrientes.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Arrieta, J., Siles-Barrios, J. D., García-Sánchez, J., Reyes-Trejo, B. and Sánchez-Mendoza, M. E. (2010). Relaxant effect of *Crataegus mexicana* on guinea pig tracheal smooth muscle. *Pharmacognosy Journal*. 2: 40-46.
- Balaky, H. H., Khalid, K. M., Hasan, A. H., Tahir, S. M., Ubur, S. and Galalaey, A. M. K. (2021). Estimation of total tannin and total phenolic content in plant (*Crataegus azarolus* L.) by orbital shaker technique. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Science*. 5(1): 1-6.
- Banderas-Tarabay, J. A., Cervantes-Rodríguez, M. and Méndez-Iturbide, D., 2015. Biological properties and antioxidant activity of hawthorn *Crataegus mexicana*. *J. Pharmacogenomics and Pharmacoproteomics*. 6:4.
- Bidwell, R. G. S. (1990). *Fisiología vegetal*. AGT Editor. D. F., México. 804 p.
- Bujor, A., Miron, A., Vlad-Luca, S., Skalicka-Wozniak, K., Sillion, M., Trifan, A., Girard, C., Demougeot, C. and Totoson, P. (2020). Vasorelaxant effects of *Crataegus pentagyna*: links with arginase inhibition and phenolic profile. *Journal Ethnopharmacology*. 252. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112559>
- Bustos, G. B. (2020). Incidencia del barrenador de la semilla (*Conotrachelus crataegi* Walsh) en sistemas tradicionales de producción de tejocote (*Crataegus* spp.) en Puebla. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. 64 p.
- Camén, D.; Iancu, T., Popescu, C., Stanciu, S., Dragomir, C., Moatar, M., Dragomir, N., Nistor, E., and Sala, F. (2017). Changes of physiological parameters in tomatoes under salt stress and fertilization levels. *Romanian Biotechnological Letters*. 22(4): 12821-12826.

- Chang, Q., Zuo, Z., Harrison, F. and Chow, M. S. S. (2002). Hawthorn. *Journal of Clinical Pharmacology*. 42: 605-612.
- Cloud, A., Vilcins, D. and McEwen, B. (2020). The effect of hawthorn (*Crataegus* spp.) on blood pressure: A systematic review. *Advances in Integrative Medicine*. <https://doi.org/10.1016/j.aimed.2019.09.002>.
- CONAGUA. (2022). Información Estadística Climatológica. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Normales8110/NORMAL15312.TXT>
- Cui, N., Nakamura, K., Tian, S., Kayahara, H. and Tian, Y. (2006). Polyphenolic content and physiological activities of Chinese hawthorn extracts. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*. 70: 2948-2956.
- Da Silva, C. F., Lima, A. S., Dourado, M. I., Garófalo, C. L. H. and Carvalho, G. H. O. (2018). Fruit production and SPAD index of pepper (*Capsicum annuum* L.) under nitrogen fertilizer doses. *Australian Journal of Crop Science*. 12(01): 11-15.
- Dikici, E. and Köksan, E. (2023). Determination of antioxidant activity of the leaves of hawthorn (*Crataegus monogyna*). *Journal of the Institute of Science and Technology*. 13(4): 2780-2789.
- Ding, S., Jing, J., Dou, S., Zhai, M. and Zhang, W. (2023). Citrus canopy SPAD prediction under Bordeaux solution coverage based on texture- and spectral-information fusion. *Agriculture*. 13: 1701.
- Dunn, B. L., Singh, H., Payton, M. and Kincheloe, S. (2018). Effects of nitrogen, phosphorous, and potassium on SPAD-502 and atLEAF sensor reading of *Salvia*. *Journal of Plant Nutrition*. 41(13): 1674-1683.
- Edwards, J. E., Brown, P. N., Talent, N., Dickinson, T. A. and Shipley, P. R. (2012). A review of the chemistry of the genus *Crataegus*. *Phytochemistry*. 79: 5–26. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.04.006>

- El-Lamey, T. (2018). Seasonal impact on photosynthesis pigments, antioxidant activity and total phenolic content in *Agave iva* (L.) Schrech. grown in Sibi Barrani desert, Egypt. *International Journal of Environment*. 9(2): 104-117.
- Franco-Mora, O., Aguirre-Ortega, S., Morales-Rosales, E. J., González-Huerta, A. & Gutiérrez-Rodríguez, F. (2010). Caracterización morfológica y bioquímica de frutos de tejocote (*Crataegus mexicana* DC) de Lerma y Ocoyoacac, México. *Ciencia ergo sum*, 17, 61–66.
- García-Mateos, R., Aguilar-Santelises, L., Soto-Hernández, M., Nieto-Ángel, R. and Kite, G. (2012). Total phenolic compounds, flavonoids and antioxidant activity in the flowers of *Crataegus* spp. from Mexico. *Agrociencia*. 46: 651-662.
- García-Mateos, R., Ibarra-Estrada, E. and Nieto-Ángel, R. (2013). Antioxidant activity compounds in hawthorn fruits (*Crataegus* spp.) of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 84: 1298-1304.
- Graciano, C., Goya, J. F. y Caldiz, D. O. (2004). Acumulación y distribución de materia seca en *Eucalyptus globulus* (Labill.) plantado macetas con tres tipos de suelo y fertilizado con fósforo. *Ecología Austral*. 14: 53-63.
- Havsteen, B. H. (2002) The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacological Theory*. 96: 67-202.
- Huerta, P. A., Rosas, A. M. L., Morales, J. J., Pérez, M. A., López, O. J. F., Hernández, L. R. y Núñez, T. R. (2015). El barrenador del fruto del tejocote (*Conotrachelus crataegi* Walsh). Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. México, D.F. 31 p.
- Hurtado, E., González-Vallejos, F., Roper, C., Bastías, E. y Mazuela, P. (2017). Propuesta para la determinación del contenido de clorofila en hojas de tomate. *Idesia (Arica)*, 35(4): 129-130. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017000400129>

- Kirakosyan, A., Seymour, E., Kaufman, P. B., Warber, S., Bolling, S. and Chang, S. C. (2003). Antioxidant capacity of polyphenolic extracts from leaves of *Crataegus laevigata* and *Crataegus monogyna* (hawthorn) subjected to drought and cold stress. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 51: 3973-3976.
- Koch, E. and Malek, F. A. (2011). Standardized extracts from hawthorn leaves and flowers in the treatment of cardiovascular disorders preclinical and clinical studies. *Planta Medica*. 77(11): 1123-1128. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1270849>.
- Krugh, B., Bichham, L. and Miles, D. (1994). The solid-state chlorophyll meter, a novel instrument for rapidly and accurately determining the chlorophyll concentrations in seedling leaves. *Maize Genetics Cooperation News Letter*. 68: 25-27.
- Loubna, A. and Rachid, B. (2015). Antioxidant activity of aqueous extracts from *Crataegus oxycantha* leaves. *Pharmacognosy Communications*. 5(4): 229-232.
- Martínez, A. (1991), Esteroles del alga parda *Sargassum cymosum*. *Vitae*. 1(1): 8-10.
- Moran, R. 1982. Formulae for determination of chlorophyll pigments extracted with *N,N*-dimethylformamide. *Plant Physiology*. 69(6): 1376-1381.
- Muñiz, R. É. (2011). Exploración de enemigos naturales nativos de *Rhagoletis pomonella* Walsh (Diptera: Tephritidae) en tejocote (*Crataegus* spp.) en comunidades del centro de México. Tesis de doctorado en ciencias. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 97 p.
- Nazhand, A., Durazzo A., Lucarini M., Guerra F., Souto S., Souto E., Santini A., (2020) Ready to Use Therapeutical Beverages: Focus on Functional Beverages Containing Probiotics, Prebioticis and Synbiotics. *Beverages* 6,

- Nieto, Á. y Borys, M. W. (1993). El tejocote (*Crataegus* spp.); un potencial frutícola para la producción de las zonas templadas y frías. *Frutícola Profesional*. 54: 64-71.
- Nieto, Á. R. y Borys, M. W. (2008a). Podas de formación en árboles de tejocote. Afiliación al campo. Reporte Técnico Año 2 No. 9. pp. 14-16.
- Nieto, A. R., Borys, M. W. y Núñez, C. C. A. (2008). Variedades comerciales de tejocote. Afiliación al campo. Reporte Técnico Año 2 No. 9. pp. 10-13.
- Núñez, R. R. (2022). Caracterización y análisis de la rentabilidad del sistema de producción de tejocote (*Crataegus* spp.) en la Sierra Nevada de Puebla Tesis M.C. Colegio de Postgraduados. Puebla. 223 p.
- Núñez, T. R., Regalado, R. J. y Casiano, V. M. A. (2012). Manual del cultivo de tejocote en Puebla. Colegio de Postgraduados. Puebla. 64 p.
- Núñez-Colín, C. A., Nieto-Ángel, R., Barrientos-Priego, A. F., Segura, S., Sahagún-Castellanos, J. y Gonzáles-Andrés, F. (2008). Distribución y caracterización eco-climática del género *Crataegus* L. (Rosaceae, Subfam. Maloideae) en Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 14: 177-184. DOI: 10.5154/r.rchsh.2006.06.027
- Oliveira, M. W., Goretti, A. L., Lana, R. P. and Camacho, T. (2022). Dry matter and protein accumulation as a function of nitrogen fertilization in *Brachiaria brizantha* Cv. Marandu (*Urochloa Brizantha*). *Revista Brasileira de agropecuária Sustentável*. 12(1): 10-18.
- Özcan, M., Hacseferogullari, H., Marakoglu, T. and Arslan D. (2005). Hawthorn (*Crataegus* spp) fruit: some physical and chemical properties. *Journal of Food Engineering*. 69: 409-413.
- Padilla, F. M., Peña-Fleitas, M. T., Gallardo, M. and Thompson, R. B. (2014).

Threshold values of canopy reflectance indices and chlorophyll meter readings for optimal nitrogen nutrition of tomato. *Annals of Applied Biology*. 166(2): 271-285.

Pasqualone, A., Laddomada, B., Spina, A., Todaro, A., Guzmán, C., Summo, C., Mita, G. and Giannone, V. (2018). Almond by-products: extraction and characterization of phenolic compounds and evaluation of their potential use in composite dough with wheat flour. *LWT-Food Science and Technology*, 89: 299–306. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.066>

Pérez-Lainez, M. D., García-Mateos, M., Soto-Hernández, R., Nieto-Ángel R. and Rodríguez J. L. (2014). Perfil fitoquímico del aceite esencial del fruto de tejocote mexicano (*Crataegus* spp.). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. 121 pp.

Potash and Phosphate Institute. (1997). Manual Internacional de fertilidad de suelos. Norcross, USA. 146 p.

Refaat, A. T., Shahat, A. A., Ehsan, N. A., Yassin, N., Hammouda, F., Tabl, E. A. and Ismail, S. I. (2010). Phytochemical and biological activities of *Crataegus sinaica* growing in Egypt. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*. 3: 257–261. [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(10\)60062-4](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(10)60062-4)

Reyes-Becerril, M., Martínez-Preciado, A., Guluarte, C., Guerra, K., Tovar-Ramírez, D., Macías, M. E. and Angulo, C. (2019). Phytochemical composition and immunobiological activity of hawthorn *Crataegus mexicana* nanoencapsulated in longfin yellowtail *Seriola rivoliana* leukocytes. *Fish and Shellfish Immunology*. 92: 308-314. DOI: 10.1016/j.fsi.2019.06.024

Rincón-Castillo, Á. y Ligarreto, G. A. (2010). Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el pie de monte Llanero colombiano. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 11(2): 122-128.

Robles-Botero, M. V., Ronquillo-De Jesús, E., Quiroz-Reyes, C. N. y Aguilar-

- Méndez, M. A. (2020). Caracterización e identificación de compuestos bioactivos con actividad antioxidante de la cáscara, pulpa y semilla de la fruta del tejocote (*Crataegus mexicana*). TIP Revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas. 23: 1-10.
- Rodríguez, M., Alcántar, G., Aguilar, A., Etchevers, J. y Santizó, J. (1998). Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. Terra. 16(2): 135-141.
- Salisbury, F. B. y Ross, C. W. 1992. Fisiología vegetal. Editorial Iberoamerica. Mexico DF. pp. 319-338.
- Shao, J., Dong, H., Jin, Y., Li, P., Sun, M., Feng, W. and Zheng, C. (2023). Effects of soil potassium levels on dry matter and nutrient accumulation and distribution in cotton, Journal of Cotton Research. 6:10.
- SIRE. s/f. *Crataegus mexicana* Moc. Sessé. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/908Crataegus%20mexicana.pdf>
- Soares, W. G., Saath, R., Lopes, P. G., Souza, T. D., Oliveira, S. N., Leite, A. L. and Bialezki, C. V. (2023). SPAD index in oregano crop. A proposal for interpretation ranges. Journal of Sustainable Development. 16(6): 16-23.
- Soko Ł-Łetowska, A., Oszmianski, J. & Wojdyło, A. (2007). Antioxidant activity of the phenolic compounds of hawthorn, pine and skullcap. Food Chemistry. 103: 853-859. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.036>
- Stutte, G. W., Baugher, T. A., Walter, S. P., Leach D. W., Glenn, M. and Tworkosky, T. J. (1994). Rootstock and training system affect dry-matter and carbohydrate distribution in 'Golden delicious' apple trees. Journal of the American Society for Horticultural Sciences. 119(3): 492-497.
- Swiader, J. M. and Moore, A. (2007). SPAD-chlorophyll response to nitrogen fertilization and evaluation of nitrogen status in dryland and irrigated

pumpkins. *Journal of Plant Nutrition*. 25(5): 1089-1100.

Toro-Herrera, M. A., Viera, D. A., Alvarenga, J. P., Silva, L., Mendonça, A. M. C., Ferreira E. A. and Rodrigues A. D. B. J. P. (2023). Drought/rewatering cycles on the vegetative growth of citrus seedlings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 58: e03331.

Ülger, T. T., Oçkun, M. A., Guzulmeric, E., Sen, N. B., Sipahi, H., Özhan, Y., (Kan, Y. and Yesilada, E. (2023). Compressive analysis of the chemical and bioactivity profiles of endemic *Crataegus turcicus* Dönmez in comparison with other *Crataegus* species. *Molecules*. 28: 6520.

Xie, J., Wang, J., Chen, Y., Gao, P., Yin, H., Chen, S., Sun, D., Wang, W., Mo, H. and Li, J. (2023). Estimating the SPAD in litchi in the growth period and Autumn shoot period based on UAV multi-spectrum. *Remote Sensing*. 15: 5767.

Vermerris, W. and Nicholson, R. (2009). *Phenolic Compound Biochemistry*. Springer. The Netherlands.