



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

**“Determinación de la actividad antioxidante y caracterización física y química
del aceite de tocte (*Juglans neotropica*)”**

Trabajo previo a la obtención del grado académico de:

INGENIERA EN ALIMENTOS

Autor:

ANDREA MAGDALENA MINCHALA URGILES

Director:

ANDRÉS PÉREZ GONZÁLEZ

CUENCA - ECUADOR

2026

Dedicatoria

A Dios, a mi mamá, a mi familia y a todas las personas que me acompañaron durante este proceso y me brindaron su apoyo.

Agradecimientos

A mi mamá, porque gracias a ella soy la persona que soy hoy en día, por motivarme a estudiar esta carrera, por apoyarme en cada uno de mis proyectos y por toda su sabiduría y experiencia.

A mi tía por ser mi confidente, por escuchar todos mis problemas, por toda su ayuda y palabras de aliento en todos los momentos difíciles y por ser la que más se preocupó por mí durante esta etapa.

A mi abuelo, por siempre estar orgulloso de mí, por permanecer a mi lado apoyándome y a mi abuela, quien estaría muy feliz y orgullosa de mí. A los dos les agradeceré durante el resto de mi vida.

A Jean Pierre, a quien le tengo el más profundo cariño y le agradezco infinitamente por toda su comprensión y ternura, por acompañarme durante mis derrotas y por celebrar todas mis victorias.

A Samantha y Joaquina, por ser mis mejores amigas, porque sin ellas todo este camino hubiera sido muy complicado. Me brindaron la amistad más sincera y desinteresada, me apoyaron en cada momento y nunca me dejaron caer. Por todo esto y más, siempre las llevaré en mi corazón.

Al Ing. Andres, porque a pesar de todos los problemas, siempre me dió una mano, me dió alivio en muchos momentos complicados y sus palabras y forma de ser me brindaron muchos momentos de tranquilidad.

A Laura, porque además de ayudarme todos estos años en todo lo que necesitaba en el laboratorio, fue una amiga para mí, me brindó mucha comprensión y apoyo cuando más lo necesitaba.

Resumen

La población del árbol de tocte (*Juglans neotropica*) ha experimentado una disminución crítica en las últimas décadas, provocando la pérdida de su uso y consumo de su fruto. Por este motivo se ha evidenciado la necesidad de estudiar el fruto del tocte para promover su revalorización como materia prima o producto de consumo directo. Por lo tanto, se estableció como objetivo de este trabajo obtener aceite de tocte, determinar su actividad antioxidante y su caracterización física y química. Estos parámetros se compararon con el aceite de nuez (*Juglans regia*) dada su similaridad. La extracción de los aceites se realizó mediante prensado mecánico hidráulico. Se pudo determinar que entre los dos aceites comparados existieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en el índice de refracción, densidad, viscosidad, índice de saponificación y peróxidos y en la escala de color CIELAB. A pesar de que el aceite de nuez presentó un mayor contenido de compuestos fenólicos totales, la actividad antioxidante del aceite de tocte no mostró diferencias significativas, demostrando un potencial competitivo. El análisis por espectroscopia UV-Visible permitió identificar cualitativamente compuestos bioactivos como juglona, tocoferoles y retinol; debido a la presencia de picos de absorción característicos de estos compuestos en el espectro obtenido. Estos resultados permiten asegurar que el tocte posee un alto valor funcional que puede ser aprovechado por la industria alimentaria, lo que representa una alternativa que promueve su uso y justifica el rescate de esta especie para su conservación y su aprovechamiento sostenible.

Palabras clave

Juglans neotropica, *Juglans regia*, actividad antioxidante, contenido fenólico, caracterización física y química

Abstract

The population of the tocte tree (*Juglans neotropica*) has experienced a critical decline in recent decades, leading to a loss of its traditional use and fruit consumption. Consequently, there is an evident need to study the tocte fruit to promote its revalorization as a raw material or a direct consumption product. Therefore, this study aimed to obtain tocte oil and determine its antioxidant activity along with its physical and chemical characterization. These parameters were compared with commercial walnut oil (*Juglans regia*) due to their taxonomic and functional similarities. Oil extraction was carried out using mechanical hydraulic pressing. The results demonstrated statistically significant differences ($p < 0,05$) between the two oils in terms of refractive index, density, viscosity, saponification and peroxide values, and the CIELAB color scale. Although walnut oil exhibited a higher total phenolic content, the antioxidant activity of tocte oil showed no significant differences, demonstrating competitive functional potential. UV-Visible spectroscopy analysis allowed the qualitative identification of bioactive compounds such as juglone, tocopherols, and retinol, based on the presence of characteristic absorption peaks in the obtained spectra. These findings confirm that tocte possesses a high functional value suitable for the food industry, representing a viable alternative that promotes its use and justifies the rescue of this species for conservation and sustainable exploitation in the inter-andean region.

Keywords

Juglans neotropica, *Juglans regia*, antioxidant activity, phenolic content, physical and chemical characterization.

Índice de contenidos

| | |
|---|-----|
| Dedicatoria | i |
| Agradecimientos | ii |
| Resumen | iii |
| Abstract | iv |
| Introducción | 1 |
| Capítulo 1 | 2 |
| Marco teórico | 2 |
| 1.1. Generalidades del tocte (<i>Juglans neotropica</i>) | 2 |
| 1.2. Importancia de la nuez (<i>Juglans regia</i>) | 5 |
| 1.3. Aceites de frutos secos | 8 |
| Capítulo 2 | 11 |
| Materiales y métodos | 11 |
| 2.1. Obtención de muestra | 11 |
| 2.2. Extracción del aceite | 12 |
| 2.3. Análisis físicos | 13 |
| 2.3.1. Densidad | 13 |
| 2.3.2. Viscosidad | 13 |
| 2.3.3. Índice de refracción | 13 |
| 2.3.4. Color | 14 |
| 2.4. Análisis químicos | 14 |
| 2.4.1. Índice de yodo | 14 |
| 2.4.2. Índice de peróxidos | 15 |
| 2.4.3. Índice de saponificación | 15 |
| 2.4.4. Espectro UV-Visible | 15 |
| 2.5. Análisis de actividad antioxidante | 16 |
| 2.5.1. Determinación del contenido fenólico total por método de Folin-Ciocalteu | 16 |
| 2.5.2. Determinación de la actividad antioxidante método DPPH | 16 |
| Capítulo 3 | 18 |
| Resultados y discusiones | 18 |
| Conclusiones y recomendaciones | 26 |
| Referencias | 27 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Perfil lipídico del tocte | 4 |
| Tabla 2. Perfil lipídico de la nuez | 6 |
| Tabla 3. Parámetros físicos y químicos de aceites | 19 |
| Tabla 4. Contenido fenólico total de aceites | 24 |
| Tabla 5. Actividad antioxidante de aceites | 25 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Tocte | 3 |
| Figura 2. Nuez | 5 |
| Figura 3. Importancia de los frutos secos | 8 |
| Figura 4. Nuez (<i>Juglans regia</i>) | 11 |
| Figura 5. Tocte (<i>Juglans neotropica</i>) | 12 |
| Figura 6. Prensa hidráulica | 12 |
| Figura 7. Aceite de nuez (<i>Juglans regia</i>) | 18 |
| Figura 8. Aceite de tocte (<i>Juglans neotropica</i>) | 18 |
| Figura 9. Espectro UV-Visible (200 - 340 nm) de aceites | 22 |
| Figura 10. Espectro UV-Visible (250 - 340 nm) de aceites | 23 |

Introducción

En las últimas décadas, la población de tocte (*Juglans neotropica*) en la región andina ha experimentado una disminución crítica, reduciendo la disponibilidad del fruto y su consumo tradicional. A pesar de su arraigo histórico en la dieta local, algunas de las nuevas generaciones muestran un desconocimiento de su existencia, cuya comercialización se ve limitada por la complejidad técnica en el procesamiento de su nuez en comparación con estándares globales como la nuez de castilla (*Juglans regia*). Esta subvaloración del tocte, demuestra la urgencia de generar evidencia científica que respalde el potencial nutricional y tecnológico de este recurso autóctono.

A pesar de la importancia cultural de su fruto, el aceite de tocte carece de una caracterización completa en la literatura científica. La limitada información sobre su información nutricional impide su valoración frente a otros aceites de frutos secos y restringe su aplicación en la industria alimentaria. Asimismo, la ausencia de estudios sobre su estabilidad oxidativa y actividad antioxidante dificulta el establecimiento de parámetros técnicos para su almacenamiento y vida útil.

Ante este escenario, la presente investigación surge con el propósito de caracterizar el aceite de tocte y evaluar su actividad antioxidante. El estudio de sus compuestos bioactivos no solo permitirá generar datos técnicos sobre un producto endémico, sino que también contribuirá a la conservación de la biodiversidad andina mediante el fomento de su consumo responsable y aprovechamiento sostenible. Al establecer comparativas directas con el aceite de *Juglans regia*, se busca evidenciar las ventajas competitivas de esta especie nativa.

Por lo tanto, el objetivo central de este trabajo es obtener el aceite de tocte (*Juglans neotropica*) mediante prensado mecánico para evaluar sus características físicas, químicas y su actividad antioxidante, comparándolas con el aceite de nuez (*Juglans regia*). De esta manera, se pretende incentivar el reconocimiento del tocte como un fruto andino de alto valor funcional, promoviendo su reintegración en los sistemas alimentarios.

Capítulo 1

Marco teórico

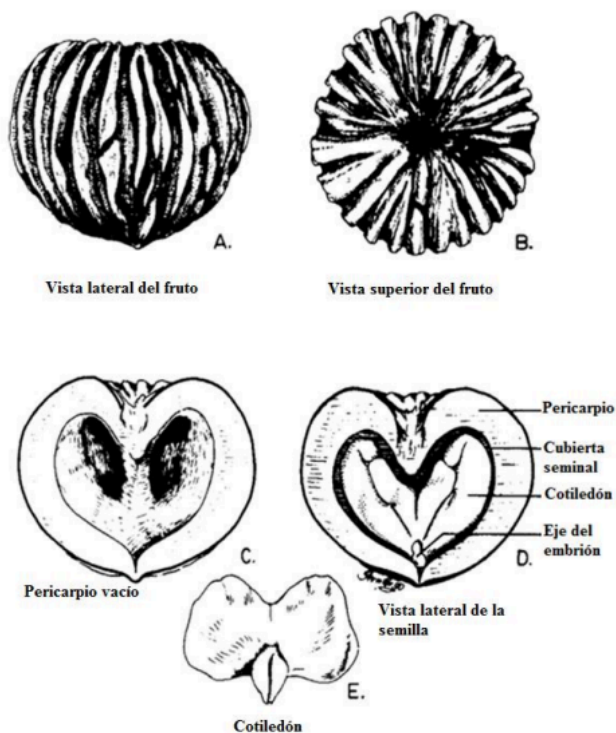
1.1. Generalidades del tocte (*Juglans neotropica*)

El género *Juglans* surgió hace aproximadamente 56 millones de años en el continente asiático y a partir de este, se han diversificado diversas especies que actualmente se distribuyen en distintas regiones del mundo (Toro Vanegas y Roldán Rojas, 2018). Al continente americano fueron traídas a través del estrecho de Bering hace 23 millones de años (Aradhya et al., 2004). Se generaron especies nativas de la vegetación propia de cada país, que conservaban rasgos similares entre sí, pero con variaciones taxonómicas en sus flores y su madera. Entre estas especies están *J. boliviana* de Bolivia, *J. australis* de Argentina y *J. neotropica* de Colombia, Perú y Ecuador (Toro Vanegas y Roldán Rojas, 2018).

J. neotropica se distribuye naturalmente en el norte de la cordillera de los Andes, desde Venezuela hasta Bolivia, entre los 800 y 3000 m de altitud. Crece en diversos ambientes, como bosques secundarios, relictos de bosque andino, bordes de bosques, ambientes moderadamente perturbados o inclusive potreros (Penagos et al., 2003). En la actualidad, se la ha clasificado como una especie en peligro en la zona andina de América del Sur. Alrededor del 52% de su población ha sufrido de sobreexplotación maderera y su hábitat ha disminuido por la ampliación urbanística y agrícola. La mayoría de países no tienen políticas ambientales que promuevan su conservación y regeneración, a excepción de Colombia, en el cual la tala de esta especie se encuentra vedada (Cárdenas y Salinas, 2007).

Los frutos del nogal son conocidos como toctes y son drupas de forma elipsoidal a casi circulares, con epicarpio grueso y áspero, con poco mesocarpio y con presencia de lenticelas color café y color verde oliva cuando están inmaduros y de color café oscuro a casi negro cuando están maduros. La semilla es un tipo de nuez de color café oscuro y con una fragancia suave y agradable (Toro Vanegas y Roldán Rojas, 2018). En la figura 1 se presentan las partes constituyentes del tocte.

Figura 1. Tocte



Fuente: (Becerra, 1992)

En algunas culturas, es considerado como un símbolo de fecundidad y abundancia y se usa en rituales espirituales contra espíritus malignos (Albán Gordillo, 2015). En Ecuador se usa para hacer confites y postres como las nogadas, que son un dulce típico elaborado con panela y leche. También se puede usar como sustituto de las nueces en tortas de chocolate, banano y zanahoria, trufas con licor y granola casera (Toro Vanegas y Roldán Rojas, 2018).

Para garantizar su adecuada conservación, se recomienda adquirirlos enteros, sin descascarillar y abrirlos al momento de su consumo. Para evitar la oxidación de sus grasas, se deben almacenar en recipientes herméticos, en ausencia de luz y fuentes de calor. No se recomienda consumirlos en estado estado inmaduro por la presencia de compuestos cianogénicos, ni cuando se encuentran deteriorados porque pueden contener aflatoxinas (Erazo, 2012).

El tocte es un fruto seco altamente nutritivo, que contiene vitaminas A y C y minerales como potasio y zinc (León Morejón, 2016). Es una fuente de proteínas con aminoácidos esenciales, especialmente de serina e histidina y en menor cantidad, de ácido aspártico y ácido glutámico. Tiene una composición proteica similar a la nuez (*J. regia*), con la diferencia de que el tocte tiene valores superiores de serina e histidina (Vilcacundo et al., 2020).

La mayor parte de sus composición es grasa, con ácidos grasos como: ácido linoléico, ácido oleico, ácido palmítico, ácido Y-linolénico, ácido elaídico y ácido cis 10-heptadecanoico (Chusquillo Calapiña, 2014). Su perfil lipídico es similar al de *J. regia*, con ligeras diferencias. El tocte es alto en ácidos monoinsaturados y poliinsaturados, dentro de los cuales se destaca el alto contenido de ácido oleico y ácido linoleico. El ácido linoleico es conocido por sus propiedades antiinflamatorias, antioxidantes e hipolipemiantes (Vilcacundo et al., 2018). En la tabla 1 se presenta el perfil lipídico del aceite de tocte.

Tabla 1. Perfil lipídico del tocte

| ÁCIDOS GRASOS | % |
|--|----------|
| Ácido palmítico (C16:0) | 5,05 |
| Ácido cis 10-Heptadecanoico (17:1) | 0,1 |
| Ácido elaídico (C18:1 n9 trans) | 1,51 |
| Ácido oléico (C18:1 n9 cis ω9) | 19,17 |
| Ácido linoléico (C18:2 n6 cis ω6) | 69,93 |
| Ácido γ-linoléico (C18:3 n ω6) | 4,24 |
| Total de ácidos grasos saturados | 5,05 |
| Total de ácidos grasos insaturados | 93,44 |
| Total de ácidos grasos monoinsaturados | 19,27 |
| Total de ácidos grasos poliinsaturados | 74,17 |
| Total de ácidos grasos TRANS | 1,51 |
| Total de ácidos grasos omega 3 y 6 | 74,17 |
| Total de ácidos grasos | 100 |

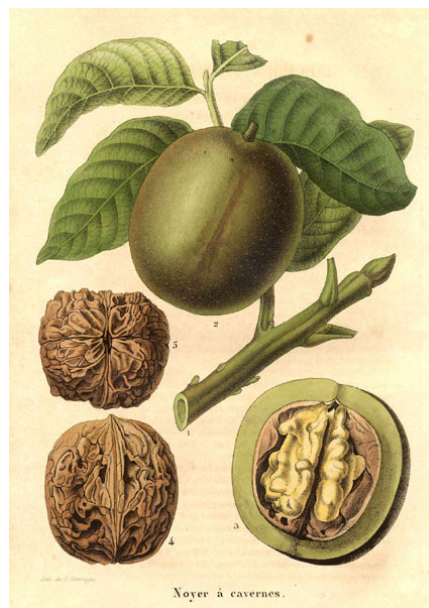
Fuente: (Chusquillo Calapiña, 2014)

1.2. Importancia de la nuez (*Juglans regia*)

La nuez (*Juglans regia*) es uno de los alimentos arbóreos más antiguos conocidos por la humanidad. Pese a que su origen no se ha determinado con exactitud, se teoriza que se originó en la antigua Persia, que actualmente incluye países como Irán, Afganistán y los países de Asia Central (Hassani et al., 2020). Pertenece a la familia *Juglandaceae* y es un árbol aromático que crece en abundancia en el Himalaya noroccidental de Cachemira, en donde se produce alrededor del 88% de su producción mundial (Acarsoy Bilgin, 2022).

En la medicina tradicional, todas las partes del nogal son utilizadas. Sus raíces se usan para tratar la diabetes, sus hojas para tratar dolores reumáticos, fiebre y enfermedades de la piel; sus flores para tratar la malaria y el dolor reumático y sus frutos son altamente nutritivos (Delaviz et al., 2017). Estos se encuentran cubiertos por una cáscara verde y correosa, que al madurar se ablanda y se vuelve negra. En su interior posee una cáscara marrón arrugada que, a su vez, contiene a una nuez. Las nueces se venden y consumen con cáscara y sin cáscara (Hussain et al., 2021). En la figura 2 se presentan las partes constituyentes de la nuez.

Figura 2. Nuez



Fuente: (Bautista, 2012)

En los últimos años, la nuez se ha convertido en el foco de interés como alimento saludable, al ser catalogado como un "superalimento" por sus múltiples beneficios (Szalóki-Dorkó et al., 2024). Especialmente por contener un perfil lipídico equilibrado y una concentración significativa de compuestos bioactivos antioxidantes y antiinflamatorios (Rusu et al., 2018). Se destaca por su alta concentración de ácidos grasos poliinsaturados, sobre todo de ácido linoleico y ácido linolénico. El ácido α -linolénico es un precursor esencial de los ácidos grasos omega-3 y posee propiedades antiinflamatorias y antiaterogénicas (Rusu et al., 2019). En la tabla 2 se presenta el perfil lipídico de la nuez.

Tabla 2. Perfil lipídico de la nuez

| ÁCIDOS GRASOS | % |
|---|----------|
| Ácidos grasos insaturados | |
| Ácido palmitoleico (C16:1) | 0,77 |
| Ácido oléico (C18:1) | 25,26 |
| Ácido gadoleico (C20:1) | 0,05 |
| <i>Total de ácidos grasos monoinsaturados</i> | 22,37 |
| Ácido linoleico (C18:2) | 57,1 |
| Ácido linolénico (C18:3) | 10,34 |
| <i>Total de ácidos grasos poliinsaturados</i> | 4,29 |
| Ácidos grasos saturados | |
| Ácido mirístico (C14:0) | 0,24 |
| Ácido palmítico (C16:0) | 4,28 |
| Ácido esteárico (C18:0) | 1,85 |
| Ácido araquídico (C20:0) | 0,19 |
| <i>Total de ácidos grasos saturados</i> | 7,21 |

Fuente: (Sharma et al., 2022)

Es una fuente importante de fibra, minerales como potasio, calcio y magnesio; vitaminas como folato y vitamina E, fitoesteroles como campesterol, estigmasterol y β -sitosterol y polifenoles como ácido elágico, ácido gálico y taninos hidrolizables (Mateş et al., 2024). Sus polifenoles

dietéticos ofrecen diversos beneficios para la salud al influir en numerosos procesos fisiológicos y contrarrestar el estrés oxidativo y la inflamación (Rudrapal et al., 2024).

Entre los principales polifenoles identificados en la nuez, se encuentran el pirogalol, ácido p-hidroxibenzoico, ácido cafeico, ácido elágico, catequina, epicatequina, quercetina y miricetina. Estos compuestos están distribuidos principalmente en la piel que recubre el núcleo de la nuez, aunque también se encuentran en el endospermo (Zhang et al., 2009). También posee elagitaninos que pueden convertirse en ácido elágico y posteriormente ser metabolizados en urolitinas por la microbiota intestinal (Mateş et al., 2024). Otro polifenol destacado y propio de la nuez, es la juglona, que se encuentra mayoritariamente en sus hojas y su cáscara verde y tiene propiedades antimicrobianas, anticancerígenas y antitumorales (Delaviz et al., 2017). Debido a su contenido total de polifenoles, la nuez tiene una alta actividad antioxidante (Figueroa et al., 2016).

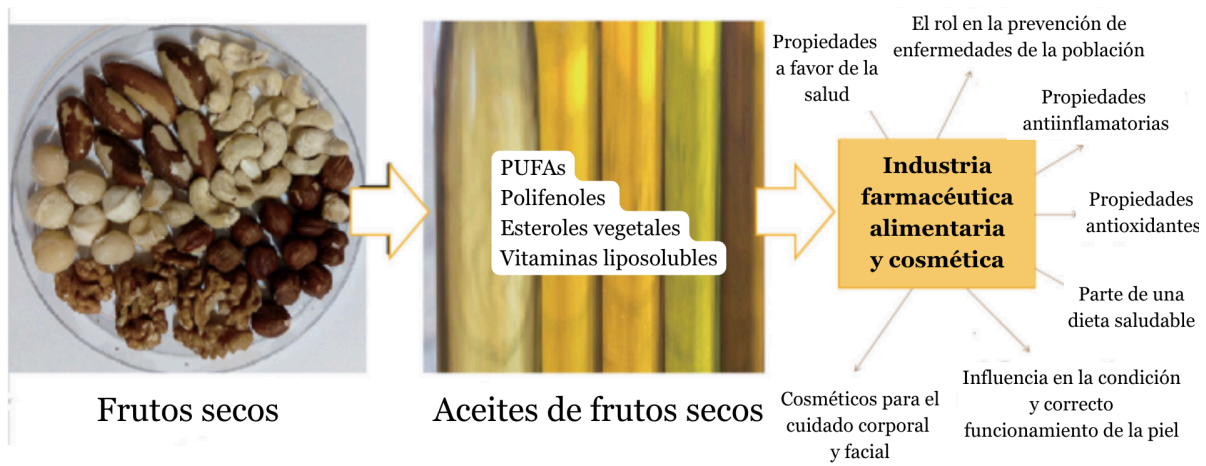
Por sus compuestos químicos, se ha comenzado a industrializar su extracción y su posible explotación como fuente de antioxidantes naturales. Sus compuestos fenólicos, contribuyen a un efecto antioxidante excepcional, observándose el mayor efecto en su película. Tiene la capacidad de quelar iones ferrosos y neutralizar los radicales hidroxilo, lo cual es un factor clave de su actividad antioxidante (Sharma et al., 2022).

Es una fuente significativa de proteína vegetal, con un perfil de aminoácidos esenciales equilibrado, con excepción de la metionina, que representa una baja concentración. Sus proteínas se destacan por sus propiedades funcionales, como la solubilidad y capacidad emulsificante, lo que las vuelve atractivas para aplicaciones industriales (Mao et al., 2014). La nuez es rica en fibra dietética y su contenido de azúcares simples es bajo. Además, los carbohidratos presentes en la nuez forman parte de su perfil de nutrientes bioactivos que contribuyen a sus beneficios para la salud cardiovascular y metabólica (Sharma et al., 2022).

1.3. Aceites de frutos secos

En los últimos años, el consumo de aceites de frutos secos se ha comenzado a popularizar por ser alimentos con múltiples beneficios. Tienen un perfil de ácidos grasos favorables, ricos en nutrientes y otros compuestos bioactivos como la fibra, los fitoesteroles, el ácido fólico y los antioxidantes (Estruch et al., 2006). Otorgan efectos antiinflamatorios, prebióticos, antimicrobianos, quimiopreventivos e hipocolesterolémicos (Chang et al., 2016). También, mejoran la salud mental, reducen el estrés y el riesgo de depresión, y ayudan a preservar las funciones cognitivas (Nemeth et al., 2014). En la figura 3 se pueden observar algunos de sus principales beneficios.

Figura 3. Importancia de los frutos secos



Fuente: (Monika y Anna, 2019)

El aceite de nuez (*J. regia*) tiene un sabor suave y es de un color amarillento. Es alto en polifenoles y posee actividades antioxidantes y de eliminación de radicales libres (Fu et al., 2016). Tiene diversos usos en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. Se lo usa como complemento de alimentos preparados a bajas temperaturas, como ensaladas o postres fríos (Gharibzahedi et al., 2014). Ayuda a mejorar la hidratación de la piel y se lo usa en productos dedicados a tratar con la piel seca, dermatitis atópica y psoriasis (Kowalska et al., 2017).

El aceite de macadamia (*Macadamia integrifolia*) es apreciado por su delicado sabor y sus beneficios para la salud. Tiene un bajo contenido en ácidos grasos poliinsaturados y un alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados. También, contiene tocoferoles, fitoesteroles y escualeno (Kaijser et al., 2000). En la industria alimentaria, se puede utilizar para elaborar productos sin gluten y en la producción de suplementos proteicos en polvo. Tiene una rápida penetración en la piel y un efecto suavizante, por lo que se usa como componentes de productos cosméticos destinados a blanquear las manchas oscuras, regenerar la piel después de una exposición excesiva a la radiación UV y reducir las arrugas (Navarro y Rodrigues, 2016).

El aceite de avellana (*Corylus avellana L.*) tiene fuertes propiedades antioxidantes, por su alto contenido de polifenoles y tocoferoles (Kornsteiner et al., 2006) . También, tiene un alto contenido en ácidos grasos monoinsaturados, que le otorga un buen estado oxidativo (López-Uriarte et al., 2009). Su uso se enfoca en la industria cosmética. Se usa principalmente en productos para la limpieza y cuidado facial y corporal, aceites de baño, champús, productos de cuidado personal, productos de afeitado y productos bronceadores. Se utiliza como agente hidratante, oclusivo y regenerador para el acondicionamiento de la piel (Madhavan, 2001).

La oxidación lipídica de los aceites, es primordial para garantizar su calidad. Provoca su deterioro y contribuye a la aparición de sabores extraños y olores desagradables debido a su enranciamiento (Choe y Min, 2006). Destruye los ácidos grasos esenciales y favorece la formación de compuestos tóxicos y con características organolépticas desagradables (Tarmizi y Lin, 2008). La velocidad de oxidación depende de factores como la disponibilidad de oxígeno, la presencia de luz y la temperatura. Los aceites de frutos secos tienen una buena actividad antioxidante y estabilidad química, especialmente los aceites de nueces (Loganathan et al., 2022).

Para la obtención de aceites a nivel industrial, se usan tecnologías de extracción mecánica, las cuales resultan menos costosas, más simples y generan aceites libres de residuos de solventes (Martínez y Maestri, 2014). También, se puede extraer con ayuda de solventes, pese a que su rendimiento de extracción es mayor, su implementación resulta muy costosa. En ambos casos, el rendimiento de su extracción se ve determinada por la temperatura de extracción, el tamaño de

partícula, el contenido lipídico y el porcentaje de humedad de la materia prima (Luna-Guevara y Guerrero-Beltrán, 2012).

Pese a que estos métodos son los más usados, no aseguran la correcta extracción de sus compuestos bioactivos. Por ello, se han desarrollado nuevas técnicas de extracción que no resultan tan invasivas, como la extracción con fluidos supercríticos, extracción asistida por ultrasonido y extracción asistida por surfactantes. Con cualquiera de estos métodos, se debe considerar la naturaleza del alimento y sus condiciones de procesamiento. El problema radica en que al ser tecnologías emergentes, su implementación resulta costosa a nivel industrial y en la mayoría de los casos solo se aplica a nivel de laboratorio (Rodríguez-Blázquez et al., 2025).

Capítulo 2

Materiales y métodos

2.1. Obtención de muestra

Los frutos de tocte (*Juglans neotropica*) fueron recolectados durante el mes de octubre en la zona rural de la ciudad de Azogues. La recolección se llevó a cabo seleccionando frutos cuyo pericarpio se encontraba en estado de madurez y con indicios de desprendimiento natural. Tras la cosecha, los frutos se mantuvieron cubiertos durante dos semanas con el objetivo de facilitar la remoción del pericarpio. Posteriormente, se realizó un lavado exhaustivo para eliminar restos de pulpa, seguido de una etapa de secado a temperatura ambiente en ausencia de luz.

Por otra parte, se adquirieron muestras comerciales de nuez (*Juglans regia*) con cáscara en un establecimiento local de frutos secos de la misma ciudad. La razón para adquirir la nuez con su endocarpio, fue estandarizar el proceso de obtención de la semilla, permitiendo que tanto los toctes como las nueces fueran abiertos al mismo tiempo.

El procesamiento de las muestras se inició tres meses después de la recolección, realizando la apertura mecánica de los frutos en un ambiente protegido de la luz solar directa para reducir la oxidación. Para los toctes se utilizó un martillo, mientras que para las nueces un alicate de presión. Con el propósito de minimizar la oxidación lipídica durante esta fase, las semillas extraídas se trasladaron a refrigeración en intervalos de 30 minutos. Una vez recolectada la cantidad de muestra necesaria para los ensayos, se almacenó en recipientes oscuros en refrigeración. En la figura 4 se presenta una muestra de nuez y en la figura 5 una muestra de tocte.

Figura 4. Nuez (*Juglans regia*)



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Tocte (*Juglans neotropica*)



Fuente: Elaboración propia

2.2. Extracción del aceite

Para la obtención del aceite, las semillas de tocte y nuez fueron sometidas a un pretratamiento térmico con ayuda de un sartén, para optimizar la separación del componente lipídico. El proceso de extracción se realizó mediante prensado mecánico utilizando una prensa hidráulica con una capacidad de carga de 30 toneladas. El aceite resultante fue recolectado y almacenado en recipientes de vidrio ámbar bajo condiciones de refrigeración. En la figura 6 se presenta la extracción de aceite utilizando una prensa hidráulica.

Figura 6. Prensa hidráulica



Fuente: Elaboración propia

2.3. Análisis físicos

2.3.1. Densidad

La densidad se determinó por el método gravimétrico utilizando un picnómetro metálico de 100 mililitros, previamente calibrado. Se vertió el aceite dentro del recipiente hasta completar su volumen total, evitando la formación de burbujas de aire. Se registró el peso y se calculó la densidad siguiendo la fórmula:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

En donde M corresponde a la masa de la muestra en gramos y V al volumen del picnómetro en mililitros (AOAC 985.19, 2023).

2.3.2. Viscosidad

La viscosidad dinámica de los aceites se determinó con un viscosímetro de flujo tipo Copa Ford #4 a 25 °C . Previamente, se niveló el equipo y se aseguró que el orificio de salida estuviera libre de obstrucciones. Se cubrió el orificio de la copa con el dedo y se vertió el aceite hasta llenar la copa por completo, eliminando el exceso de muestra. Se liberó el flujo de aceite al mismo tiempo en el que se activó un cronómetro. Cuando el hilo continuo de la muestra se quebró, se detuvo el cronómetro y se tomó el tiempo. Se calculó la viscosidad dinámica siguiendo la fórmula:

$$\mu = [3.85 (t - 4.49)] \rho$$

En donde t corresponde al tiempo segundos y ρ a la densidad del aceite (ASTM International, 2012).

2.3.3. Índice de refracción

El índice de refracción se determinó con un refractómetro Abbé. Se colocaron algunas gotas de aceite en el prisma doble y se cerró, asegurándolo con el tornillo. Se dejó reposar unos pocos minutos al instrumento y se realizó la lectura, ajustando hasta que la porción de luz oscura y clara

sea igual. La línea fronteriza es la que divide estas dos porciones y debe estar exactamente en el centro (AOAC 921.08, 2023).

2.3.4. Color

Para la medición del color del aceite se utilizó un colorímetro espectral Lovibond LC 100 SV 100 para obtener los parámetros de color CIELAB. Previamente, se realizó una calibración del equipo con el blanco control. Se colocó alrededor de 3 ml de aceite en la celda de acrilamida y se realizó la lectura con el adaptador para cubetas, cubriendo la superficie con la tapa para evitar interacción con la luz ambiental (Becerra-Herrera et al., 2018).

2.4. Análisis químicos

2.4.1. Índice de peróxidos

El índice de peróxidos se calculó pesando 5 ± 0.05 g de aceite en un erlenmeyer de 250 ml. Se agregó 30 ml de una solución 3:2 de ácido acético:cloroformo y se mezcló hasta homogeneizar. Se adicionó 0.5ml de KI saturado, mezclando ocasionalmente durante 1 minuto y se agregó 30 ml de agua destilada. Lentamente, se tituló con tiosulfato de sodio 0.01 M mezclando vigorosamente hasta que el amarillo se haya ido. Después, se agregó 0.5 ml de una solución de almidón al 1% y se continuó titulando y mezclando vigorosamente hasta que el azul haya desaparecido. Se realizó dos blancos y se calculó el índice de peróxidos con la fórmula:

$$\text{meq peróxido/kg de grasa} = \frac{(M - B) * \text{Molaridad tiosulfato} * 1000}{g \text{ aceite}}$$

En donde B corresponde al volumen en mililitros de titulación del blanco y M al volumen en mililitros de titulación de la muestra (AOAC 965.33, 2023).

2.4.2. Índice de saponificación

Para determinar el índice de saponificación, se pesó 5 g de aceite filtrado en un erlenmeyer de 250 ml y con una pipeta, se agregó 50 ml de una solución alcohólica de KOH. Se conectó el matraz a un tubo refrigerante y se dejó hervir alrededor de 30 minutos, hasta que la grasa esté completamente saponificada. Se retiró del tubo y se dejó enfriar, para posteriormente titular con HCl 0.5 M usando fenolftaleína como indicador. Se realizó dos blancos y se calculó el índice de saponificación con la fórmula:

$$\text{mg KOH necesarios para saponificar 1 g de grasa} = \frac{28.05 (B-M)}{g \text{ grasa}}$$

En donde B corresponde al volumen en mililitros de titulación del blanco y M al volumen en mililitros de titulación de la muestra (AOAC 920.160, 2023).

2.4.3. Espectro UV-Visible

El perfil de absorción UV-Visible de los aceites se determinó mediante un barrido espectral en el rango de 200 a 500 nm. Para el análisis, las muestras fueron diluidas en hexano en una proporción 1:9 (v/v). Las mediciones se realizaron empleando un espectrofotómetro UV-Visible, de acuerdo con el protocolo de Đurović et al. (2024).

2.5. Análisis de actividad antioxidante

2.5.1. Determinación del contenido fenólico por método de Folin-Ciocalteu

La extracción de las muestras de aceite se realizó siguiendo la metodología propuesta por De Filette et al., (2024) con modificaciones. Se pesó 3g de aceite y se añadió 3 ml de etanol al 70%. La mezcla se homogenizó en vortex, posteriormente se centrifugó a 4500 rpm durante 10 minutos y el sobrenadante fue recolectado. Posteriormente, se volvió a colocar 3 ml de etanol al 70% a la muestra de aceite y se siguió el mismo procedimiento. Este paso se repitió una vez más. Todos los sobrenadantes recolectados se juntaron y fueron almacenados en oscuridad y refrigeración. Este extracto fue utilizado como muestra para el método de Folin-Ciocalteu.

En tubos de ensayo se colocó 3.9 ml de agua desionizada, 100 μ L de muestra o patrón, 250 μ L de reactivo Folin-Ciocalteu al 10% y 750 μ L de carbonato de sodio al 20%. Se incubó a temperatura ambiente durante 2 horas en ausencia de luz y posteriormente se midió la absorbancia a 760 nm (Demirbaş, 2020). Se realizó una curva de calibración de ácido gálico entre 0.5 ppm y 5 ppm, además de un blanco. Los resultados fueron expresados en mg de equivalentes de ácido gálico (mg GAE/100 g).

2.5.2. Determinación de la actividad antioxidante método DPPH

Se determinó la actividad antioxidante de la fracción metanólica (MF) y lipídica (LF) del aceite. Para la fracción metanólica, se colocó 500 μ L de metanol con 500 μ L de aceite en un tubo eppendorf. Se homogeneizó en vortex por una hora y se centrifugó a 3000 rpm durante 5 minutos. Se obtuvieron dos fases, una fracción lipídica y una metanólica, la fracción metanólica (MF) se extrajo y se reservó para su posterior análisis. En un tubo eppendorf se colocó 450 μ L de la fracción lipídica con 450 μ L de acetato de etilo y se homogeneizó en vortex por una hora. Se obtuvo una sola fase que corresponde a la fracción lipídica (LF) (Espín et al., 2000).

Además, se determinó la actividad antioxidante del aceite total (TF) como matriz completa. Para ello, se colocó 500 μ L de acetato de etilo con 500 μ L de aceite en un tubo eppendorf. Se homogeneizó en vortex por una hora, obteniendo una sola fase (TF). Al finalizar con todo el proceso de extracción, se obtuvo un extracto de fracción metanólica (MF), fracción lipídica (LF) y de aceite total (TF) (Espín et al., 2000).

Para determinar la actividad antioxidante de la fracción metanólica (MF), se preparó una solución de DPPH 103.5 μ M en metanol. En un tubo eppendorf se colocó 80 μ L de extracto de fracción metanólica y 920 μ L de solución DPPH 103.5 μ M. Se incubó a temperatura ambiente en ausencia de luz durante 30 minutos, se colocó en una microplaca y se leyó la absorbancia a 517 nm (Valdenegro et al., 2021). Se realizó una curva de calibración de ácido gálico entre 0.1 ppm y 1.2 ppm, además de un blanco. Los resultados fueron expresados en mg de equivalentes de ácido gálico (mg GAE/100 g).

Por otra parte, para determinar la actividad antioxidante de la fracción lipídica (LF) y del aceite total (TF), se preparó una solución de DPPH 103.5 μM en acetato de etilo. En una celda de cuarzo se colocó 10 μL de muestra y 990 μL de solución DPPH 103.5 μM . Se incubó a temperatura ambiente en ausencia de luz durante 30 minutos y se leyó la absorbancia a 517 nm (Valdenegro et al., 2021). Se realizó una curva de calibración de ácido gálico entre 0.2 ppm y 1.2 ppm, además de un blanco. Los resultados fueron expresados en mg de equivalentes de ácido gálico (mg GAE/100 g).

Capítulo 3

Resultados y discusiones

Después de la extracción, se obtuvieron los aceites a estudiar. En la figura 7 se muestra el aceite de nuez y en la figura 8 el aceite de tocte obtenido después del proceso de prensado mecánico.

Figura 7. Aceite de nuez (*Juglans regia*)



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Aceite de tocte (*Juglans neotropica*)



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3 se presentan los parámetros físicos y químicos de los aceites extraídos mediante prensado mecánico.

Tabla 3. Parámetros físicos y químicos de aceites

| | Nuez | Tocte |
|--|-------------------|--------------------|
| Índice de refracción | 1,4767 ± 0,0002 | 1,4761 ± 0,0002* |
| Densidad (g/cm ³) | 0,923 ± 0,003 | 0,930 ± 0,002* |
| Viscosidad (mPas) | 57,265 ± 0,945 | 54,092 ± 0,856** |
| Índice de peróxidos (meq peróxido/kg) | 3,9778 ± 0,4085 | 2,9946 ± 0,0997* |
| Índice de saponificación (mg KOH/g) | 191,7490 ± 0,4836 | 193,2836 ± 0,5017* |
| Color | | |
| L | 64,783 ± 0,337 | 67,433 ± 0,45*** |
| a | 7,783 ± 0,279 | 1,083 ± 0,214*** |
| b | 42,567 ± 0,344 | 26,650 ± 0,619*** |

Nota: Valores expresados como promedio (n = 3) ± desviación estándar. Los niveles de significancia se indican mediante asteriscos según la prueba t de Student: (*) p < 0,05; (**) p < 0,01; (***) p < 0,001

Fuente: Elaboración propia

El índice de refracción es un indicador de la pureza y grado de insaturación de los ácidos grasos presentes en el aceite. Aunque se obtuvieron valores numéricamente cercanos entre sí, el análisis estadístico reveló que existen diferencias significativas, siendo el índice de refracción del aceite de nuez ligeramente superior al del tocte. Al compararlo con otros autores, el valor obtenido para el aceite de tocte (*Juglans neotropica*) guarda coherencia con lo reportado por Chusquillo (2014), quien señala un índice de refracción de 1,4753. Por otra parte, los valores hallados para el aceite de nuez (*Juglans regia*) son cercanos al rango de 1,4725 a 1,4745 descrito por Đurović et al. (2024). Además, señala que estas variaciones están relacionadas con la composición química de los lípidos, específicamente con su peso molecular, longitud de las cadenas y su grado de insaturación. Los ácidos grasos insaturados presentan un índice de refracción más alto que los saturados, incrementando proporcionalmente al número de dobles enlaces presentes en la estructura molecular.

La densidad del aceite de tocte presentó diferencias estadísticamente significativas al compararse con el aceite de nuez, siendo ligeramente superior. El valor obtenido para el aceite de tocte (*Juglans neotropica*), guarda relación con lo reportado por Chusquillo (2014), quien indica una densidad de 0.9216 g/mL. Por otro lado, los resultados hallados para el aceite de nuez (*Juglans regia*) se encuentran dentro del rango de 0.9212 a 0.9218 g/mL establecido por Gharibzahedi et al. (2014).

La viscosidad de los aceites presentaron diferencias estadísticamente significativas, siendo el aceite de nuez el que mostró una mayor resistencia al flujo en comparación con el aceite de tocte. Según Gambert et al. (2024), la viscosidad de los aceites vegetales está relacionado con el método de extracción. Para el aceite de nuez (*Juglans regia*) extraído mediante prensado mecánico se reportan valores de viscosidad cercanos a los 50 mPas, mientras que extracciones de aceite realizadas por el método Soxhlet y el método de Folch presentan viscosidades inferiores, entre 33 mPas y 5mPas, respectivamente. Esta reducción en la viscosidad se debe a la extracción de una mayor cantidad de componentes menores y residuos de la matriz del fruto, lo cual altera la composición porcentual del aceite y reduce su pureza, resultando un extracto menos viscoso. Por otra parte, viscosidades elevadas suelen asociarse a una mayor concentración de ácidos grasos saturados (superiores al 16%), mientras que valores menores sugieren una mayor concentración de ácidos grasos insaturados (Uddin et al., 2021). Por lo tanto, el valor de la viscosidad del aceite de tocte (*Juglans neotropica*) podría sugerir un dato preliminar de un perfil lipídico con un mayor grado de insaturación frente al aceite de nuez (*Juglans regia*).

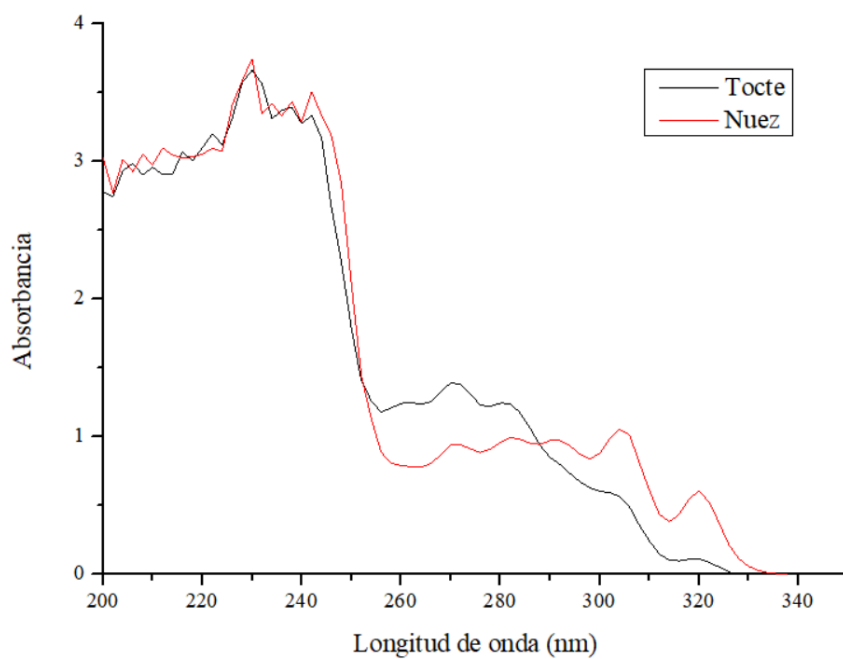
El índice de peróxidos presentó diferencias estadísticamente significativas entre los aceites, siendo el aceite de nuez el que mostró un valor superior en comparación con el aceite de tocte. Este parámetro constituye un indicador crítico de la calidad y estabilidad oxidativa de los lípidos, debido a que permite cuantificar los productos primarios de oxidación. Este valor está influenciado por factores como el estado de frescura de la materia prima, el método de extracción, el perfil de ácidos grasos y la concentración de antioxidantes naturales. No obstante, los resultados obtenidos para ambos aceites se mantuvieron por debajo del límite máximo establecido para aceites crudos vegetales (≤ 10) (Gharibzahedi et al., 2014).

El índice de saponificación presentó diferencias estadísticamente significativas entre los aceites, siendo el valor del aceite de tocte ligeramente superior al de nuez. El resultado obtenido para el aceite de tocte (*Juglans neotropica*) guarda relación con Chusquillo (2014), quien reportó un valor de 194.5 mg KOH/g. De igual forma, Wang et al. (2023) señala un valor de 193.01 mg KOH/g para el aceite de nuez (*Juglans regia*), el cual guarda relación con el resultado obtenido. El índice de saponificación es una medida del peso molecular promedio de los ácidos grasos presentes en los aceites. Técnicamente, los valores más elevados están asociados a una mayor proporción de ácidos grasos de cadena corta, debido a que estos poseen un número superior de grupos carboxílicos por unidad de masa en comparación con los ácidos grasos de cadena larga (Uddin et al., 2021). Por lo tanto, los resultados sugieren que el aceite de tocte podría contener más ácidos grasos de bajo peso molecular.

Los parámetros de color en el espacio CIELAB para ambos aceites presentaron diferencias estadísticamente significativas en todas sus coordenadas. El aceite de tocte mostró una mayor luminosidad (L) en comparación con el aceite de nuez, lo que se traduce en un tono más claro. Por otra parte, el aceite de nuez presentó una mayor intensidad en las coordenadas cromáticas, con una tendencia más marcada a los tonos rojizos (a) y un amarillo intenso (b), mientras que el aceite de tocte se mantuvo más neutro. Generalmente, los aceites del género *Juglans* obtenidos por prensado en frío presentan coloraciones amarillas con matices verdosos, debido a la presencia de pigmentos lipofílicos (Malavi et al., 2023). El aceite de nuez presenta un espectro diverso de estos compuestos, destacando carotenoides como el β -caroteno, violaxantina, neoxantina y luteína, además de clorofilas y feofitinas (Fediuc et al., 2025). La interacción y concentración de todos estos compuestos atribuyen el color característico a cada aceite.

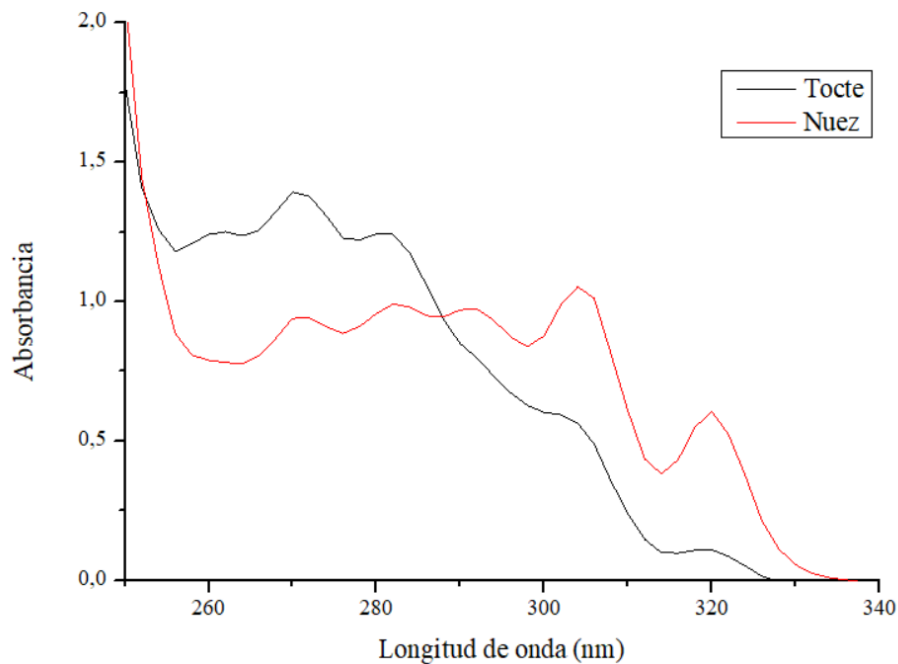
En las figuras 9 y 10 se presentan los espectros de absorción UV-Visible correspondiente a los aceites de tocte y nuez. La figura 9 muestra el barrido completo en el rango de 200 a 340 nm, donde se observa una saturación de la señal con una absorbancia máxima de 4 unidades. Por otro lado, la figura 10 presenta un acercamiento en la región de 250 a 340 nm con una escala de absorbancia máxima de 2 unidades, lo cual permite la identificación cualitativa de los picos de absorbancia correspondiente a compuestos específicos presentes en los aceites.

Figura 9. Espectro UV-Visible (200 - 340 nm) de aceites



Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Espectro UV-Visible (250 - 340 nm) de aceites



Fuente: Elaboración propia

El análisis espectral permite identificar compuestos bioactivos clave como la juglona (245 nm), flavonoides como la miricitrina, ácido cafeico y el ácido ferúlico (260 nm), moléculas con anillos aromáticos (280 nm), tocoferoles (295 nm), trans-resveratrol (304 nm) y retinol (325 nm) (Aleixandre-Tudo et al., 2017; Đurović et al., 2024; Kurkin y Zimenkina, 2022; Zhang et al., 2019).

La juglona es un compuesto fenólico característico del género *Juglans*, reconocido por elevada actividad antioxidante y por su eficacia para combatir el estrés oxidativo (Ahmad y Suzuki, 2019). A este perfil bioactivo se suman flavonoides como la miricitrina, con notables efectos antiinflamatorios y neurotrópicos. (Kurkin y Zimenkina, 2022), así como los ácidos cafeico y ferúlico, los cuales poseen una estructura de dobles enlaces altamente conjugados que les permite integrarse en la bicapa lipídica celular, brindando protección frente al daño oxidativo (Zhang et al., 2019). Asimismo, la familia de los tocoferoles, con predominancia del γ -tocoferol en las nueces, aporta propiedades antiinflamatorias (Campins-Machado et al., 2026), complementadas por la acción del trans-resveratrol en la prevención de enfermedades neurodegenerativas (Bancuta et al., 2018) y del retinol en la fotoprotección cutánea (Vašková et al., 2025). Al realizar una comparación, el aceite de nuez (*Juglans regia*) presenta mayores concentraciones de tocoferoles, trans-resveratrol y retinol, por el contrario, el aceite de tocte (*Juglans neotropica*) destaca por un mayor contenido de juglona, flavonoides y moléculas con anillos aromáticos.

Ciertos valores de absorción en el espectro permite identificar posibles cambios oxidativos que comprometen la calidad del aceite. Específicamente, la absorbancia a 232 nm indica la presencia de productos de oxidación primarios, tales como peróxidos y dienos conjugados, mientras que la absorción a 270 nm evidencia productos secundarios, como aldehídos, cetonas y trienos conjugados (Đurović et al., 2024). Un valor elevado de 232 nm indica que el producto presenta un mayor grado de peroxidación lipídica, por otra parte, un valor mayor de absorbancia a 270 refleja una mayor cantidad de productos de oxidación secundaria, lo que significa problemas durante su conservación (Elouafy et al., 2022). En el espectro se indica que el aceite de tocte (*Juglans neotropica*) tiene una mayor proporción de productos secundarios de oxidación, por otra parte, no se logra diferenciar la señal de absorción de 232 nm, debido al ruido instrumental del equipo.

En la tabla 4 y la tabla 5 se presenta el contenido fenólico total y la actividad antioxidante por el método DPPH de los aceites, respectivamente.

Tabla 4. Contenido fenólico total de aceites

| | Nuez | Tocte |
|---|-------------|----------------|
| Contenido de fenoles totales mg EAG/100 mL | 3,11 ± 0,03 | 1,78 ± 0,03*** |

Nota: Valores expresados como promedio (n = 3) ± desviación estándar. Los niveles de significancia se indican mediante asteriscos según la prueba t de Student: (*) P < 0,05; (**) P < 0,01; (***) P < 0,001

El aceite de nuez (*Juglans regia*) presentó una concentración de fenoles totales significativamente superior a la del aceite de tocte (*Juglans neotropica*), con una diferencia aproximada del 75%. Los valores obtenidos para la nuez guardan relación con lo reportado por Đurović et al. (2024), quienes señalaron rangos entre 3.26 y 5.41 mg EAG/100 mL para aceites estriados por prensado en frío. Esta variabilidad en la concentración puede deberse a factores como el genotipo y su origen geográfico, el sistema de extracción y las condiciones de procesamiento. Estos compuestos son relevantes porque son determinantes en el sabor de los aceites y su estabilidad oxidativa (Boskou et al., 2005).

Tabla 5. Actividad antioxidante de aceites

| | Nuez | Tocte |
|--------------------------|--------------|----------------|
| DPPH LF mg EAG/100 mL | 8,07 ± 0,36 | 8,24 ± 0,34 |
| DPPH MF mg EAG/100 mL | 2,51 ± 0,03 | 2,30 ± 0,03*** |
| DPPH TF mg EAG/100 mL | 10,31 ± 0,22 | 10,27 ± 0,35 |

Nota: Valores expresados como promedio (n = 3) ± desviación estándar. Los niveles de significancia se indican mediante asteriscos según la prueba t de Student: (*) P < 0,05; (**) P < 0,01; (***) P < 0,001

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la actividad antioxidante frente a radicales libres DPPH, el aceite de nuez (*Juglans regia*) y el aceite de tocte (*Juglans neotropica*) presentaron una actividad antioxidante estadísticamente similar, tanto en su fracción lipídica (LF) como en su actividad total (TF). Por el contrario, se observaron diferencias significativas en la fracción metanólica (MF), donde la nuez mostró una concentración superior a la del tocte. De manera general, la fracción lipídica (LF) en ambas especies aportó más del triple de la actividad antioxidante en comparación con la fracción metanólica (MF). Este comportamiento tiene concordancia con lo reportado por Đurović et al. (2024), quienes señalaron que la fracción lipídica del aceite de *J. regia* posee un potencial mayor (17.53% - 39.21%) que la fracción hidrófila (3.015% - 9.97%). La cuantificación de mg EAG/100 mL permite corroborar que aunque el tocte posee un menor contenido de fenoles totales, posee una actividad antioxidante competitiva frente a la nuez.

Conclusiones y recomendaciones

Se determinó que el aceite de nuez (*Juglans regia*) y el de tocte (*Juglans neotropica*) presentan diferencias estadísticamente significativas en su perfil fisicoquímico, destacando una mayor viscosidad y saturación de color en la nuez, frente a una mayor luminosidad y un índice de saponificación superior en el tocte. Estos resultados, sumados a la identificación de compuestos mediante UV-Visible, sugieren que el tocte posee una estructura lipídica con mayor proporción de ácidos grasos de bajo peso molecular y un perfil bioactivo que lo diferencia de la nuez comercial.

En cuanto a la estabilidad y actividad antioxidante, ambos aceites cumplen con los parámetros de calidad para aceites vírgenes prensados en frío, con índices de peróxidos dentro de lo reglamentado. El aceite de tocte demostró un potencial funcional relevante debido a su contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante, lo que, junto a la presencia de juglona, tocoferoles y retinol, posiciona a esta especie andina como una materia prima de alto valor nutricional y estabilidad química inicial adecuada para el desarrollo de nuevos productos.

Se recomienda realizar estudios complementarios de vida útil y estabilidad oxidativa acelerado bajo condiciones variables de luz temperatura, con el fin de establecer el tiempo de conservación y las condiciones óptimas de almacenamiento para este aceite altamente insaturado. Asimismo, es importante profundizar en la caracterización química mediante cromatografía de gases para identificar el perfil de ácidos grasos, lo que permitiría validar con mayor precisión técnica las diferencias observadas en el índice de saponificación y la viscosidad dinámica.

Finalmente, se sugiere explorar el aprovechamiento de aceite de tocte en la formulación de productos alimenticios, aprovechando sus propiedades bioactivas naturales. Este enfoque no solo permitiría la diversificación de la industria de aceites vegetales, sino que también serviría como una estrategia de bioeconomía para fomentar la conservación y reforestación de *Juglans neotropica*, una especie actualmente vulnerable en la región andina debido a la explotación maderera y la pérdida de su hábitat natural.

Referencias

- Acarsoy Bilgin, N. (2022). Morphological characterization of pollen in some varieties of walnut (*Juglans regia*). *International Journal of Fruit Science*, 22(1), 471-480.
- Ahmad, T., & Suzuki, Y. J. (2019). Juglone in oxidative stress and cell signaling. *Antioxidants*, 8(4), 91.
- Albán Gordillo, G. E. (2015). Extracción mecánica y Nanoencapsulación del aceite de *Juglans neotropica* mediante Spray-drying (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Aleixandre-Tudo, J. L., Buica, A., Nieuwoudt, H., Aleixandre, J. L., & du Toit, W. (2017). Spectrophotometric analysis of phenolic compounds in grapes and wines. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(20), 4009-4026.
- American Oil Chemists' Society. (2017). *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS* (7th ed.). AOCS Press.
- AOAC 920.160. (2023). Official Method Saponification Number (Koettstorfer Number) of Oils and Fats. Copyright The Association of Analytical Communities.
- AOAC 921.08. (2023). Official Method Index of Refraction of Oils and Fats. Copyright The Association of Analytical Communities.
- AOAC 965.33. (2023). Official Method Peroxide Value of Oils and Fats. Copyright The Association of Analytical Communities.
- AOAC 985.19. (2023). Official Method (Apparent) Weight per Unity Volume and Specific Gravity of Fats and Oils. Copyright The Association of Analytical Communities.
- AOAC 993.20. (2023). Official Method Iodine Value of Fats and Oils. Copyright The Association of Analytical Communities.
- Aradhya, M. K., Potter, D. A. N. I. E. L., & Simon, C. J. (2004). Origin, evolution, and biogeography of *Juglans*: a phylogenetic perspective. In V International Walnut Symposium 705 (pp. 85-94).
- ASTM International. (2012). *Standard Test Method for Viscosity by Ford Viscosity Cup (ASTM D1200-10)*. West Conshohocken, PA.

- Bancuta, O. R., Chilian, A., Bancuta, I., Setnescu, R., Setnescu, T., & Ion, R. M. (2018). Thermal characterization of resveratrol. *Rev. Chim*, *69*(6), 1346-1351.
- Bautista, A. (2012). *Juglans regia*. Herbario Ornamental. <https://herbariornamental.wordpress.com/2012/02/28/juglans-regia>
- Becerra, M. (1992). Determinación de la morfología y anatomía de la semilla de *Leucaena Leucocephala*; *Albizia Guachapele* Dugand; *Alnus Acuminata*, *Juglans Neotropica* y *Quercus humboldtii*.
- Becerra-Herrera, M., Vélez-Martín, A., Ramos-Merchante, A., Richter, P., Beltrán, R., & Sayago, A. (2018). Characterization and evaluation of phenolic profiles and color as potential discriminating features among Spanish extra virgin olive oils with protected designation of origin. *Food Chemistry*, *241*, 328-337.
- Boskou, D., Blekas, G., & Tsimidou, M. (2005). Phenolic compounds in olive oil and olives. *Curr. Top. Nutraceutical Res*, *3*, 125-136.
- Campins-Machado, F. M., Abarca-Rivas, C., Corrado, M., Pérez, M., & Vallverdú-Queralt, A. (2026). Upcycling walnut (*Juglans regia* L.) by-products: characterisation of nutritionally relevant bioactive compounds. *Food & Function*.
- Cárdenas, D., & Salinas, N. (2007). Libro rojo de plantas de Colombia. Especies maderables amenazadas I parte. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá.
- Chang, S. K., Alasalvar, C., Bolling, B. W., & Shahidi, F. (2016). Nuts and their co-products: The impact of processing (roasting) on phenolics, bioavailability, and health benefits—A comprehensive review. *Journal of functional foods*, *26*, 88-122.
- 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.
- Chusquillo Calapiña, L. A. (2014). Diseño de un proceso para la obtención de compuestos fenólicos del pericarpio de la semilla del nogal (*Juglans Neotrópica* Diels) y extracción del aceite de nuez (Bachelor's thesis, Quito, 2014.).
- De Filette, M., Schatteman, K., & Geuens, J. (2024). Characterization of six cold-pressed berry seed oils and their seed meals. *Applied Sciences*, *14*(1), 439.

- Delaviz, H., Mohammadi, J., Ghalamfarsa, G., Mohammadi, B., & Farhadi, N. (2017). A review study on phytochemistry and pharmacology applications of *Juglans regia* plant. *Pharmacognosy reviews*, 11(22), 145.
- Demirbaş, A. (2020). Red cabbage extracts as inhibitors of lipid oxidation in fresh minced Tilapia (Nile perch) during refrigerated storage. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(1), 81-88.
- Đurović, V., Radovanović, M., Tomić, D., Marjanović, M., Marković, D., & Mandić, L. (2024). Characteristics of cold-pressed walnut (*Juglans regia* L.) oil from Western and Central Serbia. *Journal of Central European Agriculture*, 25(1), 234-242.
- Elouafy, Y., El Idrissi, Z. L., El Yadini, A., Harhar, H., Alshahrani, M. M., Al Awadh, A. A., ... & Tabyaoui, M. (2022). Variations in antioxidant capacity, oxidative stability, and physicochemical quality parameters of walnut (*Juglans regia*) oil with roasting and accelerated storage conditions. *Molecules*, 27(22), 7693.
- Erazo, D. (2012). Estudio e investigación del tocto, producción, explotación: análisis de sus propiedades y aplicación en la gastronomía ecuatoriana. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Administrador Gastronómico. Ecuador: Universidad Tecnológico Equinoccial. disponible en URL: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/11721/1/50246_1.pdf.
- Espín, J. C., Soler-Rivas, C., & Wichers, H. J. (2000). Characterization of the total free radical scavenger capacity of vegetable oils and oil fractions using 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 48(3), 648-656.
- Estruch, R., Martínez-González, M. A., Corella, D., Salas-Salvadó, J., Ruiz-Gutiérrez, V., Covas, M. I., ... & PREDIMED Study Investigators*. (2006). Effects of a Mediterranean-style diet on cardiovascular risk factors: a randomized trial. *Annals of internal medicine*, 145(1), 1-11.
- Fediuc, G., Spinei, M., & Oroian, M. (2025). Cold-Pressed Walnut-Oil Adulteration with Edible Oils Detection Using Vis-NIR Spectroscopy. *Foods*, 14(22), 3877.
- Figueroa, F., Marhuenda, J., Zafrilla, P., Martinez-Cacha, A., Mulero, J., & Cerda, B. (2016). Total phenolics content, bioavailability and antioxidant capacity of 10 different genotypes of walnut (*Juglans regia* L.).

- Fu, M., Qu, Q., Yang, X., & Zhang, X. (2016). Effect of intermittent oven drying on lipid oxidation, fatty acids composition and antioxidant activities of walnut.
- Gambert, A. G., Nițu, S., Tămaș, A., Fanani, M. L., Dupré, J., Delepine, C., ... & Rusnac, L. (2024). Influence of the extraction process on the characteristics of romanian mountain walnut oil. *Am. J. Plant Sci*, 15, 940-967.
- Gharibzahedi, S. M. T., Mousavi, S. M., Hamed, M., & Khodaiyan, F. (2014). Determination and characterization of kernel biochemical composition and functional compounds of Persian walnut oil. *Journal of food science and technology*, 51(1), 34-42.
- Hassani, D., Sarikhani, S., Dastjerdi, R., Mahmoudi, R., Soleimani, A., & Vahdati, K. (2020). Situation and recent trends on cultivation and breeding of Persian walnut in Iran. *Scientia horticulturae*, 270, 109369.
- Hussain, S. Z., Naseer, B., Qadri, T., Fatima, T., & Bhat, T. A. (2021). Walnut (*Juglans regia*)-morphology, taxonomy, composition and health benefits. In *Fruits grown in highland regions of the Himalayas: nutritional and health benefits* (pp. 269-281). Cham: Springer International Publishing.
- Kaijser, A., Dutta, P., & Savage, G. (2000). Oxidative stability and lipid composition of macadamia nuts grown in New Zealand. *Food Chemistry*, 71(1), 67-70.
- Kornsteiner, M., Wagner, K. H., & Elmadfa, I. (2006). Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types. *Food chemistry*, 98(2), 381-387.
- Kowalska, M., Mendrycka, M., Zbikowska, A., & Kowalska, D. (2017). Assessment of a stable cosmetic preparation based on enzymatic interesterified fat, proposed in the prevention of atopic dermatitis. *Acta Pol Pharm*, 74(2), 465-476.
- Kurkin, V. A., & Zimenkina, N. I. (2022). Features of quantitative estimation of flavonoid content in *Juglans nigra* l. barks preparations. *Pharmacy & Pharmacology*, 10(1), 31-43.
- León Morejón, S. E. (2016). Caracterización de las Proteínas de tocte (*Juglans neotropica* Diels) y su Digestibilidad gastrointestinal in vitro.
- Loganathan, R., Tarmizi, A. H. A., Vethakkan, S. R., & Teng, K. T. (2022). A review on lipid oxidation in edible oils. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 26(6), 1378-1393.

- López-Uriarte, P., Bulló, M., Casas-Agustench, P., Babio, N., & Salas-Salvadó, J. (2009). Nuts and oxidation: a systematic review. *Nutrition reviews*, 67(9), 497-508.
- Luna-Guevara, J. J., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2012). Evaluación de algunos índices físicos y químicos de Aceites extraídos de nuez pecanera, nuez de castilla y Macadamia. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 22(2), 33-39.
- Madhavan, N. (2001). Final report on the safety assessment of *Corylus avellana* (Hazel) seed oil, *Corylus americana* (Hazel) seed oil, *Corylus avellana* (Hazel) seed extract, *Corylus americana* (Hazel) seed extract, *Corylus avellana* (Hazel) leaf extract, *Corylus americana* (Hazel) leaf extract, and *Corylus rostrata* (Hazel) leaf extract. *International journal of toxicology*, 20, 15-20.
- Malavi, D., Nikkha, A., Raes, K., & Van Haute, S. (2023). Hyperspectral imaging and chemometrics for authentication of extra virgin olive oil: A comparative approach with FTIR, UV-VIS, Raman, and GC-MS. *Foods*, 12(3), 429.
- Mao, X., Hua, Y., & Chen, G. (2014). Amino acid composition, molecular weight distribution and gel electrophoresis of walnut (*Juglans regia* L.) proteins and protein fractionations. *International journal of molecular sciences*, 15(2), 2003–2014. <https://doi.org/10.3390/ijms15022003>
- Martínez, M. L., & Maestri, D. M. (2014). Extracción y caracterización de aceite de nuez (*Juglans regia* L.): influencia del cultivar y de factores tecnológicos sobre su composición y estabilidad oxidativa. *Publicia*.
- Mateş, L., Banc, R., Zaharie, F. A., Rusu, M. E., & Popa, D. S. (2024). Mechanistic insights into the biological effects and antioxidant activity of walnut (*Juglans regia* L.) ellagitannins: a systematic review. *Antioxidants*, 13(8), 974.
- Monika, M., & Anna, K. D. (2019). Nut oils and their dietetic and cosmetic significance: a review. *Journal of Oleo Science*, 68(2), 111-120.
- Navarro, S. L., & Rodrigues, C. E. (2016). Macadamia oil extraction methods and uses for the defatted meal byproduct. *Trends in Food Science & Technology*, 54, 148-154.
- Nemeth, M., Millesi, E., Wagner, K. H., & Wallner, B. (2014). Effects of diets high in unsaturated fatty acids on socially induced stress responses in guinea pigs. *PLoS One*, 9(12), e116292.

- Penagos, C. M. O., Restrepo, R. J. H., Valencia, F. A. A., Castaño, J. N. P., & Castaño, J. W. S. (2003). El cedro negro: una especie promisoría en la zona cafetera. *Boletín Técnico Cenicafe*, 1-40.
- Rodríguez-Blázquez, S., Gómez-Mejía, E., Rosales-Conrado, N., & León-González, M. E. (2025). Recent Insights into Eco-Friendly Extraction Techniques for Obtaining Bioactive Compounds from Fruit Seed Oils. *Foods*, 14(13), 2271.
- Rudrapal, M., Rakshit, G., Singh, R. P., Garse, S., Khan, J., & Chakraborty, S. (2024). Dietary polyphenols: review on chemistry/sources, bioavailability/metabolism, antioxidant effects, and their role in disease management. *Antioxidants*, 13(4), 429.
- Rusu, M. E., Gheldiu, A. M., Mocan, A., Vlase, L., & Popa, D. S. (2018). Anti-aging potential of tree nuts with a focus on the phytochemical composition, molecular mechanisms and thermal stability of major bioactive compounds. *Food & function*, 9(5), 2554-2575.
- Rusu, M. E., Mocan, A., Ferreira, I. C., & Popa, D. S. (2019). Health benefits of nut consumption in middle-aged and elderly population. *Antioxidants*, 8(8), 302.
- Sharma, M., Sharma, M., & Sharma, M. (2022). A comprehensive review on ethnobotanical, medicinal and nutritional potential of walnut (*Juglans regia* L.). *Proceedings of the Indian National Science Academy. Part A, Physical Sciences*, 88(4), 601–616. <https://doi.org/10.1007/s43538-022-00119-9>
- Szalóki-Dorkó, L., Kumar, P., Székely, D., Végvári, G., Ficzek, G., Simon, G., Abrankó, L., Tormási, J., Bujdosó, G., & Máté, M. (2024). Comparative Study of Different Walnut (*Juglans regia* L.) Varieties Based on Their Nutritional Values. *Plants*, 13(15), 2097. <https://doi.org/10.3390/plants13152097>
- Tarmizi, A. H. A., & Lin, S. W. (2008). Quality assessment of palm products upon prolonged heat treatment. *Journal of oleo science*, 57(12), 639-648.
- Toro Vanegas, E., & Roldán Rojas, I. C. (2018). Estado del arte, propagación y conservación de *Juglans neotropica* Diels., en zonas andinas. *Madera y bosques*, 24(1).
- Uddin, Y., Khan, N. M., Ali, F., Ahmad, S., Ullah Khan, Z., Asif Nawaz, M., & Wang, J. (2021). Estimation of various physicochemical properties of walnut oil from different areas of Northern Kpk, Pakistan. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 65(4), 572-581.

- Valdenegro, M., Bernales, M., Knox, M., Vinet, R., Caballero, E., Ayala-Raso, A., ... & Fuentes, L. (2021). Characterization of fruit development, antioxidant capacity, and potential vasoprotective action of Peumo (*Cryptocarya alba*), a native fruit of Chile. *Antioxidants*, 10(12), 1997.
- Vašková, J., Stupák, M., Vidová Ugurbaş, M., Židzik, J., & Mičková, H. (2025). Therapeutic uses of retinol and retinoid-related antioxidants. *Molecules*, 30(10), 2191.
- Vilcacundo, E., Alvarez, M., Silva, M., Carpio, C., Morales, D., & Carrillo, W. (2018). Fatty acids composition of tocte (*Juglans neotropica* Diels) walnut from Ecuador. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 11(2), 395-398.
- Vilcacundo, E., Gaibor, J., Albán, G., Vilcacundo, R., & Carrillo, W. (2020). Gastrointestinal evaluation of tocte protein concentrate (*Juglans neotropica* Diels) and their chemical composition.
- Wang, J., Zhang, K., Sheng, J., Ren, H., Gong, J., Wang, Y., ... & Hao, Y. (2023). Investigation on Walnut Kernel Oil Extraction Using Different Methods. *BioResources*, 18(1).
- Zhang, H., Birch, J., Pei, J., Mohamed Ahmed, I. A., Yang, H., Dias, G., ... & Bekhit, A. E. D. (2019). Identification of six phytochemical compounds from *Asparagus officinalis* L. root cultivars from New Zealand and China using UAE-SPE-UPLC-MS/MS: effects of extracts on H₂O₂-induced oxidative stress. *Nutrients*, 11(1), 107.
- Zhang, Z., Liao, L., Moore, J., Wu, T., & Wang, Z. (2009). Antioxidant phenolic compounds from walnut kernels (*Juglans regia* L.). *Food chemistry*, 113(1), 160-165.