

Efecto del método de extracción y calidad de nuez pecanera en características fisicoquímicas y perfil lipídico del aceite para potencial aplicación clínica

Effect of the extraction method and pecan nut quality on the physicochemical characteristics and lipid profile of the oil for potential clinical application

Hilario Azuara A. S.¹, Castro García H.², de la Garza Hernández A. L. I.³, Ayala de la Cruz S.⁴, García Fajardo J. A.¹, Obregón Solís E. (†)¹, Morales Landa J. L.¹, Reyes Vázquez N. C.^{1*}

¹CIATEJ Noreste, Autopista Mty-Aeropuerto, Vía de la Innovación 404, Parque PIIT, 66628 Cdad. Apodaca, N.L.

*nreyes@ciatej.mx

² Facultad de Salud Pública y Nutrición. Centro de Investigación, Nutrición y Salud Pública.

Universidad Autónoma de Nuevo León., Dr. Eduardo Aguirre Pequeño 905, Mitras Centro, 64460 Monterrey, N.L., México.

³ Institute for Obesity Research, Tecnológico de Monterrey, Ave. Eugenio Garza Sada 2501, 64700, Monterrey, NL, Mexico

⁴ Departamento de Patología Clínica, Facultad de Medicina y Hospital Universitario "Dr. José E. González", Universidad Autónoma de Nuevo León., Av. Madero y Gonzalitos S/N, Mitras Centro, Monterrey, N.L., México

Resumen:

El sobrepeso está asociado con inflamación crónica de bajo grado y riesgo metabólico. En este contexto, el aceite de nuez pecanera constituye una alternativa nutracéutica por su contenido de ácidos grasos insaturados. Sin embargo, el proceso de obtención puede afectar su calidad y composición. Este estudio evaluó el efecto de dos métodos de extracción prensado en frío y utilizando hexano y tres tamaños Granzón (Gz) Granillo (Gr) y Pawnee (Pw) sobre el rendimiento, calidad fisicoquímica, color, inocuidad microbiológica y perfil de ácidos grasos de aceites obtenidos. Gz presentó el mayor rendimiento con hexano ($p < 0.05$) con 74.1%, mientras para prensado fue de 51%. En la calidad fisicoquímica para Pw, el índice de peroxidación y acidez fue de 2.3 meq O₂/kg, y 0.45 mg KOH/g; 4.6 meq O₂/kg y 0.91 mg KOH/g para el primero y segundo respectivamente. También mostró mayor luminosidad con 6.3 y tono verdoso con -0.8. Ambos métodos produjeron aceites con perfiles ricos en ácidos grasos insaturados superiores al 80%, con oleico, linoleico y linolénico de hasta 65.05, 35.85 y 1.98% respectivamente mediante prensado, sin crecimiento microbiano. Por lo anterior, el prensado favorece la calidad fisicoquímica, inocuidad y el potencial nutracéutico del aceite para aplicaciones clínicas.

Palabras clave: *aceite de nuez, nutracéutico, prensado en frío, ácidos grasos, intervención clínica.*

Abstract:

Overweight is associated with chronic low-grade inflammation and metabolic risk. In this context, pecan nut oil constitutes a nutraceutical alternative due to its unsaturated fatty acid content. However, the extraction process can affect its quality and composition. This study evaluated the effect of two extraction methods: cold pressing and hexane, and three sizes: Granzón (Gz), Granillo (Gr), and Pawnee (Pw), on the yield, physicochemical quality, color, microbiological safety, and fatty acid profile of the oils obtained. Gz presented the highest yield with hexane ($p < 0.05$) with 74.1%, while for pressed it was 51%. In the physicochemical quality for Pw, the peroxidation and acidity index were 2.3 meq O₂/kg, and 0.45 mg KOH/g, 4.6 meq O₂/kg and 0.91 mg KOH/g for the first and second, respectively. It also showed greater luminosity (6.3) and a greenish hue (-0.8). Both methods produced oils with profiles rich in unsaturated fatty acids exceeding 80%, with oleic, linoleic, and linolenic acids of up to 65.05, 35.85,

and 1.98%, respectively, through pressing without microbial growth. Therefore, pressing enhances the physicochemical quality, safety, and nutraceutical potential of the oil for clinical applications.

Keywords: *pecan nut oil, nutraceutical, cold pressing, fatty acids, clinical intervention.*

Introducción

La nuez pecanera [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch], originaria de América del Norte y cultivada ampliamente en regiones de clima templado, ha cobrado importancia en la industria alimentaria debido a su perfil lipídico y contenido de compuestos bioactivos. Entre sus principales componentes destacan los ácidos grasos monoinsaturados como el oleico, así como los poliinsaturados linoleico y α -linolénico, los cuales han sido asociados con la modulación positiva del perfil lipídico y la prevención de enfermedades cardiovasculares (Rajaram et al., 2001; Hudthagosol et al., 2011). Adicionalmente, las nueces pecaneras son ricas en compuestos fenólicos, tocoferoles y fitoesteroles que actúan como antioxidantes naturales. Estos compuestos han demostrado efectos antiinflamatorios, hipolipemiantes y antitrombóticos, posicionando a este fruto como un alimento funcional de alto valor nutritivo (de la Rosa et al., 2011).

A pesar de los beneficios potenciales antes descritos, la obtención de aceite a partir de la nuez pecanera representa un reto tecnológico, ya que el método de extracción puede alterar su composición y calidad. Entre los métodos más utilizados se encuentran la extracción con solventes orgánicos, como el hexano, y el prensado en frío. El primero es eficiente en términos de rendimiento, pero puede dejar residuos tóxicos, alterar la estabilidad oxidativa y reducir la cantidad de compuestos bioactivos (Moyano et al., 2008). Por otro lado, el prensado en frío se ha promovido como una alternativa más segura y ecológica, preservando mejor los ácidos grasos esenciales, antioxidantes y micronutrientes sensibles al calor; sin embargo, dicha eficiencia se ve limitada por la estructura de la matriz oleaginosa. En este contexto, el uso de un precalentamiento del equipo a 50 °C o menor, previo al prensado, es necesario ya que favorece la liberación del aceite y mejorar rendimiento de extracción, sin comprometer la calidad del producto final (Çakaloğlu et al., 2018). No obstante, aún persisten retos importantes en la investigación respecto a estudios comparativos exhaustivos entre ambos métodos, especialmente con nuez pecanera, ya que la mayoría de los trabajos se enfocan parámetros fisicoquímicos y no consideran de manera integral variables como calidad microbiológica, estabilidad oxidativa, rendimiento y perfil completo de ácidos grasos.

Cabe destacar que algunas investigaciones han mostrado que el consumo de nuez pecanera y otros frutos secos ejercen beneficios en la regulación de parámetros metabólicos e inflamatorios. En donde, la incorporación de nuez pecanera en la dieta se ha asociado con disminuciones en colesterol total y LDL, junto con incrementos en colesterol HDL, lo que contribuye a un perfil cardioprotector (Rajaram et al., 2001; McKay et al., 2018). Estos resultados respaldan el potencial de los compuestos bioactivos presentes en la nuez pecanera y sus aceites como aliados en el manejo dietético de procesos inflamatorios de bajo grado relacionados con sobrepeso, obesidad, resistencia a la insulina y enfermedades cardiovasculares.

En este contexto, el presente estudio plantea el objetivo de comparar dos métodos de extracción de aceite de nuez pecanera mediante prensado en frío y extracción con solvente (hexano), y evaluar su efecto sobre el rendimiento, las propiedades fisicoquímicas, la calidad microbiológica y el perfil de ácidos grasos del aceite, utilizando tres tamaños distintos de nuez pecanera. La finalidad es determinar cuál método para extracción de aceite resulta más adecuado para conservar mejores rendimientos, calidad fisicoquímica que preserve la calidad nutricional del aceite, con el fin de evaluar su potencial uso nutracéutico o clínico.

Materiales y métodos

Materia prima

Se adquirieron 3 lotes de 5 kilos cada uno, de nuez pecanera cosecha 2023 con distintas calidades según su tamaño (**Fig. 1**): Gz: Granzón, Gr: Granillo y Pw: Pawnee con $4.26\text{mm} \pm 1.01$, $8.03\text{mm} \pm 2.18$ y $32.06\text{mm} \pm 2.89$ respectivamente. Los dos primeros variedad criolla se adquirieron directamente de la huerta “Los corcovados” en Rayones, Nuevo León, el tercer lote variedad Pawnee se adquirió de la huerta “Santa María” de Zaragoza, Coahuila.

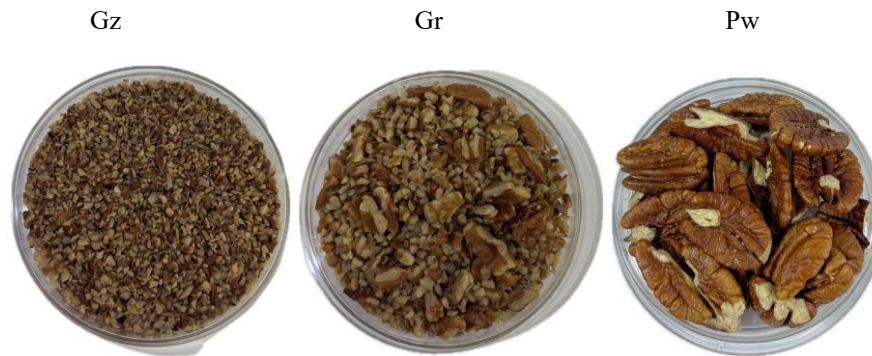


Fig. 1. Muestras con distintas calidades (Gz: granzón, Gr: granillo y Pw: Pawnee) de la nuez pecanera estudiada

Métodos de extracción

Se emplearon dos métodos de extracción para obtener el aceite de nuez pecanera (**Fig. 2A**): mediante prensado en frío y con solvente. En la primera se procesaron muestras de 300 gramos de nuez picada por sextuplicado y el aceite fue extraído en una prensa de tornillo tipo Speller para la cual se realizó un precalentamiento de $40\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la velocidad de rotación fue de 50 rpm.

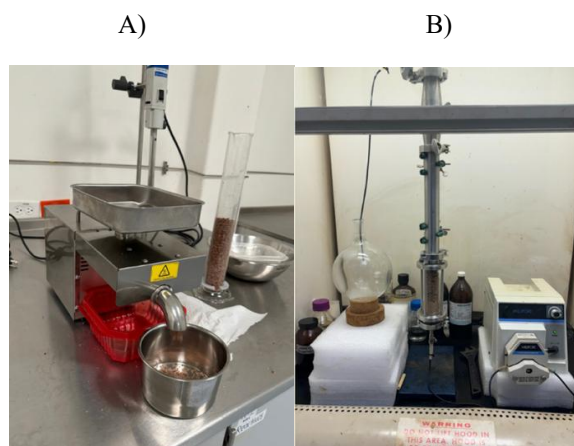


Fig. 2. Aspecto de los procesos de extracción de aceite **A)** Sistema de extracción por prensado en frío con prensa de tornillo tipo Speller. **B)** Sistema de extracción por solvente utilizando hexano conectada a una bomba peristáltica para el control del flujo (10 mL/min).

Para el caso de la extracción con solvente (**Fig. 2B**), también se procesaron por sextuplicado muestras de 300 gramos de nuez molida en una columna de vidrio de flujo descendente a través de la cual se hizo pasar hexano con un caudal constante de 10 mL/min, utilizando una bomba peristáltica para mantener la velocidad de flujo

Caracterización fisicoquímica y color

Los parámetros fisicoquímicos fueron determinados mediante métodos oficiales de la Association of Official Analytical Chemist (AOAC). La acidez libre se cuantificó mediante el método de titulación con NaOH (AOAC 940.28). El índice de peróxidos mediante valoración yodométrica (AOAC 965.33). El índice de saponificación por hidrólisis alcalina (AOAC 920.160) y el índice de refracción con refractómetro digital calibrado a 40°C (AOAC 921.08). Estas determinaciones permitieron evaluar la estabilidad oxidativa, el grado de hidrólisis lipídica y la calidad global de aceites obtenidos.

La caracterización colorimétrica del aceite se realizó utilizando un espectrofotómetro ColorFlex EZ (HunterLab), operando bajo el sistema CIELAB, el cual proporciona los valores de L* (luminosidad), a* (rojo-verde) y b* (amarillo-azul). Las muestras se midieron en cubetas de vidrio transparente, en condiciones controladas de iluminación y temperatura.

Caracterización microbiológica

La evaluación microbiológica del aceite se llevó a cabo siguiendo los lineamientos establecidos por la normativa sanitaria mexicana. El recuento de bacterias aerobias mesófilas se realizó conforme a la NOM-092-SSA1-1994, la determinación de coliformes totales según la NOM-114-SSA1-1994, y el análisis de hongos y levaduras de acuerdo con la NOM-111-SSA1-1994. Estas metodologías permitieron caracterizar el perfil microbiológico del aceite extraído mediante los diferentes métodos evaluados, con el fin de verificar su inocuidad y calidad microbiológica.

Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos fue determinado por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), según el método de (Jarret et al., 2013) con algunas modificaciones, previamente se realizó la conversión a ésteres metílicos mediante metilación alcalina. Se utilizó una columna capilar HP-88 (60 m × 0.25 mm × 0.20 μm), diseñada para la separación eficiente de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. La cuantificación se realizó con base en áreas relativas, utilizando estándares externos certificados.

En todos los experimentos se realizaron tres réplicas, y las determinaciones analíticas se efectuaron por triplicado, con excepción del análisis de color instrumental, el cual se llevó a cabo por quintuplicado.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos en cada uno de los diseños experimentales fueron procesados estadísticamente realizando análisis de varianza y comparación de medias por el método Fisher, con ayuda del programa de computación STATGRAPHICS 18 versión 18.1.13

Resultados

Rendimientos de extracción y caracterización fisicoquímica

El rendimiento de extracción es un parámetro clave en la industria alimentaria, ya que influye directamente en la viabilidad económica del proceso. En los procesos de obtención de aceites, depende tanto del método de extracción como de la variedad del fruto, su contenido lipídico y las condiciones de operación (Domínguez et al., 2019). Generalmente, los métodos mecánicos como el prensado en frío son más seguros desde el punto de vista toxicológico y conservan mejor los compuestos bioactivos, pero sacrifican eficiencia extractiva frente a métodos con disolventes orgánicos como el hexano, que son más agresivos y penetrantes (Moyano et al., 2008).

En la **Tabla 1**, se observó que, la extracción con solvente produjo rendimientos significativamente mayores ($p < 0.05$) en comparación con el prensado en frío para los tres tamaños evaluados, en donde Gr mostró el mayor rendimiento con 74.1 %, seguida por Gz y Pw con 68.81% y 63.66% respectivamente; en contraste, con el prensado en frío produjo rendimientos menores con 51.81, 49.73 y 45.15 % para Gr, Gz y Pw respectivamente; sin embargo, Gz también obtuvo el mayor rendimiento con relación a los otros dos tamaños evaluados.

Estos resultados concuerdan con lo reportado en revisiones comparativas sobre métodos de extracción de aceites vegetales, donde se ha señalado que la extracción con solventes suele proporcionar mayores rendimientos en comparación con el prensado mecánico en frío; sin embargo, este último permite una mejor conservación de compuestos bioactivos y cualidades nutricionales del aceite. Este comportamiento refleja un compromiso inherente entre eficiencia extractiva y preservación de la calidad, el cual debe considerarse en función del uso final del aceite. (Lavenburg et al., 2021).

Estos resultados concuerdan con lo reportado en revisiones comparativas sobre métodos de extracción de aceites vegetales, donde se ha señalado que la extracción con solventes suele proporcionar **mayores rendimientos** en comparación con el prensado mecánico en frío; sin embargo, este último permite una **mejor conservación de compuestos bioactivos y cualidades nutricionales** del aceite. Este

comportamiento refleja un compromiso inherente entre eficiencia extractiva y preservación de la calidad, el cual debe considerarse en función del uso final del aceite (Lavenburg, 2021).

Tabla 1. Rendimientos y parámetros fisicoquímicos del aceite de nuez pecanera extraído mediante prensado en frío y con solvente para tres tamaños de nuez pecanera (Gz, Gr y Pw)

Tipo de extracción	Tamaño	Rendimiento (%)	Índice de peroxidación (meq O ₂ /kg aceite)	Índice de acidez (mg KOH/g)	Índice de refracción (%)	Saponificación (meq O ₂ /kg aceite)
Prensado	Gz	49.73±0.95 ^{AB}	3.18±0.25 ^C	2.1±0.10 ^C	1.40±0.07 ^A	171.37±14.85 ^A
	Gr	51.81±1.30 ^{AB}	2.6±0.29 ^B	1.11±0.04 ^B	1.35±0.03 ^A	179.09±4.10 ^{AB}
	Pw	45.15±0.85 ^A	1.32±0.19 ^A	0.41±0.04 ^A	1.46±0.00 ^B	186.42±6.61 ^B
Solvente	Gz	68.81±1.25 ^a	7.4±0.40 ^c	3.27±0.03 ^c	1.46±0.00 ^b	176.13±14.13 ^a
	Gr	74.1±1.60 ^b	4.67±0.32 ^b	1.63±0.14 ^b	1.46±0.00 ^a	195.39±7.43 ^b
	Pw	63.66±1.10 ^c	3.3±0.27 ^a	0.76±0.08 ^a	1.46±0.00 ^{ab}	179.48±11.95 ^a

Letras mayúsculas y minúsculas en cada columna para cada parámetro representan diferencias significativas ($p < 0.05$) para extracción con prensado y solvente respectivamente.

Por lo que, los rendimientos mayores obtenidos pueden estar relacionados con la capacidad del disolvente para solubilizar lípidos atrapados en estructuras celulares profundas, lo que es difícil de lograr con presión mecánica, especialmente cuando no se aplican procesos de ruptura celular o desintegración térmica previos. Asimismo, el menor tamaño de Gr aumentó la superficie de contacto particularmente en presencia del solvente, y favoreció también la extracción mediante prensado. Con base a los resultados anteriores, indican que tanto el método de extracción como el tamaño influyen de manera significativa en el rendimiento de extracción del aceite de nuez.

La evaluación fisicoquímica del aceite es fundamental para determinar su estabilidad, pureza y aptitud para consumo humano o aplicación funcional. De acuerdo con el Codex Alimentarius (2019), parámetros como los índices de acidez, peroxidación, saponificación y refracción son esenciales para establecer criterios de inocuidad y calidad en aceites vegetales. En este sentido, Firestone (2009) destaca que dichos indicadores permiten estimar tanto el grado de hidrólisis y oxidación lipídica, así como la estructura química predominante en la muestra, mientras que Domínguez et al. (2019) señalan su relevancia en la evaluación de la estabilidad oxidativa y vida de anaquel de aceites. Por otro lado, Moyano et al. (2008) resaltan que la combinación de estos índices también refleja la influencia del procesamiento y de los métodos de extracción en la composición química predominante.

En la **Tabla 1** se muestra el efecto de tipo de extracción y tamaño sobre los parámetros fisicoquímicos en el aceite extraído. El índice de acidez, indicador del contenido de ácidos grasos libres, fue consistentemente menor en los aceites obtenidos mediante prensado en frío. Pw presentó el valor más bajo con 0.41 mg KOH/g, seguida por Gr y Gz con 1.11 y 2.10 mg KOH/g respectivamente. En comparación, los aceites extraídos con hexano mostraron niveles más elevados: 0.76, 1.63 y 3.27 mg KOH/g para Pw, Gr y Gz respectivamente. Estos resultados reflejan que el prensado en frío probablemente induce mejor hidrólisis de triglicéridos, posiblemente por la ausencia de solventes.

En cuanto al índice de peróxidos, que constituye uno de los parámetros más relevantes para evaluar la frescura y calidad oxidativa de aceites, ya que cuantifica los hidroperóxidos formados durante la oxidación primaria de lípidos, en donde, los valores bajos indican un aceite fresco y estable, mientras que valores elevados reflejan un mayor grado de deterioro, con riesgo de formación de compuestos secundarios (aldehídos, cetonas) responsables de olores y sabores rancios, así como la pérdida de valor nutricional. Diversos factores influyen en la peroxidación, entre ellos, el tamaño de partícula, la exposición al oxígeno durante el procesamiento, el método de extracción y el contenido de antioxidantes naturales como tocoferoles y compuestos fenólicos. De acuerdo con el Codex Alimentarius (2019), los aceites comestibles deben presentar un IP (índice de peroxidación) ≤ 10 meq O₂/kg para considerarse aptos, criterio que se cumplió en los aceites prensados en frío de este estudio (**Tabla 1**), (1.32-3.18 meq O₂/kg), mientras que los obtenidos con hexano alcanzaron valores más elevados (hasta 7.4 meq O₂/kg). Este comportamiento coincide con lo descrito en la literatura, donde se ha documentado que los métodos mecánicos preservan mejor la estabilidad oxidativa que la extracción con solventes (Shahidi & Zhong, 2010; Domínguez et al., 2019)

Según el Codex Alimentarius (2019), el índice de refracción (IR) constituye un criterio clave de calidad en aceites, ya que se asocia con su densidad óptica y la proporción de ácidos grasos insaturados y pureza del producto. Se establecen rangos aceptables de IR para aceites vegetales comestibles, los cuales sirven como referencia para identificar adulteraciones o mezclas con aceite de distinto origen, además de detectar posibles alteraciones estructurales derivadas de procesos oxidativos o de refinación. De acuerdo con Firestone (2009), este parámetro permite validar la autenticidad del aceite y asegurar que conserve las propiedades fisicoquímicas esenciales; mientras que Shahidi y Zhong (2010) destacan su utilidad como indicador indirecto de estabilidad, especialmente cuando se relaciona con la presencia de ácidos grasos insaturados. En este estudio, los valores oscilaron entre 1.35 y 1.46 (**Tabla 1**), dentro del rango aceptable para aceites vegetales comestibles (Codex Alimentarius, 2019). Aunque no se detectaron diferencias significativas entre métodos ni tamaños, los aceites obtenidos por prensado en frío mostraron menor variabilidad, lo que sugiere una composición homogénea. Este comportamiento, junto con los resultados de estabilidad oxidativa, respalda que el prensado en frío favorece tanto la conservación como la autenticidad del aceite.

Por su parte, el índice de saponificación (IS), empleado para estimar la longitud promedio de las cadenas de ácidos grasos en un aceite, presentó valores de 171 a 195 mg KOH/g, rango consistente con lo reportado para aceites vegetales comestibles (Chowdhury et al., 2007; Nehdi et al., 2010). En este estudio, los aceites extraídos con hexano mostraron valores más elevados (**Tabla 1**), particularmente Gr, lo que sugiere una mayor proporción de ácidos grasos de cadena corta o media, probablemente debido a la capacidad del solvente para solubilizar fracciones lipídicas más ligeras. En contraste, los valores ligeramente menores observados en los aceites obtenidos por prensado en frío podrían estar relacionados con una mejor conservación de triglicéridos de cadena larga, los cuales aportan mayor estabilidad térmica y funcionalidad nutricional al producto final. Aunque este parámetro es ampliamente utilizado en la industria cosmética y jabonera, en el ámbito alimentario actúa como indicador indirecto de la composición estructural del aceite, y puede vincularse con su calidad y perfil funcional (Kyari, 2008; Akinola et al., 2010; Nehdi, 2010).

Estos hallazgos coinciden con revisiones recientes que indican que los métodos de extracción mecánicos, como el prensado en frío, tienden a preservar en mayor medida los compuestos antioxidantes naturales, lo cual se asocia con una mejor estabilidad oxidativa del aceite (Lavenburg et al., 2021). Por otra parte, el índice de refracción, además de reflejar la proporción de ácidos grasos insaturados, ha sido propuesto como un parámetro útil para detectar adulteración con aceites de menor costo, ya que desviaciones fuera del rango normativo pueden indicar mezclas o degradación (Moyano et al., 2008).

En este contexto, la estabilidad observada en los valores de IR (**Tabla 1**) en aceites prensados de nuez pecanera respalda su autenticidad y homogeneidad composicional. Finalmente, los valores de saponificación obtenidos concuerdan con lo descrito para aceite de nuez pecanera en estudios que reportan parámetros de calidad y un perfil lipídico dominado por ácidos grasos insaturados, con predominio del ácido oleico (Polmann et al., 2019).

Color

El color del aceite no solo constituye un atributo sensorial relevante para la aceptación del consumidor, sino que también refleja su composición en compuestos bioactivos y el grado de exposición a condiciones que producen su oxidación al que ha sido sometido.

El color de los aceites presentó variaciones con relación al método de extracción y tamaño de la nuez, como se muestra en la **Fig. 3**. En cuanto al parámetro L^* , los aceites obtenidos mediante prensado en frío mostraron una mayor luminosidad ($p < 0.05$) con relación a los extraídos con solvente, destacando el aceite Pw obtenido por prensado, con un valor de $L^* = 6.7$, seguido por Gz y Gr, con 5.8 y 5.2, respectivamente. Por el contrario, los valores más bajos se registraron en los aceites extraídos con hexano, siendo el menor correspondiente a Gr ($L^* = 4.4$). Estas diferencias indican que el prensado en frío, al evitar el uso de químicos y temperaturas agresivas, podrían favorecer una mayor luminosidad del aceite, posiblemente asociada a una menor degradación oxidativa de pigmentos y a la ausencia de residuos del proceso de extracción, como ha sido descrito para aceites obtenidos mediante procesos mecánicos (Moyano et al., 2008; Grajzer et al., 2020).

En cuanto al parámetro a^* , asociado a tonos rojizos o verdosos. los aceites prensados presentaron tonos verdosos, especialmente en Pw con -0.9 . Este comportamiento puede atribuirse a la presencia de clorofilas intactas, es decir, pigmentos verdes originales (clorofila a y b) que, de acuerdo con Mínguez-Mosquera (1991), no han sufrido degradación estructural y contribuyen tanto al matiz verde característico como a cierta actividad antioxidante en aceites vegetales. En contraste, los aceites extraídos con hexano tendieron hacia tonalidades rojizas, alcanzando un valor de $a^* = 1.1$ en Gz, que, según lo señalado por Psomiadou & Tsimidou (2001), puede estar asociado a la degradación de pigmentos verdes o a la formación de compuestos oxidados que generan el viraje hacia tonos rojos.

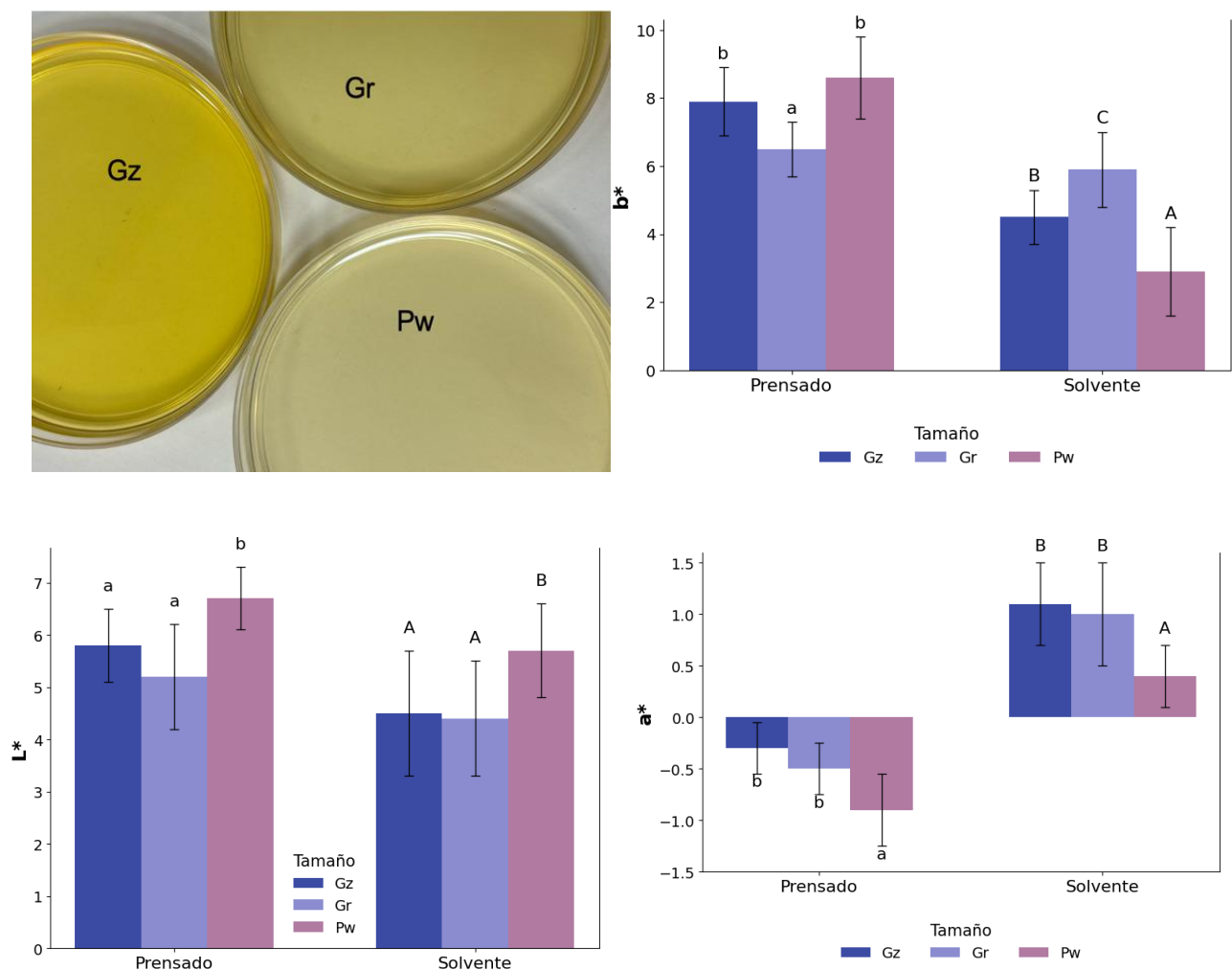


Fig. 3. Parámetros de color instrumental (L^* , a^* , b^*) del aceite de nuez obtenido con diferentes métodos de extracción y distintos tamaños, y aspecto de muestras de aceite de nuez obtenido por prensado para los tres tamaños Gz, Gr y Pw. Donde L^* (brillo o luminosidad; 0 = negro, 100 = blanco), a^* ($-a^*$ = verde, $+a^*$ = rojo) y b^* ($-b^*$ = azul, $+b^*$ = amarillo) respectivamente. Letras diferentes minúsculas o mayúsculas entre barras indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) para extracción por prensado y solvente respectivamente.

Respecto al parámetro b^* , que refleja la intensidad de los tonos amarillos, los valores más altos se observaron en los aceites prensados, particularmente en Pw con 8.6, mientras que los valores más bajos correspondieron a la misma variedad extraída con hexano ($b^* = 2.9$). Este comportamiento podría deberse a la mayor preservación de carotenoides como β -caroteno, luteína y zeaxantina en el prensado, compuestos que son sensibles a la degradación térmica y oxidativa. De acuerdo con Schmidt & Pokorny (2005), el método de extracción influye de manera directa en la estabilidad de los pigmentos carotenoides, de modo que procesos más suaves como el prensado en frío favorecen su conservación. Igualmente, Britton et al. (2008) señalan que la exposición a solventes y a temperaturas elevadas acelera la degradación de carotenoides, lo que traduce en una disminución de la intensidad del color amarillo característico de estos pigmentos. De forma complementaria, se ha documentado que la retención de carotenoides no solo contribuye al color del aceite, sino también a su capacidad antioxidante, ya que estos compuestos participan en la protección frente a la peroxidación lipídica (Kiokias et al., 2018). En este sentido, los valores más altos de b^* observados en los aceites obtenidos por prensado en frío pueden interpretarse como un

indicador de una mejor conservación de compuestos bioactivos y, en consecuencia, de un mayor potencial nutraceutico.

Los valores de L*, a* y b* reflejaron cambios de color en los aceites obtenidos por ambos métodos; en el caso de los aceites prensados, estos cambios parecen estar asociados a la conservación de pigmentos naturales y a la menor formación de compuestos de oxidación. Diversos estudios han vinculado estos parámetros con la presencia de clorofilas, feofitinas, tocoferoles y carotenoides, todos ellos sensibles durante el procesamiento y determinantes del color del aceite. Por ejemplo, Strati et al (2019) describen como las características cromáticas de los aceites prensados en frío capturan la presencia de pigmentos intactos, mientras que Suri et al. (2023) demostraron que los valores L*, a* y b* varían de acuerdo con el contenido de clorofilas y carotenoides, constituyendo indicadores de la calidad del aceite. De forma complementaria, se ha reportado que la degradación oxidativa conlleva a modificaciones en el color del aceite, asociadas a la formación de productos que alteran la intensidad de estos parámetros cromáticos (Choe & Min, 2006). Por lo anterior, el método de prensado favoreció una mayor luminosidad y la presencia de tonalidades verdosas en el aceite, lo que podría estar relacionado con la preservación de pigmentos bioactivos y, en consecuencia, con un mayor potencial nutraceutico.

Caracterización microbiológica

Los resultados de los parámetros microbiológicos indicaron que ninguno de los aceites analizados, independientemente del tamaño de nuez y el método de extracción, presentó crecimiento microbiano detectable en cuanto a coliformes totales, mesófilos aerobios y hongos y levaduras. Todas las muestras se mantuvieron por debajo de los límites de detección (<10 UFC/g) para los tres grupos microbiológicos evaluados. Este hallazgo indica que las condiciones de procesamiento, manejo y extracción fueron adecuadas para preservar la inocuidad del producto final.

Tabla 2. Caracterización microbiológica del aceite de nuez pecanera

Tipo de extracción	Tamaño	Parámetros microbiológicos (UFC/g)		
		CT	MA	HyL
Solvente	Gz	<10	<10	<10
	Gr	<10	<10	<10
	Pw	<10	<10	<10
Prensado	Gz	<10	<10	<10
	Gr	<10	<10	<10
	Pw	<10	<10	<10

*CT: Coliformes totales, MA: Mesófilos aerobios, HyL: Hongos y Levaduras.

Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos constituye un parámetro esencial en la calidad de aceites vegetales, ya que determina su valor nutricional, estabilidad oxidativa y aplicaciones tecnológicas. La proporción relativa de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados además de influir directamente en la susceptibilidad del aceite a la rancidez, en su estabilidad oxidativa durante procesamiento y almacenamiento, tiene un impacto sobre la salud humana (Gunstone, 2011; Nehdi et al., 2010). De manera general, un mayor contenido de ácidos grasos insaturados, especialmente oleico y linoleico, se asocia con beneficios cardiovasculares y propiedades antiinflamatorias, mientras

que un exceso de saturados incrementa el riesgo aterogénico (Ros, 2010). Asimismo, la presencia de ácidos grasos minoritarios, como el mirístico, heptadecanoico o eicosanoico, puede influir en la estabilidad térmica y en características sensoriales, siendo marcadores de autenticidad y diferenciación varietal (Akinola et al., 2010). En este contexto, el análisis del perfil de ácidos grasos no solo permite evaluar la calidad del aceite, sino también establecer su potencial nutraceutico y funcional en intervenciones dietéticas.

Tabla 3. Perfil de ácidos grasos del aceite de nuez pecanera extraído por prensado

% Ester metílico	Tamaño de nuez pecanera		
	Gz	Gr	Pw
Ácido mirístico C14:0	ND	ND	0.03±0.01
Ácido palmítico C16:0	8.51±1.25 ^a	9.4±0.62 ^{ab}	11.47±0.42 ^b
Ácido palmitoleico 16:1	0.07±0.00 ^a	0.06±0.00 ^a	0.03±0.02 ^a
Ácido heptadecanoico C17:0	0.05±0.00 ^a	0.07±0.02 ^a	0.07±0.02 ^a
Ácido esteárico C18:0	2.8±0.45 ^a	4.8±0.31 ^b	4.71±0.19 ^b
Ácido oleico C18:1	49.84±4.14 ^a	65.50±1.76 ^b	58.02±1.37 ^{ab}
Ácido linoleico C18:2	35.85±6.54 ^b	16.70±2.70 ^a	22.51±1.28 ^a
Ácido linolénico C18:3 (α -3)	1.59±0.30 ^a	1.98±0.23 ^a	1.56±0.13 ^a

Letras distintas en cada fila para cada ácido graso indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).
ND No detectado.

Como se muestra en la **Tabla 3** (extracción con prensado) y la **Tabla 4** (extracción con solvente), los principales ácidos grasos identificados en las muestras fueron el oleico (C18:1), linoleico (C18:2), palmítico (C16:0), esteárico (C18:0) y α -linolénico (C18:3), los cuales representan la fracción mayoritaria de la matriz lipídica. En menor proporción se detectaron ácidos grasos saturados, como el mirístico (C14:0), heptadecanoico (C17:0), eicosanoico (C20:0), y palmitoleico (C16:1), presentes de forma variable según el método de extracción.

Tabla 4. Perfil de ácidos grasos del aceite de nuez pecanera extraído por solvente

% Ester metílico	Tamaño de nuez pecanera		
	Gz	Gr	Pw
Ácido palmítico C16:0	7.76±0.92 ^a	7.09±0.00 ^a	9.77±0.22 ^b
Ácido heptadecanoico C17:0	0.05±0.03 ^a	0.02±0.00 ^a	0.07±0.00 ^a
Ácido esteárico C18:0	3.33±0.48 ^a	3.47±0.27 ^a	3.88±0.04 ^a
Ácido oleico C18:1	54.92±7.38 ^a	57.96±2.04 ^a	56.53±0.00 ^a
Ácido linoleico C18:2	31.18±6.59 ^a	28.19±2.44 ^a	27.29±0.00 ^a
Ácido linolénico C18:3	1.97±0.38 ^a	1.91±0.00 ^a	1.51±0.05 ^a
Ácido eicosanoico C20:0	0.11±0.00 ^a	0.11±0.00 ^a	0.12±0.00 ^b

Letras distintas en cada fila para cada ácido graso indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

En términos comparativos, el ácido oleico (C18:1) fue el ácido graso predominante en todas las muestras, con valores de 65.05% y 57.96% en el tamaño Gr para prensado y solvente respectivamente. Hallazgo importante dado que según Kris.Etherton (1999), una dieta rica en ácido oleico se asocia con la reducción de colesterol LDL, mientras que Mensink (2016) reportó efectos cardioprotectores dentro de un perfil lipídico saludable. En cuanto al ácido linoleico (C18:2), se observó una mayor proporción en Gz prensado (35.85%) en comparación con los aceites obtenidos con solvente (27-31%), lo que sugiere que el prensado favorece la conservación de ácidos grasos poliinsaturados, aunque con mayor variabilidad entre los diferentes tamaños de nuez ($p < 0.05$).

Respecto a los ácidos grasos saturados, el palmítico (C16:0) alcanzo valores más altos en Pw (11.47% y 9.77%) para prensado y solvente respectivamente, mientras que Gz y Gr no tuvieron diferencias significativas. En el aceite prensado el esteárico (C18:0) en Gr y Pw fue de 4.8 y 4.7% respectivamente siendo superior a Gz con 2.8%, indicando influencia del tamaño en este ácido graso específico. El linoléico (C18:3) presento valores bajos en todas las condiciones evaluadas (<2%), aunque con diferencias entre Gr prensado (1.98%) y Pw solvente (1.51%).

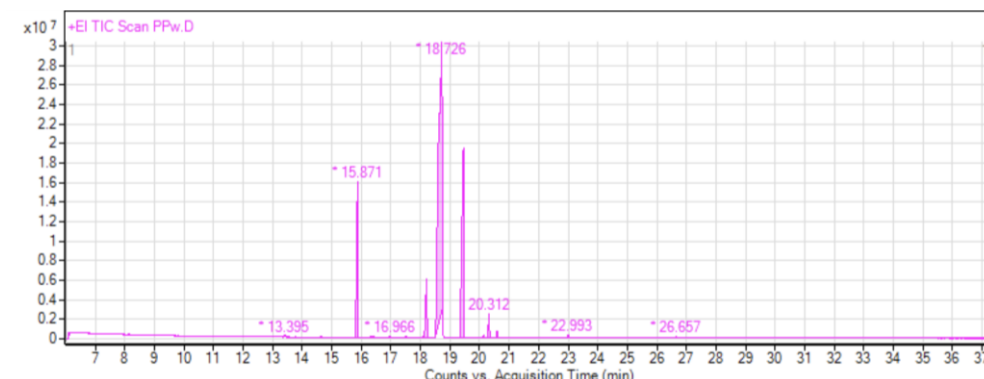


Fig. 4. Cromatograma de perfil de ácidos grasos de aceite de nuez variedad Pawnee extraído por prensado

En conjunto, los resultados evidencian que tanto el método de extracción como el tamaño de la nuez influyeron en el perfil de ácidos grasos ($p < 0.05$), siendo el prensado en frío más eficiente en la conservación de oleico y linoleico, mientras que el solvente promovió una composición más homogénea, pero con ligeras pérdidas de insaturados. Los cromatogramas representativos (Fig. 4 y 5) confirman la presencia de estos compuestos destacando los picos correspondientes a oleico y linoleico como mayoritarios en ambos métodos, aunque con mayor proporción en prensado.

Este patrón de ácidos grasos resulta de particular interés en el contexto de la inflamación crónica de bajo grado asociada al sobrepeso. En este sentido, Rajaram et al. (2001) y Casas et al. (2014) han señalado que el consumo regular de aceites ricos en ácido oleico y linoleico se asocia con la reducción de marcadores proinflamatorios. De manera complementaria, Estruch et al. (2018) documentaron que dietas enriquecidas en ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados contribuyen a mejorar el perfil lipídico sanguíneo, con disminución de triglicéridos y colesterol LDL, así como un aumento de colesterol HDL.

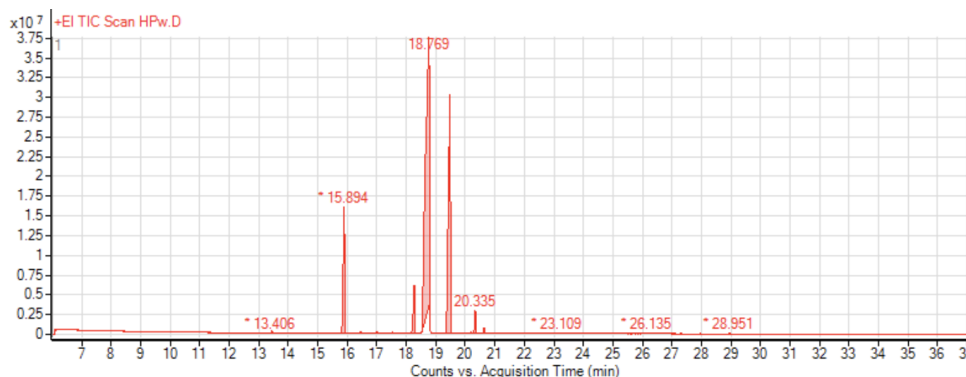


Fig. 5. Cromatograma de perfil de ácidos grasos de aceite de nuez variedad Pawnee extraído con solvente

En este contexto, los resultados del presente estudio sugieren que el aceite de nuez pecanera obtenido por prensado en frío preserva una fracción mayor de ácidos grasos insaturados, lo que refuerza su potencial como ingrediente nutracéutico en estrategias dietéticas para el manejo del sobrepeso y la prevención de sus complicaciones metabólicas.

Conclusiones

El presente estudio demostró que el método de extracción y la calidad de la nuez pecanera, de acuerdo con su tamaño, influyeron en la calidad del aceite obtenido. La extracción con solvente alcanzó mayores rendimientos y el prensado en frío resultó en calidad superior, particularmente en Gr y Pw en términos de índices de peroxidación y acidez, elevado contenido de ácidos grasos insaturados, estabilidad del color. Independientemente del método de extracción y tamaño, se obtuvo un aceite inocuo. Estos hallazgos respaldan el uso del aceite de nuez pecanera prensado en frío como un alimento funcional y/o nutracéutico con potencial aplicación en estrategias dietéticas clínicas.

Bibliografía

- AKINOLA, F. F., OGUNTIBEJU, O. O., ADISA, A. W., & OWOJUYIGBE, O. S. (2010). Physicochemical properties of palm oil from different palm oil local factories in Nigeria. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8(3–4), 264–269.
- Çakaloğlu, B., Özyurt, V. H., & Ötleş, S. (2018). Cold press in oil extraction: A review. *Ukrainian Food Journal*, 7(4), 640–654. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2018-7-4-9>
- Casas, R., Sacanella, E., & Estruch, R. (2014). The immune protective effect of the Mediterranean diet against chronic low-grade inflammatory diseases. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders - Drug Targets*, 14(4), 245–254. <https://doi.org/10.2174/1871530314666140922153350>
- Choe, E., & Min, D. B. (2006). Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(4), 169–186. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x>
- Chowdhury, K., et al. (2007). Studies on the fatty acid composition of edible oil. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 42(3), 311–316.
- Codex Alimentarius. (2019). Standard for edible fats and oils not covered by individual standards (CODEX STAN 19-1981). FAO/WHO.
- de la Rosa, L. A., Alvarez-Parrilla, E., & 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), 152–162. <https://doi.org/10.1021/jf1034306>
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoa, M., Barba, F. J., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, 8(10), 429. <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>

- Estruch, R., et al. (2018). Primary prevention of cardiovascular disease with a Mediterranean diet supplemented with extra-virgin olive oil or nuts. *New England Journal of Medicine*, 378(25), e34. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1800389>
- Firestone, D. (Ed.). (2009). *Official methods and recommended practices of the AOCS* (6th ed.). AOCS Press.
- Grajzer, M., Szmalcel, K., Kuźmiński, Ł., Witkowski, M., Kulma, A., & Prescha, A. (2020). Characteristics and antioxidant potential of cold-pressed oils—Possible strategies to improve oil stability. *Foods*, 9(11), 1630. <https://doi.org/10.3390/foods9111630>
- Gunstone, F. D. (2011). *Vegetable oils in food technology: Composition, properties and uses* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Hudthagosol, C., Haddad, E. H., McCarthy, K., Wang, P., Oda, K., & Sabaté, J. (2011). Pecans acutely increase plasma postprandial antioxidant capacity and catechins and decrease LDL oxidation in humans. *Journal of Nutrition*, 141(1), 56–62. <https://doi.org/10.3945/jn.110.121269>
- Jarret, R. L., Levy, I. J., Potter, T. L., & Cermak, S. C. (2013). Seed oil and fatty acid composition in *Capsicum* spp. *Journal of Food Composition and Analysis*, 30, 102–108. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.02.005>
- Kiokias, S., Proestos, C., & Oreopoulou, V. (2018). Effect of natural food antioxidants against LDL and DNA oxidative changes. *Antioxidants*, 7(10), 133. <https://doi.org/10.3390/antiox7100133>
- Kris-Etherton, P. M. (1999). Monounsaturated fatty acids and risk of cardiovascular disease. *Circulation*, 100(11), 1253–1258. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.100.11.1253>
- Kyari, M. Z. (2008). Extraction and characterization of seed oil. *International Agrophysics*, 22(1), 139–142.
- Lavenburg, V. M., Rosentrater, K. A., & Jung, S. (2021). Extraction methods of oils and phytochemicals from seeds and their environmental and economic impacts. *Processes*, 9(10), 1839. <https://doi.org/10.3390/pr9101839>
- McKay, D. L., Eliasziw, M., Chen, C. Y. O., & Blumberg, J. B. (2018). A pecan-rich diet improves cardiometabolic risk factors in overweight and obese adults: A randomized controlled trial. *Nutrients*, 10(3), 339. <https://doi.org/10.3390/nu10030339>
- Mínguez-Mosquera, M. I., Rejano-Navarro, L., Gandul-Rojas, B., Sánchez-Gómez, A. H., & Garrido-Fernández, J. (1991). Color–pigment correlation in virgin olive oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 68(5), 332–336.
- Moyano, M. J., Meléndez-Martínez, A. J., Alba, J., & Heredia, F. J. (2008). A comprehensive study on the colour of virgin olive oils and its relationship with their chlorophylls and carotenoids indexes

- (II): CIELUV and CIELAB uniform colour spaces. *Food Research International*, 41(5), 513–521. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.03.006>
- Nehdi, I. A., Omri, S., Khalil, M. I., & Al-Resayes, S. I. (2010). Characteristics and chemical composition of date palm (*Phoenix canariensis*) seeds and seed oil. *Industrial Crops and Products*, 32(3), 360–365. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.05.016>
- Polmann, G., Badia, V., Frena, M., Teixeira, G. L., Rigo, E., Block, J. M., & Feltes, M. M. C. (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, 108283. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108283>
- Psomiadou, E., & Tsimidou, M. (2001). Pigments in Greek virgin olive oils: Occurrence and levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(7), 640–647. <https://doi.org/10.1002/jsfa.859>
- Rajaram, S., Burke, K., Connell, B., Myint, T., & Sabaté, J. (2001). A monounsaturated fatty acid–rich pecan-enriched diet favorably alters the serum lipid profile of healthy men and women. *Journal of Nutrition*, 131(9), 2275–2279. <https://doi.org/10.1093/jn/131.9.2275>
- Ros, E. (2010). Health benefits of nut consumption. *Nutrients*, 2(7), 652–682. <https://doi.org/10.3390/nu2070652>
- Schmidt, Š., & Pokorný, J. (2005). Potential application of oilseeds as sources of antioxidants for food lipids – A review. *Czech Journal of Food Sciences*, 23(3), 93–102.
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2010). Lipid oxidation and improving the oxidative stability. *Chemical Society Reviews*, 39(11), 4067–4079. <https://doi.org/10.1039/b922183m>
- Strati, I. F., et al. (2024). Quality assessment of edible plant-based oils using chromatic characteristics (L^* , a^* , b^*). *Applied Sciences*, 14(22), 10305. <https://doi.org/10.3390/app142210305>
- Suri, K., et al. (2023). Physicochemical characteristics and oxidative stability of edible oils: Influence of pigments and bioactive compounds. *Food Chemistry Advances*, 2, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100187>