



CUANTIFICACIÓN DE POLIFENOLES Y FLAVONOIDES EN EL ACEITE DE LAS NUECES DE DIFERENTES HUERTAS DE NOGAL †

[QUANTIFICATION OF POLYPHENOLS AND FLAVONOIDS IN WALNUT OIL FROM DIFFERENT WALNUT ORCHARDS]

Alejandro Moreno-Reséndez¹, Heidy Toto-Teoba¹, José Luis Reyes-Carrillo¹,
Abigail Reyes-Mungía², Sellenne Yuridia Márquez-Guerrero^{3*},
Pablo Preciado-Rangel³ and Victoria Jared Borroel-García⁴.

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe, s/n. Colonia Valle Verde, Torreón, Coahuila, CP 27054, México. Email: alejamosa@yahoo.com.mx, totoheidy@hotmail.com, jlreyes54@gmail.com

²Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Romualdo del Campo 501, Cd. Valles, San Luis Potosí, San Luis Potosí, CP 79060, México. Email: abigail.reyes@uaslp.mx

³Instituto Tecnológico de Torreón, Tecnológico Nacional de México. Carr. Torreón-San Pedro km 7.5, Ejido Ana. Torreón, Coahuila, CP 27170, México. Email: ppreciado@yahoo.com.mx, sellenne.mg@torreon.tecnm.mx*

⁴Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Tecnológico Nacional de México. Ave. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, Lerdo, Durango CP. 35150. Email: vjbg1979@gmail.com
*Corresponding author

SUMMARY

Background: The consumption of walnuts and their oil has been associated with reduced blood pressure and cardiovascular risk, due to their content of fatty acids, fiber, chemical elements, vitamins and bioactive compounds (phenols, flavonoids). **Objective:** To analyze how environmental and genetic factors, particularly the physical-chemical characteristics of soils, influence the variability of the content and composition of the bioactive compounds of walnut orchards (*Carya illinoensis* [Wangenh.] K. Koch). The hypothesis was that the bioactive compounds present in the oils of walnuts from different orchards vary depending on the chemical characteristics from the soil in which these develop. **Methodology:** To elucidate the above, samples of walnuts and soil were collected from four orchards. Likewise, oil extraction was carried out to quantify the content of functional compounds. The soils were chemically characterized to determine the correlations between them. For the content of polyphenols and flavonoids, the Folin-Ciocalteu and aluminum chloride methods by UV spectrophotometry were used. Each orchard was considered as a treatment, using a completely randomized design, and the Tukey_{0.05} test to compare means. Additionally, Pearson's linear correlation analysis was applied to determine the link between bioactive compounds of the oils and the characteristics of the soils. **Results:** Statistically different concentrations of polyphenols ($P \leq 0.05$) were recorded in the walnut oil, ranging from 64.11 to 124.95 mg EAG•100 mL⁻¹ oil, while the CTF contents presented a range of 473.59 to 704.59. The chemical properties of OM, CEC, pH and EC of the soils from the four orchards ranged from 1.50 to 4.61, 14.25 to 29.94, 7.88 to 8.07 and 0.92 to 16.6, respectively. Positive correlations were recorded for CTP and CTF, and for both characteristics with respect to soil OM. **Implications:** The results highlight the need to associate the phytochemical quality of crops with the properties of the soils or substrates where they grow, to establish improvements during their development. **Conclusion:** The highest content of polyphenols was recorded in the Narro orchard, with 40-year-old established trees. Flavonoids ranged from 473.59 to 704.59 mg EAG•100 mL⁻¹ oil and the oil content in nuts ranged from 60.5 to 65.6 mL of oil•100 g⁻¹ sample. The polyphenol and

† Submitted January 7, 2025 – Accepted March 9, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6166>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = A. Moreno-Reséndez: <http://orcid.org/0000-0001-8858-0190>; H. Toto-Teoba: <https://orcid.org/0009-0004-3587-2594>; J.L. Reyes-Carrillo: <http://orcid.org/0000-0001-6696-6981>; A. Reyes-Mungía: <https://orcid.org/0000-0002-2151-7979>; S.Y. Márquez-Guerrero: <https://orcid.org/0000-0001-5910-8794>; P. Preciado-Rangel: <https://orcid.org/0000-0002-3450-4739>; V.J. Borroel-García: <https://orcid.org/0000-0003-1752-5586>

flavonoid compounds showed a positive correlation, in turn these compounds registered a positive correlation with the organic matter content of the soils.

Key words: antioxidant capacity; functional compounds; chemical properties; nutraceutical quality; secondary metabolites.

RESUMEN

Antecedentes: El consumo de nueces y su aceite ha sido asociado con la reducción de la presión arterial y el riesgo cardiovascular, debido a su contenido de ácidos grasos, fibra, elementos químicos, vitaminas y compuestos bioactivos (fenoles, flavonoides). **Objetivo:** Analizar cómo los factores ambientales y genéticos, particularmente las características físico-químicas de los suelos, influyen en la variabilidad del contenido y composición de los compuestos bioactivos de las huertas de nogal (*Carya illinoensis* [Wangenh.] K. Koch). La hipótesis planteada fue, que los compuestos bioactivos presentes en los aceites de la nuez, de diferentes huertas varían en función de las características químicas del suelo donde se desarrollan. **Metodología:** Para dilucidar lo anterior, se colectaron muestras de nueces y de suelo de cuatro huertas. Así mismo, se realizó la extracción del aceite, para cuantificar el contenido de compuestos funcionales. Se caracterizaron químicamente los suelos, para determinar las correlaciones entre éstas. Para el contenido de polifenoles y flavonoides se utilizaron los métodos de Folin-Ciocalteu y de cloruro de aluminio por espectrofotometría UV. Cada huerta se consideró como tratamiento, utilizando un diseño completamente aleatorizado, y la prueba de Tukey_{0.05} para comparar medias. Adicionalmente, se aplicó el análisis de correlación lineal de Pearson para determinar el vínculo entre compuestos bioactivos de los aceites y las características de los suelos. **Resultados:** En el aceite de las nueces se registraron concentraciones de polifenoles, estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$), que oscilaron de 64.11 a 124.95 mg EAG•100 mL⁻¹ aceite, mientras que los contenidos de CTF presentaron un intervalo de 473.59 a 704.59. Por su parte, las propiedades químicas de MO, CIC, pH y CE, de los suelos de las cuatro huertas, oscilaron de 1.50 a 4.61, 14.25 a 29.94, 7.88 a 8.07 y 0.92 a 16.6, respectivamente. Las correlaciones positivas se registraron para el CTP y el CTF, y para ambas características con respecto a la MO del suelo. **Implicaciones:** los resultados destacan la necesidad de asociar la calidad fitoquímica de los cultivos, con las propiedades de los suelos o sustratos donde crecen, para establecer mejoras durante su desarrollo. **Conclusión:** El mayor contenido de polifenoles se registró en la huerta Narro, con árboles de 40 años establecidos. Los flavonoides oscilaron entre 473.59 a 704.59 mg EAG•100 mL⁻¹ aceite y el contenido de aceite en las nueces presentó un rango de 60.5 a 65.6 mL de aceite•100 g⁻¹ muestra. Los compuestos polifenoles y flavonoides presentaron correlación positiva, a su vez estos compuestos registraron una correlación positiva con el contenido de materia orgánica de los suelos.

Palabras clave: calidad nutracéutica; capacidad antioxidante; compuestos funcionales; metabolitos secundarios; propiedades químicas.

INTRODUCCIÓN

La demanda de compuestos bioactivos, entre los que se encuentran los productos nutracéuticos, se ha incrementado, de forma considerable, debido a que los consumidores, preocupados por mantenerse sanos y sentirse mejor, revisan con mayor detalle y poseen mayores conocimientos sobre la calidad de los productos que consumen y por lo tanto, buscan adquirir alimentos benéficos, con características saludables a precios accesibles (de Ancos *et al.*, 2016; van Vliet *et al.*, 2015; Rico y Martín-Diana, 2023).

La envergadura de los compuestos bioactivos, debido a su reconocida capacidad antioxidante, se debe al potencial que reflejan como productos antiinflamatorios, antioxidantes, antimicrobianos y anti-hipercolesterolémicos, adicionalmente protegen contra enfermedades crónicas no transmisibles como la arterioesclerosis, la diabetes, el cáncer, entre otras (Caballero-Gutiérrez y Gonzáles, 2016; Rico y Martín-Diana, 2023). Los compuestos antioxidantes

poseen la capacidad de inactivar las especies reactivas de oxígeno, generadas por el metabolismo de los individuos, previniendo el daño oxidativo, este daño es atenuado por la presencia de enzimas como: el superóxido dismutasa, catalasas y glutatión peroxidasa (Reyes-Vázquez, 2016; Karak, 2019).

Como diversos frutos, la nuez pecanera es considerada como fuente importante de compuestos fitoquímicos (polifenoles, flavonoides, etc.) y compuestos minerales, además su consumo reduce el estrés oxidativo, lo que conlleva beneficios significativos a la salud humana (Domínguez-Ávila *et al.*, 2015; Flores-Córdova y Sánchez-Chávez, 2016; Galanche, 2024). En el mismo sentido, Noperi-Mosqueda *et al.* (2019) mencionan que estas nueces son consideradas como alimento saludable, destacando entre los frutos secos de importancia mundial, y también señalan que su contenido de compuestos bioactivos, su calidad, así como la producción, es afectado, en gran parte, por el balance nutricional durante el desarrollo vegetativo del nogal.

Los alimentos funcionales son aquellos que suelen incluir, en su etiquetado, la declaración de sus propiedades o características saludables, las cuales inciden en el consumidor, al momento de la adquisición: en el caso de la nuez pecanera se estima que contiene aproximadamente 30 y 60 % de grasas poliinsaturadas y mono insaturadas, respectivamente, las cuales son grasas saludables para el corazón. También está clasificada como uno de los insumos con mayor actividad antioxidante y mayor contenido fenólico total, flavonoides, además de aportar Flavan-3-ols, antocianidinas, proantocianidinas o taninos condensados, ácidos elálgico, gálico, protocatecuico, p-hidroxibenzoico, oleico, vitamina B1, tiamina, magnesio y proteínas (Reyes-Vázquez, 2016; Suárez-Jacobo y Urzúa-Esteva, 2016).

En los últimos años, se ha prestado mucho interés al desarrollo de aceites comestibles ricos en compuestos bioactivos utilizados en las industrias de la salud y la nutrición (Rivera-Rangel *et al.*, 2018). En el aceite de la nuez pecanera, el cual representa aproximadamente el 70 % de su peso seco (Clermont *et al.*, 2023), también se ha reportado la presencia de compuestos bioactivos liposolubles y de antioxidantes naturales (Crews *et al.*, 2005; Reyes-Vázquez *et al.*, 2016; Domínguez-Ávila *et al.*, 2015; Rivera-Rangel *et al.*, 2018; Bouali *et al.*, 2022).

Domínguez-Ávila *et al.* (2015), Escapinello *et al.* (2017) y Bouali *et al.* (2022) destacan que el aceite de la nuez pecanera contiene ácidos grasos mono y poli insaturados, fitoesteroles, tocoferoles (γ y α), además de micronutrientes. Adicionalmente, su fracción no lipídica es rica en compuestos bioactivos, como los ácidos elálgico y gálico, la catequina, la epicatequina, los taninos hidrosolubles y condensados, los cuales aportan beneficios a la salud humana (Rivera-Rangel *et al.*, 2018). De manera complementaria, Reyes-Vázquez *et al.* (2016) y Bouali *et al.* (2022), mencionan que esta fracción lipídica es rica en compuestos bioactivos como el -Tocoferol (Vitamina E), Tocoferol y fitoesteroles, los cuales presentan una gran actividad antioxidante.

Por otro lado, en las especies vegetales, la generación de metabolitos secundarios está influenciada por las variaciones ambientales, estacionales y geográficas (Ling *et al.*, 2011; Tavakoli *et al.*, 2022). Asare *et al.* (2023) mencionan que estas variaciones provocan estrés en las plantas, de carácter biótico (debido a la presencia de hongos, insectos o virus) y abiótico (promovido por factores ambientales como los cambios de temperatura, la intensidad lumínica, la radiación ultravioleta, la salinidad, la sequía, entre otros). También destacan en la generación de los metabolitos secundarios, además del estrés ambiental,

participan procesos y vías de señalización que favorecen su estabilidad estructural y funcional.

Con respecto al papel de los factores edáficos, Di Vaio *et al.* (2015) señalan que, si las necesidades nutricionales de los cultivos se satisfacen parcialmente, la generación de los compuestos bioactivos se verá visiblemente afectada. También mencionan que los parámetros edáficos como los contenidos de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), materia orgánica (MO), así como el pH de la solución del suelo, inciden, significativamente, en la acumulación diferencial de los compuestos carotenoides y fenólicos en los frutos de las especies vegetales. Adicionalmente, Zraik *et al.* (2018) determinaron la existencia de correlaciones entre este tipo de metabolitos con diversas características de los suelos, por ejemplo: de la atranorina con los contenidos de arena y MO, y con el pH; del ácido fumarprotocetrárico con los contenidos de arena y MO; y del ácido úsnico con la MO y el pH. Sin embargo, Zraik *et al.* (2018) concluyen que la información obtenida con este tipo de correlaciones debe ser evaluada más a fondo. Por su parte, Das *et al.* (2020) mencionan que se debe dar continuidad a los estudios para fortalecer el conocimiento sobre la participación de las características de los suelos sobre la regulación de los metabolitos secundarios. Por lo tanto, los objetivos fueron determinar la composición fitoquímica de nueces pecaneras, obtenidas de cuatro huertas, así como las propiedades físico-químicas de sus suelos, para establecer las correlaciones entre estas características.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de las huertas

Para el estudio se seleccionaron cuatro huertas de nogal pecanero de la Comarca Lagunera, la primera (25° 05' N y 101°40' O) y segunda (26° 54' N y 104°45' O) pertenecientes la granja orgánica Nirvana (1 y 2), ubicada en la localidad Santa Anita, Lerdo Durango, la tercera (25° 45' 23.8" N y 103° 27' 00" O), localizada en el ejido Jaboncillo, Gómez Palacio, Durango (Jaboncillo), la cuarta huerta (25° 33' 23.335" N y 103° 22' 8.639" O) perteneciente la Unidad Laguna de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Torreón, Coahuila de Zaragoza (Narro). Estas huertas contienen una mezcla de las variedades Western y Wichita, con una composición del 65 y 35 %, respectivamente (Orona-Castillo *et al.*, 2019). En términos generales durante el ciclo anual, en la huerta del ejido Jaboncillo, con árboles de 10 años, separados a 10 m, se aplican, cada dos meses, 10 a 12 kg compost•árbol⁻¹ (Composta HPlus®) así como dos aplicaciones de 2 a 3.0 L de NZn (AGRINUTRIENTE NZn®)•100 L⁻¹ agua; en la

huerta de la Narro, con árboles de 40 años, con separación de 10 x 10 m, los riegos rodados se aplican cada 20 a 30 días y se emplean fertilizantes comerciales para cubrir la recomendación 200-200-100 (NPK) y en las huertas Nirvana, con árboles de 12 años y distancia de 8.0 x 7.5 m, entre líneas y árboles, respectivamente, se aplican tres riegos rodados y el resto se utiliza un sistema de micro aspersión, con duración de riegos de 8 h, para la fertilización se incorporan 10 kg compos•árbol⁻¹, generada en las mismas huertas, también se aplican 2.0 L de NZn•100 L⁻¹ agua, cada dos meses, durante el período marzo – septiembre.

En cada huerta, además de la obtención de 1.0 kg de nueces, al momento de la cosecha, se llevó a cabo, un muestreo de suelo en forma de zig-zag, para la obtención de muestras compuestas de aproximadamente 1.0 kg, a una profundidad de 0-30 cm, según el protocolo de la NOM-021 SEMARNAT2000 (SEMARNAT, 2002). Las muestras, después de su procesamiento, se utilizaron para los análisis correspondientes.

Separación y extracción de aceite de las muestras de las almendras

El primer proceso se realizó manualmente, hasta contar con seis muestras, de 100 g de almendra, de cada huerta. Previo a su almacenamiento, se separaron en cuatro partes, se colocaron en bolsas de papel, debidamente etiquetadas y se conservaron en refrigeración, a 4 °C, hasta el momento de realizar la extracción del aceite. Para su extracción se utilizó un equipo de prensado en caliente (90 -100 °C) (Henkel, modelo SC003-898®), se registró el volumen de aceite obtenido, de cada muestra de 100 g, se almacenó en recipientes color ámbar, con gotero, y se mantuvieron en refrigeración, a 4 °C, hasta el desarrollo de los análisis, para determinar los contenidos de flavonoides y polifenoles. Estas determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Estudios Profesionales, Zona Huasteca, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Determinación del contenido total de fenoles (DCTP)

De acuerdo con la metodología descrita por Nossa-González *et al.* (2016), en un tubo de ensayo (por duplicado) se depositaron 125 µL de muestra 0.5 mL de H₂O destilada y 125 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu; la mezcla se dejó reaccionar durante 6 min, al concluir se agregaron 1.25 mL de Na₂CO₃, al 7 % (m/v), y 1.0 mL de H₂O destilada, dejándose en reposo por 90 min, bajo condiciones de laboratorio: 20 °C y 65 % de humedad relativa. Se utilizó un

espectrofotómetro UV Genesys 10 UV (Thermoelectron®), a una longitud de onda (λ) de 760 nm, el resultado se expresó en miligramos equivalentes de ácido gálico por mililitro de muestra de aceite (mg GAE•100 mL⁻¹ aceite).

Determinación del contenido total de flavonoides (DCTF)

Los flavonoides totales fueron determinados por el método desarrollado por Zhishen *et al.* (1999); una alícuota de 250 µL del aceite se colocó en un tubo de ensayo, previamente cubierto con papel aluminio para evitar la exposición a la luz, también se añadieron 1250 µL de agua destilada. Posteriormente, en el mismo tubo de ensayo, se colocaron 75 mL de NaNO₂, al 5 % (m/v) y se dejó en reposo por 6 min. Concluido este período, se agregaron 500 mL de NaOH, 1 M y se determinó su absorbancia con el espectrofotómetro UV Genesys 10 UV (Thermoelectron®), a 510 nm, se empleó metanol, al 80 % (m/v) como blanco. Los flavonoides totales se expresaron en miliequivalentes de catequina por mililitro de muestra de aceite (meq CAT•100 mL⁻¹ aceite).

Determinación de características químicas de los suelos

La determinación de las características químicas de pH, conductividad eléctrica (CE), MO y capacidad de intercambio catiónico (CIC), de las muestras de suelo de cada huerta, fueron realizadas en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Unidad Laguna, de acuerdo con la metodología de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

Análisis estadístico

Cada huerta fue considerada como un tratamiento y dentro de éstas se contó con seis repeticiones (muestras de 100 g de nuez), para el análisis de los datos, de las variables evaluadas, se utilizó un arreglo completamente al azar, se aplicaron análisis de varianza (ANDEVA) de una vía y la prueba de comparación de medias de Tukey, con nivel de significancia $p \leq 0.05$. Además, se realizaron correlaciones de Pearson (Lavalle *et al.*, 2006) entre las características químicas del suelo y los componentes bioquímicos del aceite de la nuez.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Flores-Córdova y Sánchez-Chávez (2016) mencionan que, el consumo de la nuez pecanera aporta beneficios a la salud humana, debido a que contiene diversos compuestos bioactivos, teniendo un papel

relevante para el proceso nutritivo, por tal motivo, cobra trascendencia este estudio, ya que se logró determinar dichos compuestos en las nueces de cuatro huertas de nogal de la Comarca Lagunera. Cabe resaltar que al igual que todas las especies vegetales, el proceso nutritivo del nogal juega un papel crucial por el impacto que tiene en su rendimiento, calidad y contenido de compuesto bioactivos en la almendra (Noperi-Mosqueda *et al.*, 2019). En el caso específico del aceite de la nuez pecanera, considerado como una de las fuentes más interesantes de compuestos biológicamente activos (Escapinello *et al.*, 2017), y debido a su contenido de ácidos grasos esenciales, ha despertado gran interés, de manera especial en la industria de alimentos y cosmética, además representa una fuente destacada de compuestos antioxidantes naturales (Trandafir y Cosmulescu, 2020).

Los resultados de los ANDEVA y las pruebas de Tukey_{0.05}, para las variables evaluadas, en las muestras de aceite de nuez pecanera, de cuatro huertas localizadas dentro de la Comarca Lagunera, se presentan en el cuadro 1. En éste se aprecia que, tanto el contenido total de polifenoles (CTP), como el contenido de aceite en las nueces (CAN) registraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) debido al efecto de las muestras de nuez obtenidas en cada huerta o sitios de muestreo. Cabe resaltar, que el aceite con mayor CTP fue obtenido de las nueces, de la huerta, cuyos árboles tienen al menos 40 años plantados, mientras que el mayor CAN se registró en la huerta Nirvana 1, con árboles de 12 años establecidos. Y como se describe más adelante, tanto los factores edáficos, las condiciones climáticas, la edad, así como el manejo agronómico, que reciben las especies vegetales pueden afectar ambos contenidos.

En el cuadro 1 se observa que, respecto al CTP, al CTF y el CAN, en el aceite de las nueces, de las cuatro huertas, de la Comarca Lagunera, sus concentraciones varían de forma considerable, registrándose valores que oscilan de 84.84 a 124.95 mg EAG•100 mL⁻¹ de aceite y de 473.59 a 704.59 mg EAG•100 mL⁻¹ aceite, y de 46.5 a 65.6 mL de aceite,

respectivamente. Estas variaciones, como lo destacan Fawole y Opara (2013) están, directamente, asociadas con factores genéticos y ambientales, de manera específica a las propiedades físico – químicas de los suelos donde se desarrollan las especies vegetales, por su parte Amaral (2005) y Pinheiro-do Prado *et al.* (2009) mencionan que las variaciones registradas pueden afectarse por factores como la composición del suelo, las condiciones climáticas, la época de cosecha, entre otros. En el mismo sentido, Quiñones *et al.* (2012) determinaron que el CTP, de las especies vegetales, es afectado por factores ambientales como la luz, el grado de madurez, el grado de conservación, los factores agronómicos, el clima y especialmente la exposición a la luz. Mientras que, en el interior de las plantas, los metabolitos secundarios son biosintetizados por medio rutas metabólicas como la de los ácidos shikímico y cinámico, y la del acetato-malonato (Martin, 2018) y aunque no son necesarios para el funcionamiento de las plantas, su papel está asociado con actividades de protección, atracción o señalización (Tiwari & Shukla, 2020).

Contenido total de polifenoles

Los compuestos fenólicos constituyen el grupo más vasto de sustancias no energéticas presentes en los alimentos de procedencia vegetal (Quiñones *et al.*, 2012; Cory *et al.*, 2018), han demostrado que las dietas ricas en polifenoles mejoran la salud y reducen la incidencia de enfermedades cardiovasculares en el ser humano. Estos compuestos poseen una estructura química ideal para secuestrar radicales libres, favoreciendo su actividad antioxidante. La capacidad de los polifenoles para modular la actividad de diferentes enzimas, y para interferir consecuentemente en mecanismos de señalización y en distintos procesos celulares, puede deberse, al menos en parte, a las características fisicoquímicas de estos compuestos, que les permiten participar en distintas reacciones metabólicas celulares de óxido-reducción. Sus propiedades antioxidantes justifican muchos de sus efectos beneficiosos (Quiñones *et al.*, 2012).

Cuadro 1. Valores promedio y significancia estadística de las variables evaluadas en aceite de la almendra de nuez, de cuatro huertas en estudio, de la Comarca Lagunera.

Huerta [¶]	CTP * (mg EAG•100 mL ⁻¹ aceite)	CTF ^{ns} (meq CAT•100 mL ⁻¹ aceite)	CAN * (mL)	CAN(GP) (g y %)
Narro	124.95 a	704.59	56.8 b	52.26
Nirvana 1	64.11 ab	560.79	65.5 a	60.26
Nirvana 2	93.38 ab	558.74	60.5 ab	55.66
Jaboncillo	84.84 ab	473.59	46.5 c	42.78

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; CAN = Contenido de aceite en la nuez; CAN(GP) = Contenido de aceite en la nuez en gramos y porcentaje, con respecto a la muestra de 100 g; considerando una densidad del aceite de la nuez = 0.92 g•cm⁻³ (Luna-Guevara y Guerrero-Beltrán, 2012); ns = No significativo; * = Diferencia estadística al 5 %. Las medias de las columnas acompañadas con la misma letra no son significativamente diferentes.

El intervalo de CTP, 64.11 a 124.95 mg EAG•100 mL⁻¹ aceite (cuadro 1) superó ampliamente al rango, 11.33 a 11.92 mg EAG•100 g⁻¹ aceite, determinado por Domínguez-Ávila *et al.* (2015), en el aceite de nueces obtenidas, durante 2009 y 2010, en tres regiones del norte de México. Otra desigualdad identificada fue que, en el presente estudio, el CTP en los aceites de las nueces, registró diferencias estadísticas entre las huertas, mientras que en el estudio de referencia no existieron diferencias estadísticas para esta variable.

El rango de valores registrado, 64.11 a 124.95 mg EAG•100 mL⁻¹ aceite, también superó de forma significativa al intervalo de CTP, 11.7 a 12.5 mg EAG•100 g⁻¹ muestra, determinado por de la Rosa *et al.* (2011) en nueces de nogal pecanero, obtenidas en tres huertas, con mezcla de las variedades Wichita y Western, establecidas en el estado de Chihuahua, México. Igualmente, superó, de forma considerable, al CTP (4.0 mg EAG•100 g⁻¹ aceite) reportado por Castelo-Branco *et al.* (2016) en el aceite de nuez pecanera, prensada en frío. Debido al CTP reportado por estos autores, a manera de conjetura, ellos mencionan que, con el empleo de disolventes orgánicos se podría incrementar la eficiencia del proceso de extracción de los compuestos fenólicos. En el mismo sentido, en la revisión publicada por Álvarez-Parrilla *et al.* (2018), sobre componentes bioactivos de nueces pecanas y sus subproductos, se destaca que el CTP osciló entre 40 y 783 mg GAE•kg⁻¹ de aceite, valores que dependen tanto de la técnica, como de las condiciones de extracción del aceite. Sin embargo, estos últimos autores también señalan que más que polifenoles, las sustancias determinadas son en realidad tocoferoles.

Por otro lado, el contenido aceite, de la nuez pecanera, resultó muy similar al CPT reportado por Aquino-Bolaños *et al.* (2017), que osciló entre 73 y 128 mg EAG•100 g⁻¹ de muestra, al realizar la caracterización física y química de la nuez y el aceite de nueve variedades de *Macadamia integrifolia*. Esta similitud se contrapone a lo establecido por De la Rosa *et al.* (2019), pues a pesar de que resultan ser géneros y especies diferentes – *C. illinoensis* y *M. integrifolia* – con diferentes regiones y condiciones para su desarrollo, así como de manejo pos cosecha, los valores de CTP determinados en ambos estudios resultaron similares.

Como ya se mencionó, el mayor CTP en el aceite de la nuez, aplicando el prensado en caliente (90 – 100 °C), 124.95 mg EAG•100 mL⁻¹ aceite se registró en los frutos de la huerta Narro. En relación a este contenido Chandrasekara y Shahidi (2011) determinaron que a mayor temperatura se incrementa el CTP y que en el caso de la nuez de anacardo o nuez

de la India (*Anacardium occidentale* L.), la temperatura adecuada para extraer el aceite fue 130 °C.

Contenido total de flavonoides

Los flavonoides corresponden a una amplia gama de compuestos naturales presentes en frutas, verduras y bebidas, como té o vinos, derivadas de las especies vegetales. Estas moléculas poseen una vasta gama de actividades, directamente, vinculadas con la prevención de enfermedades comunes, incluidas las enfermedades coronarias y neurodegenerativas, el cáncer, los trastornos gastrointestinales, entre otras (González-Gallego *et al.*, 2007; 2010). Así mismo, los flavonoides presentes en los alimentos poseen actividad antioxidante, por lo que pueden presentar efectos positivos para su conservación, así como sobre la salud de los consumidores. También se ha demostrado que los flavonoides exhiben múltiples actividades biológicas, entre las cuales destacan: la inhibición de enzimas, la modulación del microbiota entérico y la regulación de la expresión de genes (Lamuel-Raventos y Onge, 2017; de la Rosa *et al.*, 2019). A manera de complemento, González-Gallego *et al.* (2007), destacan que una característica esencial de los flavonoides es su capacidad antioxidante, la cual está vinculada a diversas propiedades estructurales que les permiten: a) secuestrar iones de metales de transición, como Fe⁺², Cu⁺² o Zn⁺²; b) catalizar el transporte de electrones; c) captar especies reactivas de oxígeno (ROS), como el anión superóxido y los peroxirradicales lipídicos; o d) estabilizar ROS libres, mediante la hidrogenación o la formación de complejos con especies oxidantes.

Respecto al CTF, que osciló entre 473.59 y 704.59 mg EAG•100 mL⁻¹ aceite, las diferencias registradas solo fueron numéricas. Como lo mencionan Chandrasekara y Shahidi (2011), que, en la nuez de la India, el CTF fue mayor a mayor temperatura. El mayor CTF se registró en el aceite de las nueces obtenidas de la huerta Narro, con 704.49 mg EAG•100 mL⁻¹ aceite, valor que superó en, al menos, 20 % al CTF de los aceites de las nueces de las huertas restantes, esta diferencia, en gran parte, podría haberse visto favorecida por la edad de plantación de los árboles. Los árboles de la huerta de la Narro contaban con 40 años de establecidos y en las huertas restantes los árboles tenían entre 10 y 12 años de establecidos. Esta condición coincide con lo establecido por Verdecía *et al.* (2021) quienes evaluaron el contenido de metabolitos primarios y secundarios en seis especies de árboles, arbustos y leguminosas forrajeras, determinaron que los primarios disminuyeron y los secundarios incrementaron conforme se alcanza una mayor madurez.

En el estudio realizado por de la Rosa *et al.* (2011) con nueces pecaneras, obtenidas de tres regiones, del estado de Chihuahua, México, se reporta un CTF que osciló entre 580 – 640 mg EC•100 g⁻¹ muestra, estos valores se encuentran comprendidos dentro del rango de CTF determinado en el presente estudio (cuadro 1). Por los resultados de ambos estudios se destaca que ambos CTF fueron afectados por las condiciones climáticas y edáficas que predominan en las regiones donde se encuentran establecidas las huertas de nogal.

El mayor CTF, 704.59 mg EAG•100 mL⁻¹ aceite (cuadro 1) resultó ligeramente inferior (< 5 %) al valor 744.8 mg EC•100 g⁻¹ muestra, determinado por Yang *et al.* (2009) en nueces comunes del mercado de los EE. UU. Por otro lado, el mayor valor obtenido fue superado en 13 % por el CTF, 814 mg EC•100 g⁻¹ muestra, determinado, por Stevens-Barrón *et al.* (2019), en frutos de nueces secas comestibles, por lo que estos frutos, de acuerdo con estos últimos autores, se pueden considerar como excelentes fuentes de flavonoides. Estos compuestos contienen moléculas como las proantocianidinas (C₃₁H₂₈O₁₂) o los taninos condensados (C₃₀H₂₆O₁₂): monómeros y polímeros de la unidad flavan-3-oles; las cuales inhiben eficazmente la oxidación de lípidos en los alimentos y en los sistemas biológicos (Galache, 2024).

De manera similar a lo expresado respecto al CTP, de la Rosa *et al.* (2019), destacan que, las variaciones registradas, tanto en el presente trabajo, como con respecto a los resultados publicados, por otros autores, el CTF en las nueces pecaneras, y por consecuencia en su aceite, puede verse afectado por factores intrínsecos de las muestras, como son: la variedad, las regiones y condiciones del cultivo, el tratamiento y manejo poscosecha, los métodos empleados para su extracción, así como por el empleo de nuevas y cada vez más complejas herramientas de análisis. Pues estas últimas, permiten identificar mayor cantidad de compuestos, presentes en las especies vegetales, con escasa manipulación de los extractos, proporcionado una mayor claridad sobre sus estructuras.

Contenido de aceite en las nueces

Una de las principales características de las nueces pecanas es su gran contenido de aceite, el cual se distingue por incluir cuantiosos ácidos grasos insaturados, éstos junto con otros compuestos con actividad antioxidante y funcional, acarrear beneficios, significativos, a la salud de los consumidores cuando se ingieren frecuentemente, en cantidades adecuadas y durante tiempos prolongados (Crews *et al.*, 2005; Luna-Guevara y Guerrero-Beltrán, 2012; Cabezas-Zábala *et al.*, 2016; Madawala *et al.*, 2012; Cao *et al.*, 2024).

Diversos autores como Crews *et al.* (2005), Miraliakbari y Shahidi (2008), Domínguez-Ávila *et al.* (2013) y Bouali *et al.* (2022) destacan que el aceite de la nuez pecanera está, ampliamente, reconocido como producto saludable, debido a que es una fuente rica de compuestos bioactivos liposolubles, como los ácidos grasos insaturados, los polifenoles, los tocoferoles, así como diversas vitaminas. Respecto al contenido de aceite en las nueces (CAN), Polmann *et al.* (2019) mencionan que estos compuestos naturales se conservan en el aceite extraído, mediante el prensado mecánico, aunque este proceso puede generar bajos rendimientos. Por otro lado, al igual que en las nueces, frescas o secas, el contenido fitoquímico del aceite es afectado por los factores geográficos y las condiciones ambientales que predominan en las regiones productoras de *C. illinoensis* (Domínguez-Ávila *et al.*, 2013).

Como se aprecia en el cuadro 1, el mayor CAN, 65.5 mL, en las nueces obtenidas de las cuatro huertas, se registró en la huerta Nirvana 1. Este contenido superó, en al menos, 7.6 % al CAN de las huertas restantes. También en el mismo cuadro se aprecia que las huertas Nirvana 1 y Nirvana 2 comparten cierta similitud de CAN, debido probablemente a las diferencias entre las características químicas de ambos suelos (cuadro 2), y a que entre ellas existe una distancia, aproximada, de 1.0 km.

Cuadro 2. Características químicas de los suelos de las cuatro huertas de la Comarca Lagunera

Característica	Huertas			
	Nirvana 1	Nirvana 2	Narro	Jaboncillo
Materia Orgánica (%)	1.50	2.17	4.61	1.78
CIC (meq•100 g ⁻¹ de suelo)	19.00	14.25	29.94	25.99
pH	8.07	7.91	7.88	8.06
Conductividad eléctrica (mS•cm ⁻¹)	0.92	1.39	2.40	16.60

Con respecto al contenido porcentual del aceite en las nueces, las muestras obtenidas en las huertas Nirvana 1 y 2 superaron, en al menos un 2 %, al porcentaje de aceite reportado por Luna-Guevara y Guerrero-Beltrán (2012) en frutos secos de nueces pecaneras. Adicionalmente, el intervalo de valores, 52.26 a 60.26 % de aceite, registrado en las huertas Nirvana 1, Nirvana 2 y Narro, coincide con el rango porcentual de contenido de aceite, 51.8 a 58.3 %, determinado por Amin *et al.* (2017) en tres estados de madurez de nueces nativas del valle de Kachemira.

Finalmente a diferencia de lo establecido por Crews *et al.* (2005), de que los volúmenes de aceite extraídos varían de forma considerable entre las muestras utilizadas, debido a la naturaleza física y al tamaño de la nuez – los autores no describen ni género ni especie de las muestras empleadas en su estudio, se considera que al menos en tres de las huertas, Nirvana 1, Nirvana 2 y Narro, en términos de volumen y de porcentaje de aceite, además de reflejar una variación reducida, presentan un contenido que supera al 50 % del material empleado para extraer el aceite evaluado. También se destaca que los árboles de estas tres huertas contaban con una edad, de establecimiento, de al menos 12 años, y con una mezcla de las variedades Western y Wichita, con una combinación de 65 y 35 %, respectivamente (Orona-Castillo *et al.*, 2019).

Por otro lado, el intervalo porcentual de CAN, que osciló de 42.78 a 60.26 % (cuadro 1) recuperado mediante el prensado en caliente, fue ampliamente superado por el rango porcentual, 71.5 a 73.4 % determinado por Miraliakbari y Shahidi (2008) en nueces pecaneras, empleando como solventes el hexano y la mezcla cloroformo/metanol, resultando esta mezcla la más eficiente para la extracción del aceite. Adicionalmente, el mayor contenido porcentual de aceite (60.26 %) registrado en las nueces de la huerta Nirvana 1, fue superado en 13.8 %, por el contenido de aceite determinado por Rivera-Rangel *et al.* (2018) en la variedad Whichita, quienes emplearon el método Soxhlet con hexano. Los mayores contenidos porcentuales de aceite de estos métodos, en parte se deben a que el método de

prensado mecánico, empleado en el presente estudio, presenta una menor eficiencia de extracción (Polmann *et al.*, 2019).

Correlación entre características fitoquímicas del aceite y de los suelos

Das *et al.* (2020) resaltan que la calidad del suelo está fuertemente correlacionada con la producción de metabolitos secundarios y con los atributos de bioactividad de las especies vegetales, entre éstas destacan diversas especies del género Albahaca (*Ocimum* spp.).

En el cuadro 3 se presentan los coeficientes de correlación de Pearson (R^2) determinados entre las características fitoquímicas del aceite, de las almendras de nuez, y las propiedades químicas de los suelos, de las cuatro huertas de donde se obtuvieron las muestras de nueces, para el desarrollo del presente estudio. En este cuadro se aprecia que las 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 las correlaciones positivas determinadas, en el presente estudio: 0.598** ($p < 0.01$), 0.420* y 458* ($p < 0.05$), González-González (2009) las considera como moderadas.

Como resultado de la evaluación del impacto de diversos factores climáticos y las propiedades del suelo sobre la composición fitoquímica de *Savia multicaulis* Vahl., Tavakoli *et al.* (2022), determinaron, de manera coincidente con los resultados obtenidos en el presente estudio, que la concentración de compuestos fenólicos se correlacionó positivamente con el contenido de MO de los suelos. Sin embargo, también se han determinado efectos contrarios, ya que Kremer *et al.* (2016) concluyeron que, la MO del suelo presentó una influencia negativa en el contenido total de taninos en los tallos de *Moltkia petraea* (Tratt.) Griseb). La gran diversidad de metabolitos secundarios, presentes en plantas y microorganismos – ascomicetos, bacterias, hongos – pueden ser liberados a través de diferentes vías, entre éstas, destaca

Cuadro 3. Coeficientes de correlación de Pearson entre variables fitoquímicas (CTP y CTF) del aceite de la nuez y las características químicas de los suelos, de cuatro huertas de nogal, de la Comarca Lagunera, del estado de Coahuila de Zaragoza, México.

Variables fitoquímicas	Características de los suelos				
	pH	MO (%)	CE (mS•cm ⁻¹)	CIC (meq•100 g ⁻¹ suelo)	CTP
CTP (mg EAG•100 mL ⁻¹ aceite)	-0.103	0.598**	-0.066	0.364	-
CTF (mg Cat•100 mL ⁻¹ aceite)	-0.241	0.420*	-0.032	0.387	458*

CTP = Contenido total de polifenoles; CTF = Contenido total de flavonoides; MO = Materia orgánica; CE = Conductividad eléctrica; CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico; *, ** = Correlación significativa al 0.05 y 0.01 (bilateral), respectivamente.

la descomposición de la MO, por lo que es posible suponer que existe una relación directa: a mayor contenido de MO, mayor liberación de estos productos (Anaya-Lang & Espinoza-García, 2006).

Respecto a las variables CTP y CTF (cuadro 3) estadísticamente la correlación de Pearson ($p < 0.05$) indica una correlación positiva entre éstas. De manera similar, se han determinado correlaciones positivas ($r = 0.51$ y 0.56) entre el CTP y la actividad antioxidante, con lo cual se establece que los frutos pueden poseer un alto valor nutricional, en el primer caso por Noui *et al.* (2014) en dátiles (*Phoenix dactylifera* L.) y en el segundo caso por Rodrigo-García *et al.*, (2011) en duraznos (*Prunus persica* L.). Se resalta esta correlación, en gran parte debido al intervalo de CTP, 84.84 a 124.95 mg EAG•100 mL⁻¹ de aceite, determinado en el presente estudio y a que diversos autores como Padilla *et al.* (2008), Berradre *et al.* (2013), Nossa-González *et al.* (2016), Martín (2018), Surco-Lagos *et al.* (2020), entre otros, mencionan que la actividad antioxidante que se presenta en las especies vegetales está directamente asociada con su CTP.

En términos generales, como pudiera esperarse, los resultados registrados, en el presente estudio, difieren de los publicados previamente para nueces pecanas, cultivadas en otras partes del mundo, aparentemente debido a diferencias en los cultivares, las condiciones ambientales o las prácticas agronómicas, aplicadas en cada región (Rivera-Rangel *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

En mayor contenido de polifenoles, 124.95 mg EAG•100 mL⁻¹ de aceite, se registró en la huerta Narro, con árboles de 40 años establecidos. Por su parte, el contenido total de flavonoides, resultó estadísticamente igual en el aceite de las nueces de las cuatro huertas, oscilando entre 473.59 7 704.59 mg EAG•100 mL⁻¹ aceite. Mientras que, el aceite en las nueces osciló de 60.5 a 65.6 mL de aceite•100 g⁻¹ muestra y su contenido resultó mayor en las huertas Nirvana 1 y 2, con los árboles más jóvenes, 10 años de establecidos. Adicionalmente, ambos compuestos bioactivos – polifenoles y flavonoides, presentaron una correlación positiva, a su vez estos compuestos también registraron correlación positiva con el contenido de materia orgánica de los suelos. La información generada sobre el contenido de compuestos bioactivos, en el aceite de la nuez pecanera puede ser trascendente para los productores, fabricantes y consumidores de este fruto, ya que su ingesta se ha asociado, directamente, con la reducción en el riesgo de diferentes enfermedades crónicas como anti inflamación, desintoxicación carcinógena, y reducción del colesterol.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna.

Financing. The project entitled “Phytochemical characterization of regional fruits, linked to the physicochemical characteristics of the soils of each production unit”, from which this publication was generated, was funded by the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, with code: 38-111-425601002-2767.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Compliance with ethical standards. Not applicable.

Data availability: Data is available from A. Moreno-Reséndez and H. Toto-Teoba.

Author's Contribution Statement (CRediT)

Alejandro Moreno-Reséndez and Heidy Toto Teoba — Conceptualization, Writing – original draft –; **José Luis Reyes-Carrillo** – Resources, Supervision; **Abigail Reyes-Mungía** – Validation, Research; - Writing – Revision and editing; **Selenne Yuridia Márquez-Guerrero and Victoria Jared Borroel García** - Formal Analysis, Software. **Pablo Preciado-Rangel** -Variable Measurement

REFERENCES

- Álvarez-Parrilla, E. and de la Rosa, L., Urrea-López, R., 2018. Bioactive components and health effects of pecan nuts and their byproducts: a review. *Journal of Food Bioactives*, 1, pp 56-92. <https://doi.org/10.31665/JFB.2018.1127>
- Amaral, J.S., Alves, M.R., Seabra, R.M. and 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), pp.5467-5472. <https://doi.org/10.1021/jf050342u>
- Amin, F., Masoodi, F.A., Baba, W.N., Khan, A. A. and Ganie, B.A., 2017. Effect of different ripening stages on walnut kernel quality: antioxidant activities, lipid characterization and antibacterial properties. *Journal of Food Science and Technology*, 54(12), pp. 3791-3801. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2776-4>
- Anaya-Lang, A.L. and Espinoza-García, F.J., 2006. La química que entretiene a los seres vivos.

- Ciencias*, 83, pp. 4-13.
<https://www.redalyc.org/pdf/644/64408302.pdf>
- Aquino-Bolaños, E.N., Mapel-Velazco, L., Chávez-Servia, J.L., Corona-Velázquez, R., Herrera-Meza, S. and 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), pp.255-272.
<https://doi.org/https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.1098>
- Asare, M.O., Száková, J. and Tlustoš, P., 2023. The fate of secondary metabolites in plants growing on Cd-, As-, and Pb-contaminated soils—a comprehensive review. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(5), pp.11378-98.
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-24776-x>
- Berradre, M., González, C., Sulbarán, B., Fernández, V., 2013. Polyphenols content and antioxidant activity of grape seed extract (*Vitis vinifera*) malvasia and tempranillo variety. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 30, pp. 619-631.
https://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/octubre_diciembre2013/v30n4a2013619631.pdf
- Bouali, I., Rattouli, H., Herchi, W., Martine, L., Grégoire, S., Albouchi, A., Martínez-Force, E., Boukhchina, S. and Berdeaux, O., 2022. Chemical composition and thermal properties of Tunisian pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] oils. *Grasas y Aceites*, 73(3), pp. 1-10.
<https://doi.org/10.3989/gya.0436211>.
- Caballero-Gutiérrez, L. and Gonzáles, G. F., 2016. Foods with anti-inflammatory effect. *Acta Médica Peruana*, 33(1), pp.50-64.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172016000100009
- Cabezas-Zábala, C. C., Hernández-Torres, B. C. and Vargas-Zárate, M., 2016. Aceites y grasas, pp. efectos en la salud y regulación mundial. *Revista de la Facultad de Medicina*. 64, pp. 761-768.
<https://doi.org/10.15446/revfacmed.v64n4.53684>
- Cao, J., Shi, T., Wang, Y., Wang, J., Cao, F., Yu, P. and Su, E., 2024. Pecan (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) nuts as an emerging source of protein: extraction, physicochemical and functional properties. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 104(14), pp. 8756-8768.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.13702>
- Castelo-Branco, V.N., Santana, I., Di-Sarli, V.O., Freitas, S.P. and Torres, A.G., 2016. Antioxidant capacity is a surrogate measure of the quality and stability of vegetable oils. *European Journal of Lipid Science & Technology*, 118, pp. 224–235.
<https://doi.org/10.1002/ejlt.201400299>
- Chandrasekara, N. and Shahidi, F., 2011. Effect of Roasting on Phenolic Content and Antioxidant Activities of Whole Cashew Nuts, Kernels, and Testa. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(9), pp. 5006-5014.
<https://doi.org/10.1021/jf2000772>
- Clermont, K., Graham, C.J., Lloyd, S.W., Grimm, C.C., Randall, J.J. and Mattison, C.P., 2023. Proteomic Analysis of Pecan (*Carya illinoensis*) Nut Development. *Foods*,12(4), pp. 866.
<https://doi.org/10.3390/foods12040866>
- Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M. and Mattei, J., 2018. The Role of Polyphenols in Human Health and Food Systems: A Mini-Review. *Frontiers in Nutrition*, 5, pp. 87.
<https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00087>
- Crews, C., Hough, P., Godward, J., Brereton, P., Lees, M., Guiet, S. and Winkelmann, W., 2005. Study of the Main Constituents of Some Authentic Walnut Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(12), pp. 4853-4860.
<https://doi.org/10.1021/jf0478354>
- Das, S., Barman, S., Teron, R., Bhattacharya, S.S. and Kim, K.-H., 2020. Secondary metabolites and anti-microbial/anti-oxidant profiles in *Ocimum* spp.: Role of soil physico-chemical characteristics as eliciting factors. *Environmental Research*, 188, pp.109749.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109749>
- de Ancos, B., Fernández-Jalao, I. and Sánchez-Moreno, C., 2016. Compuestos funcionales en productos de IV y V gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(2), pp. 130-148.

- <https://www.redalyc.org/journal/813/81349041002/html/>
- de la Rosa, L.A., Álvarez-Parrilla, E. and Shahidi, F., 2011. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Kernels and Shells of Mexican Pecan (*Carya illinoensis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1), pp. 152-162. <https://doi.org/10.1021/jf1034306>.
- de la Rosa, L.A., Álvarez-Parrilla, E. and García-Fajardo, J.A., 2019. Identificación de compuestos fenólicos en extractos de almendra (*Prunus dulcis*) y nuez pecana (*Carya illinoensis*) mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem (HPLC-MS/MS). *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 22, pp. 1-13. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.179>.
- Di Vaio, C., Marallo, N., Graziani, G., Ritieni, A. and Di Matteo, M., 2015. Evaluation of fruit quality, bioactive compounds and total antioxidant activity of flat peach cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(10), pp. 2124-2131. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6929>
- Domínguez-Ávila, J.S.A., Álvarez-Parrilla, E., González-Aguilar, G.A., Villa-Rodríguez, J.A., Olivas-Orozco, G.I., Corral, J.M., Gómez-García, M.D.C. and de la Rosa, L.A., 2013. Influence of Growing Location on the Phytochemical Content of Pecan (*Carya illinoensis*) Oil. *Journal of Food Research*, 2, pp. 143-151. <https://doi.org/10.5539/jfr.v2n5p143>
- Domínguez-Ávila, J.A., Álvarez-Parrilla, E., López-Díaz, J.A., Maldonado-Mendoza, I.E., Gómez-García, M.C. and 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, pp. 529-537. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.092>.
- Escapinello, J., Magro, J.D., Block, J.M., Di Luccio, M., Tres, M.V. and Oliveira, J.V., 2017. Fatty acid profile of pecan nut oils obtained from pressurized n-butane and cold pressing compared with commercial oils. *Journal of Food Science and Technology*, 54(10), pp. 3366-3369. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2771-9>
- Fawole, O.A. and Opara, U.L., 2013. Effects of storage temperature and duration on physiological responses of pomegranate fruit. *Industrial Crops and Products*, 47, pp. 300-309. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.03.028>
- Flores-Córdova, M.A. and Sánchez-Chávez, E., 2016. Phytochemicals and nutrients in almond and pecan nut shell. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica (RIIT)*, 3(18), pp. 1-10. https://riit.com.mx/apps/site/files/fitoquimicos_y_nutrientes_en_almendra_y_cscara_de_nuez_pecanera.pdf
- Galache, K., 2024. El nogal pecanero: usos medicinales y propiedades antioxidantes. *Avance y Perspectiva*, 1-4. <https://avancey perspectiva.cinvestav.mx/el-nogal-pecanero-usos-medicinales-y-propiedades-antioxidantes/?output=pdf>
Fecha de recuperación: 19 de noviembre de 2024.
- González-Gallego, J., Sánchez-Campos, S. and Tuñón, M.J., 2007. Anti-inflammatory properties of dietary flavonoids. *Nutrición Hospitalaria*, 22(3), pp. 287-293. <https://www.redalyc.org/pdf/3092/309226717002.pdf>
- González-Gallego, J., García-Mediavilla, M., Sánchez-Campos, S. and Tuñón, M., 2010. Fruit polyphenols, immunity and inflammation. *British Journal of Nutrition*, 104(S3), pp. S15-S27. <https://doi.org/10.1017/S0007114510003910>
- González-González, J.A., 2009. Manual Básico SPSS: Manual de introducción a SPSS. Programa Jóvenes Profesionales. Centro de Inserción Laboral. Universidad de Talca, Chile.
- Karak, P., 2019. Biological activities of flavonoids: an overview. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 10(4), pp. 1567-1574. <https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232>
- Kremer, D., Grubešić, R.J., Ballian, D., Stešević, D., Kosalec, I., Rodríguez, J.V., Vukobratović, M. and Srećec, S., 2016. Influence of soil

- traits on polyphenols level in *Moltkia petraea* (Tratt.) Griseb. (*Boraginaceae*). *Acta Botánica Croatica*, 75(2), pp. 266-271. <https://doi.org/10.1515/botcro-2016-0026>
- Lamuel-Raventos, R.M. and Onge, M.S., 2017. Prebiotic nut compounds and human microbiota. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(14), pp. 3154-3163. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1096763>
- Lavalle, A.L., Micheli, E.B. and Rubio, N., 2006. Análisis didáctico de regresión y correlación para la enseñanza media. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 9(3), pp. 383-406. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-24362006000300004
- Ling, P. K., Ong, S. L. and Sobri, H., 2011. Strategies in enhancing secondary metabolites production in plant cell cultures. *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, 5(2), pp.94-101.
- Luna-Guevara, J.J. and 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), pp. 33-39. <https://revcital.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/544>
- Madawala, S.R.P., Kochhar, S.P. and Dutta, P.C., 2012. Lipid components and oxidative status of selected specialty oils. *Grasas y Aceites*, 63(2), pp. 143-151. <https://doi.org/10.3989/gya.083811>
- Martin G., D.A., 2018. Los compuestos fenólicos: un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), pp. 81-104. <https://doi.org/10.22490/21456453.1968>
- Miraliakbari, H. and Shahidi, F., 2008. Lipid class compositions, tocopherols and sterols of tree nut oils extracted with different solvents. *Journal of Food Lipids*, 15(1), pp. 81-96. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2007.00104.x>
- Noperi-Mosqueda, L.C., Soto-Parra, J.M., Sánchez, E., Piña-Ramírez, F.J., Pérez-Leal, R., Flores-Córdova, M.A. and Salas-Salazar, N.A., 2019. Impact of Organic and Mineral Fertilization in Pecan Nut on Production, Quality and Antioxidant Capacity. *Agricultural Sciences*, 10, pp. 227-240. <https://doi.org/10.4236/as.2019.102019>
- Nossa-González, D.L., Talero-Pérez, Y.V. and Rozo-Núñez, W.E., 2016. Determination of polyphenols and antioxidant activity of polar extracts of comfrey (*Symphytum officinale* L.). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 21(2), pp. 125-132. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_artext&pid=S1028-47962016000200001
- Noui, Y., Lombarkia, O. A., Bekrar, A., Chibane, H. A., Lekbir, A., Abdeddaim, M., Fahloul, D. and Bacha, A., 2014. Comparative study of the physicochemical characteristics and antioxidant activity of three dates varieties (*Phoenix dactylifera* L.) Grown in Algeria. *Annals: Food Science & Technology*, 15(2), pp. 276-283. https://afst.valahia.ro/wp-content/uploads/2022/09/s01_w09_full_2014.pdf
- Orona-Castillo, I., Sangerman-Jarquín, D.M., Cervantes-Vázquez, M.G., Espinoza-Arellano, J.J. and Núñez-Moreno, J.H., 2019. La producción y comercialización de nuez pecanera en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(8), pp. 1797-1808. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1833>
- Padilla, F.C., Rincón, A.M. and Bou-Rached, L., 2008. Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58(3), pp. 303-308. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2008/3/art-14/>
- Pinheiro-do Prado, A.C., Monalise Aragão, A., Fett, R. and 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), pp. 460-469. <https://doi.org/10.3989/gya.129708>
- Polmann, G., Badia, V., Frena, M., Teixeira, G.L., Rigo, E., Block, J.M. and Camino Feltes, M.M., 2019. Enzyme-assisted aqueous extraction combined with experimental designs allow the obtaining of a high-quality and yield pecan nut oil. *LWT - Food Science and Technology*, 113(1), pp. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108283>

- Quiñones, M., Miguel, M. and Aleixandre, A., 2012. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27, pp. 76-89. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112012000100009
- Reyes-Vázquez, N.M., Cervantes-Martínez, J., Obregón-Solís, E. and García-Fajardo, J.A., 2016. Capítulo 2 Tecnologías de extracción y métodos de cuantificación de fitocompuestos. In: N.C. Reyes-Vázquez, and R. Urrea-López, Ed. *Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México*. Jalisco:Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). México. pp. 54-84.
- Reyes-Vázquez, N.C., 2016. Capítulo 4 Aprovechamiento integral de la nuez pecanera como fuente de fitocompuestos. In: N.C. Reyes-Vázquez, and R. Urrea-López, Ed. *Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México*. Jalisco:Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). México. pp. 96-111.
- Rico, D., Martín-Diana, A.B., 2023. Nutraceuticos y alimentos funcionales aliados para la salud: la necesidad de un diseño “a medida”. *Nutrición Clínica en Medicina*, 17(2), pp. 103-118. <https://doi.org/10.7400/NCM.2023.17.2.5121>
- Rivera-Rangel, L.R., Aguilera-Campos, K.I., García-Triana, A., Ayala-Soto, J.G., Chávez-Flores, D. and Hernández-Ochoa, L., 2018. Comparison of Oil Content and Fatty Acids Profile of Western Schley, Wichita, and Native Pecan Nuts Cultured in Chihuahua, Mexico. *Journal of Lipids*, 2018, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1155/2018/4781345>
- Rodrigo-García, J., de la Rosa, L.A., Herrera-Duenez, B., González-Barrios, A.G., López-Díaz, J.A., González-Aguilar, G.A., Ruiz-Cruz, S., Álvarez-Parrilla, E., 2011. Cuantificación de polifenoles y capacidad antioxidante en duraznos comercializados en Ciudad Juárez, México. *Tecnociencia – Chihuahua*, 5(2), pp. 67-75. <https://doi.org/10.54167/tch.v5i2.696>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)., 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, Distrito Federal. 85 p.
- Suárez-Jacobo, Á. and Urzúa-Esteva, E., 2016. Capítulo 3. Oportunidades tecnológicas para la nuez en el sector alimenticio. In: N.C. Reyes-Vázquez, and R. Urrea-López, Ed. *Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México*. Jalisco:Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). México. pp. 73-95.
- Surco-Laos, F., Ayquipa Paucar, H., Quispe Gamboa, W., García Ceccarelli, J. and Valle Campos, M., 2020. Phenolic compounds and antioxidant activity of grape seeds residues of pisco production. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(2), pp. 123-131. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i2.282>
- Stevens-Barrón, J.C., de la Rosa, L.A., Wall-Medrano, A., Álvarez-Parrilla, E., Rodríguez-Ramírez, R., Robles-Zepeda, R.E. and Astiazaran-García, H., 2019. Chemical composition and *in vitro* bioaccessibility of antioxidant phytochemicals from selected edible nuts. *Nutrients*, 11(10), pp. 1-23. <https://doi.org/10.3390/nu11102303>
- Tavakoli, M., Tarkesh Esfahani, M., Soltani, S., Karamian, R. and Aliarabi, H., 2022. Effects of ecological factors on phenolic compounds in *Salvia multicaulis* Vahl (*Lamiaceae*). *Biochemical Systematics and Ecology*, 104, pp. 104484. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2022.104484>
- Tiwari, R. and Shukla, A.K., 2020. Plant metabolites and their role in health benefits: A brief review. *Advance Pharmaceutical Journal*, 5(2), pp.47-53. <https://doi.org/10.31024/apj.2020.5.2.2>
- Trandafir, I. and Cosmulescu, S., 2020. Total Phenolic Content, Antioxidant Capacity and Individual Phenolic Compounds of Defatted Kernel from Different Cultivars of Walnut. *Erwerbs-Obstbau*, 62(3), pp. 309-314. <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00501-1>

- van Vliet, M., Adasme-Berriós, C., Schnettler, B. and Adasme-Berriós, C., 2015. Acceptance of functional food among Chilean consumers: apple leather. *Nutrición Hospitalaria*, 32(4), pp.1616-1623. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.4.9466>
- Verdecía, D.M., Herrera-Herrera, R.C., Torres, E., Sánchez, A.R., Hernández-Montiel, L.G., Herrera, R.S., Ramírez, J. L., Bodas, R., Giráldez, F.J., Guillaume, J., Uvidía, H. and López, S., 2021. Primary and secondary metabolites of six species of trees, shrubs and herbaceous legumes. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 55(1), pp.77-93. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_artt_ext&pid=S2079-34802021000100008
- Yang, J., Liu, R.H. and Halim, L., 2009. Antioxidant and antiproliferative activities of common edible nut seeds. *LWT - Food Science and Technology*, 42(1), pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.07.007>
- Zhishen, J., Mengcheng, T. and Jianming, W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), pp. 555-559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)
- Zraik, M., Booth, T. and Piercey-Normore, M.D., 2018. Relationship between lichen species composition, secondary metabolites and soil pH, organic matter, and grain characteristics in Manitoba. *Botany*, 96(4), pp.267-79. <https://doi.org/10.1139/cjb-2017-0176>