

Uso de aceites comestibles como solventes para la extracción de compuestos bioactivos: Una revisión (parte B)

Use of edible oils as solvents for the extraction of bioactive compounds: A review (part B)

Moreno – Romero, Wilmer^{1*}; Velásquez, Ingrid²; Salinas, Nancy²

¹Laboratorio de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez, Núcleo Canoabo, Carabobo, Venezuela

²Laboratorio de Alimentos. Departamento de Química. Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad de Carabobo, Carabobo, Venezuela. *wilmerjmorenor@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.53766/CEI/2021.43.01.07>

Resumen

Los procesos de extracción de compuestos bioactivos para las industrias cosmética, farmacéutica, de alimentos y química dependen en gran medida de los disolventes, los cuales en su mayoría son derivados del petróleo, y por consiguiente pueden acarrear problemas de ecotoxicidad. Por ello, los principios de la química verde se han direccionado hacia el empleo de solventes alternativos para la extracción de metabolitos secundarios provenientes de fuentes vegetales como por ejemplo biorecursos de origen oleoproteaginosos, con los cuales se obtienen resultados favorables al lograr el arrastre de cantidades importantes de las sustancias objetivas, aportando de esta manera un valor agregado a los medios extractantes que pueden ser dirigidos al consumo directo o como base para la preparación de productos en distintos campos. En la actualidad, para mejorar los rendimientos, este proceso de extracción se ha combinado con otras técnicas innovadoras como microondas, fluidos supercríticos y ultrasonidos, manteniéndose de igual forma una sinergia con el medio ambiente.

Palabras claves: Aceites vegetales, bioactivos, disolventes verdes, extracción de compuestos bioactivos.

Abstract

Extraction processes of bioactive compounds for the cosmetic, pharmaceutical, food and chemical industries rely heavily on solvents, which are mostly petroleum-derived, and therefore can lead to ecotoxicity problems. For this reason, the principles of green chemistry have been directed towards the use of alternative solvents for the extraction of secondary metabolites from plant sources such as oleoproteaginous bioresources with which favorable results are obtained by achieving the entrainment of significant quantities of the target substances, thus providing added value to the extracting media that can be directed to direct consumption or as a basis for the preparation of products in various fields. Nowadays, in order to improve yields, this extraction process has been combined with other innovative techniques such as microwaves, supercritical fluids and ultrasound, while maintaining a synergy with the environment.

Keywords: Vegetable oils, bioactives, green solvents, extraction of bioactive compounds.

1. Introducción

Los aceites vegetales consisten en aproximadamente un 95 % de triglicéridos y un 5 % de ácidos grasos libres (Hammond 2003, Rodríguez y col., 2017), además de componentes menores como mono y di-glicéridos, fosfátidos, esteroides, alcoholes grasos, vitaminas liposolubles, pigmentos, fenoles, compuestos aromáticos y otros compuestos (Rodríguez y col., 2017, Yara y col., 2017).

En los procesos de extracción, se consideran variables como el tamaño de las partículas, la temperatura y la relación materia seca/disolvente influyen en la eficiencia de la extracción (Mezzomo y col., 2016). El contenido anfílico endógeno de los aceites vegetales y el grado de poliinsaturación de los triglicéridos desempeñan un papel importante en su utilización como disolventes verdes para la recuperación de bioactivos (Li y col., 2014). En tal sentido, Li y col., (2019) señala que el mayor contenido en ácidos grasos poliinsaturados en los aceites, podría dotarlos de una menor viscosidad correspondiente a una

mayor difusividad que a su vez ayuda a aumentar el rendimiento de extracción. Sin embargo, en sus estudios se comprobaron que no existe una correlación entre el rendimiento de extracción de compuestos fenólicos y el nivel de poliinsaturación de los disolventes de los aceites refinados, lo que indica que el rendimiento de extracción de éstos bioactivos puede estar más relacionado con la presencia de compuestos anfífilos endógenos presentes en el aceite, como los glicéridos parciales y los fosfolípidos, y también con el grado de refinado de los aceites.

Por otra parte, los disolventes de origen biológico pueden provenir de cereales/azúcares, oleoproteaginosos y madera. Los oleoproteaginosos permiten producir disolventes a partir de semillas ricas en aceites vegetales, como la colza, el girasol y la soja. Las principales moléculas biológicas obtenidas son ésteres de ácidos grasos y derivados del glicerol. Los disolventes biológicos obtenidos del sector de la madera se producen principalmente a partir de coníferas como los pinos o los frutales (Tanzi y col., 2012).

En la Tabla 1, se muestran las diferentes investigaciones y sus resultados al emplear aceites vegetales en la obtención de algunos compuestos bioactivos. En el caso de la extracción de polifenoles, no se ha reportado un solvente como el mejor, sin embargo, se ha considerado que los solventes de mayor polaridad a menudo se desempeñan mejor en términos de extracción de éstos debido a la alta solubilidad (Oluwaseun y col., 2021). Por ejemplo, la acetona (Liu y col., 2009); el agua (Fernández-Agulló y col., 2013); metanol acuoso (Iloki-Assanga y col., 2015; Herrera y col., 2021). Se ha determinado que los disolventes acuoso - orgánico logran mejores eficiencias de extracción en comparación con los disolventes orgánicos absolutos (Metrouh-Amir y col., 2015).

En esta revisión se resaltan algunas investigaciones que se han realizado en torno al empleo de los aceites vegetales como disolventes verdes en la extracción de fitoquímicos que han resultado de gran interés por sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas.

Tabla 1. Aplicación de aceites vegetales como solventes

Tipo de aceite	Material	Extracto	Resultados experimentales	Referencia
Aceite de maíz	Flores de tomillo secas (<i>Thymus capitatus</i>)	Compuestos fenólicos y antioxidantes	Las actividades antioxidantes del aceite enriquecido con tomillo se debieron principalmente a la presencia de compuestos fenólicos como el timol y de hidrocarburos como el γ -terpineno y el p-cimeno. El aceite enriquecido tenía un contenido total de fenoles de 23,63 mg 100 g ⁻¹ . El timol fue el principal compuesto fenólico presente (55,84 %). El aceite enriquecido con tomillo podría considerarse una fuente nueva y natural de antioxidantes.	Karoui y col., 2016
Oleína de palma	Residuos de gamba rosa (<i>Farfantepenaeus subtilis</i>)	Astaxantina	Las extracciones de astaxantina a partir de residuos de camarones se realizaron con oleína de palma a tres temperaturas diferentes (50, 60 y 70 °C). En estas condiciones, la extracción máxima de astaxantina fue de 29,814 μ g/g de residuos secos (70 °C). Se evidenció que el rendimiento de astaxantina disminuyó con el aumento de la temperatura de secado. Esto puede explicarse por el hecho de que, como la mayoría de los carotenoides, la astaxantina es una molécula altamente insaturada y, por tanto, es muy sensible a las altas temperaturas, a la luz y a las condiciones oxidativas que pueden promover la isomerización de la astaxantina en la forma cis que posee menos actividad que su correspondiente configuración trans.	Nakata y col., (2018)

Tabla 1. (Continuación)				
Tributiltina, tricaprilina, tricaproína, aceites de soja maíz, germen de arroz, oliva, linaza, sésamo, salvado de arroz, colza, aceite de girasol alto oleico y aceite de pescado.	Alga parda <i>Sargassum horneri</i> , hojas de espinaca y olivo	Carotenoide (Fucoxantina, luteína)	Se encontró más Fx a partir del polvo seco de <i>S. horneri</i> con un tamaño de partícula más pequeño. La tasa de extracción de Fx se ve afectada por la temperatura y el tiempo de extracción, mostrando que la extracción efectiva se obtendría a 50 °C en 12 horas de extracción. Entre los aceites utilizados, el triacilglicerol (TAG) de cadena corta (C4 y C6) (SCT) y el TAG de cadena media (C8) (MCT) pudieron extraer más Fx de <i>S. horneri</i> y más β-caroteno y luteína de las hojas de espinaca y de olivo.	Teramukai y col., 2020
Aceites de maní, semilla de algodón, maíz, soja alto oleico	Romero (<i>Salvia rosmarinus</i>)	Antioxidantes	Los tres aceites vegetales utilizados para la extracción de antioxidantes (aceite de soja alto oleico, aceite de semilla de algodón y aceite de maní) pueden utilizarse como disolventes para extraer antioxidantes de las hojas de romero. El aceite de soja alto oleico extrajo más ácido carnósico que los otros aceites vegetales. Los aceites vegetales extrajeron entre un 10 y un 24 % más de ácido carnósico que el disolvente químico (etanol). Por lo tanto, este estudio puede concluir que los aceites vegetales son disolventes potenciales para sustituir a los disolventes químicos utilizados en la extracción de antioxidantes liposolubles de las hojas de romero. Sin embargo, se necesitan más análisis para examinar su eficacia en la extracción de otros antioxidantes liposolubles, además del ácido carnósico.	Ginsburg y col., 2020.
Aceite de canola, maíz y soja	Residuos de calabaza (<i>Cucurbita argyrosperma</i> Huber)	Carotenoides	El proceso desarrollado demostró que es posible extraer eficazmente carotenoides de la pulpa de calabaza utilizando aceites vegetales (aceite de canola, maíz y soja) como sustitutos de los disolventes orgánicos convencionales, que son volátiles, inflamables y tóxicos. El aceite de canola dio un mayor rendimiento de extracción de carotenoides con una relación pulpa de calabaza seca/aceite de 1:10 respectivamente. Las condiciones óptimas fueron 21,8 min de tiempo de extracción, 250 rpm de velocidad de agitación y 60°C de temperatura de extracción, El aceite enriquecido podría utilizarse como un potencial ingrediente funcional en el desarrollo de alimentos (por ejemplo, productos de panadería, margarina, mayonesa y aderezos), cosméticos (productos para el cuidado del cuerpo y la piel) y productos medicinales (nutracéuticos).	Portillo – López y col., 2021

2. Aceites vegetales como disolventes para los antioxidantes polares. La teoría de la paradoja polar de los antioxidantes

Según la conocida regla de "lo semejante se disuelve en lo semejante", los aceites vegetales han demostrado teóricamente ser disolventes potenciales para varios compuestos bioactivos naturales con un cierto gradiente de polaridad que va de lo no polar a lo polar (Li y col., 2017).

La teoría de la paradoja polar racionaliza el comportamiento de los antioxidantes en diferentes medios. Sin embargo, esta teoría, posteriormente, fue reevaluada después de haber sido utilizada durante dos décadas para la interpretación de la eficacia antioxidante, ya que han surgido pruebas contradictorias de evaluaciones más exhaustivas. Zhong y col., (2011) sugirieron, por primera vez, que la concentración de éstos desempeña un papel crítico; es decir, la paradoja polar puede ser aplicable sólo en determinados rangos de concentración. Por ejemplo, cuando se comparó la actividad antioxidante del galato de epigallocatequina (EGCG en sus siglas en inglés) con la de su derivado lipofílico (tetraestearato) en el aceite de oliva, se observó que, a bajas concentraciones, el éster era más eficaz, mientras que el EGCG era más activo a altas concentraciones.

La hipótesis es que, a bajas concentraciones, el efecto de la solubilidad en el seno del aceite domina sobre el efecto del fenómeno interfacial en la eficacia del antioxidante; así, los antioxidantes no polares con mejor solubilidad en la grasa tienen mayor eficacia que sus homólogos polares, mientras que lo contrario es cierto a concentraciones más altas. Por lo tanto, es posible que la teoría de la paradoja polar sólo se aplique cuando la concentración del antioxidante supere un valor crítico, de modo que el fenómeno interfacial domine sobre el parámetro de solubilidad.

Como se mencionó antes, la extracción de compuestos bioactivos usando aceites vegetales puede estar relacionado con los compuestos anfífilos endógenos presentes en el aceite (glicéridos y los fosfolípidos), pudiendo autoensamblarse espontáneamente con la presencia de agua para formar diferentes tipos de coloides de asociación, como micelas inversas, estructuras laminares y agregados cilíndricos (Li y col., 2015).

Estas micelas autoensambladas se consideran nano-reactores termodinámicamente estables, que tienen diferentes tamaños y permiten la disolución de una cantidad deseable de compuestos polares y no polares (Garti 2003). Los tensioactivos endógenos o exógenos con balance hidrofílicos - lipofílicos (HLB) bajos o intermedios, por ejemplo, los fosfolípidos, los ácidos grasos libres y los mono y diacilglicéridos, se ven más favorecidos para formar y estabilizar micelas invertidas (Chaiyasit y col., 2007).

Estas estructuras termodinámicamente estables se dan de forma natural en los aceites vírgenes y refinados en función de las trazas de agua, y suelen estar formadas por tensioactivos con valores de HLB bajos, como los ácidos grasos libres ($HLB \approx 1$), los monoglicéridos ($HLB \approx 3,4 - 3,8$) y los diglicéridos ($HLB \approx 1,8$), o incluso los fosfolípidos con un valor de HLB intermedio de 8 (Li y col., 2015).

Dado que la teoría de la paradoja polar racionaliza el hecho de que los antioxidantes polares son más eficaces en medios no polares, en un estudio realizado por Li y col., (2015) lograron extracciones de compuestos fenólicos en aceites vegetales (aceites refinados de girasol, colza, cacahuete, oliva y semilla de uva, aceite de coco, jojoba, aguacate y linaza, aceites vírgenes de girasol, oliva y ricino) para obtener aceites enriquecidos con dichos compuestos.

Lo anterior fue ejemplificado por Li y col., (2017) quienes aseveraron lo siguiente: "suponiendo que los aceites vegetales tienen un 100 % de extractabilidad para los compuestos fenólicos totales (CFT) en las hojas de olivo, habrá 11 mg/g de CFT en los aceites en teoría. Por lo tanto, el poder de disolución depende del aceite vegetal. Aparte del aceite polar (73 % de extractabilidad), los aceites vírgenes (41 % de media) tienen una mejor extractabilidad que los aceites refinados (16 % de media) para los antioxidantes hidrofílicos (Figura 1).

Inspirándose en el comportamiento paradójico de los antioxidantes polares en el seno de los lípidos, los aceites vegetales no sólo pueden ser los disolventes de los antioxidantes lipofílicos a la luz del principio de "lo semejante se disuelve en lo semejante" (Yara y col., 2017).

La micelización autoensamblada en los aceites vegetales puede ayudar a desarrollar una extracción directa in situ de antioxidantes hidrofílicos (Li y col., 2015), en la que la eficacia de la extracción, la selectividad y los factores de enriquecimiento son variables en función del tipo de aceite y su composición, así como del tipo de tensioactivo y la dosis (Li y col., 2017).

3. Usos de aceites vegetales con tecnologías emergentes para la extracción de compuestos bioactivos

En relación al uso de estas tecnologías verdes innovadoras, se han explorado las propiedades de los aceites vegetales como co-solventes en las extracciones de fitoquímicos a partir de biorrecursos naturales, lo que ha ayudado a conseguir un procedimiento de extracción más ecológico y nuevos productos finales de valor añadido con gran potencial en las industrias alimentaria, nutracéutica y cosmética (Yara y col., 2017).

La Tabla 2 presenta algunas aplicaciones de técnicas innovadoras para la extracción de diferentes tipos de compuestos a partir de diversos materiales vegetales utilizando aceites vegetales como disolventes o co-

solventes para ser enriquecidos con compuestos bioactivos.

En este contexto, se ha empleado la extracción asistida por ultrasonidos (EAU) basada en los conceptos de extracción verde y biorrefinería utilizando aceite de girasol como disolvente para la extracción de carotenoides de zanahorias frescas. El rendimiento de la extracción bajo condiciones optimizadas de la EAU fue similar al de la extracción convencional utilizando hexano como disolvente (Li y col., 2013). Además, esta técnica ecológica también ofrecía beneficios significativos en términos de coste, tiempo, energía y medio ambiente; y mostraba su potencial para una aplicación a escala industrial en campos relevantes.

El modo de acción de esta técnica radica en que las ondas ultrasónicas inducen presión y cavitación con disrupción de las paredes celulares facilitando la liberación de los componentes objetivo (Roselló-Soto y col., 2015). La selección del disolvente juega un papel crucial en la EAU, principalmente por su alta influencia en la eficacia de la cavitación, así como en la transferencia de energía acústica a los reactivos.

También, se han estudiado ampliamente las extracciones con dióxido de carbono supercrítico (EAFS) de diferentes carotenoides y derivados utilizando varios aceites vegetales como co-solventes. Se ha demostrado el papel beneficioso de la adición de aceites vegetales como co-solvente para mejorar el rendimiento, y para evitar la degradación de los carotenoides objetivo durante su extracción (Sun y col., 2006; Vesapolló y col., 2004; Ma y col., 2008; Gao y col., 2010).

La EAFS es otra de las tecnologías verdes innovadoras que puede ser usada para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos de cítricos. Esta técnica favorece una rápida extracción utilizando temperaturas moderadas lo que impide la degradación de los

compuestos de interés, elimina etapas de lavado y evita el uso de disolventes tóxicos en el proceso. El dióxido de carbono (CO₂) es el gas comúnmente empleado, debido a que presenta diversas ventajas por ser un gas no explosivo, moderadamente no inflamable, económico y accesible, de baja temperatura crítica (32 °C, a presión 7.4 MPa), además permite una fácil extracción de sus componentes (Yousefi y col., 2019).

Por otra parte, Rossignol-Castera (2010) propuso un procedimiento de extracción ecológico intensificado por microondas y ultrasonidos, que podría mejorar el poder disolvente de los aceites para garantizar una buena reproducibilidad de los extractos producidos con altos rendimientos y óptimas propiedades organolépticas. Estas novedosas técnicas desarrolladas ya se han puesto en producción real a escala industrial.

La extracción asistida por microondas se considera un método alternativo a los convencionales para la obtención de compuestos bioactivos de las plantas. Las ventajas que posee son similares a la EAU: reduce el consumo de energía, la extracción requiere de menor tiempo, el gasto de disolventes es menor y genera mejor rendimiento de los compuestos de interés (Sadeghi, Hakimzadeh y col., 2017). La frecuencia de las microondas oscila entre 300 MHz a 300 GHz, son de naturaleza electromagnética no ionizante (Al-Mamoori y col., 2018) y presentan dos campos de oscilación perpendiculares, es decir, frecuencias magnéticas y eléctricas. A partir de esta técnica de extracción se pueden obtener compuestos bioactivos, pigmentos y polisacáridos entre otros (Soquetta y col., 2018). Las formas de extraer compuestos a partir de microondas son dos: extracción por disolvente asistida por microondas, donde la muestra cubierta por el disolvente se irradia con microondas y la extracción con recipiente cerrado/multimodo utilizando alta presión y temperatura (Al-Mamoori y col., 2018).

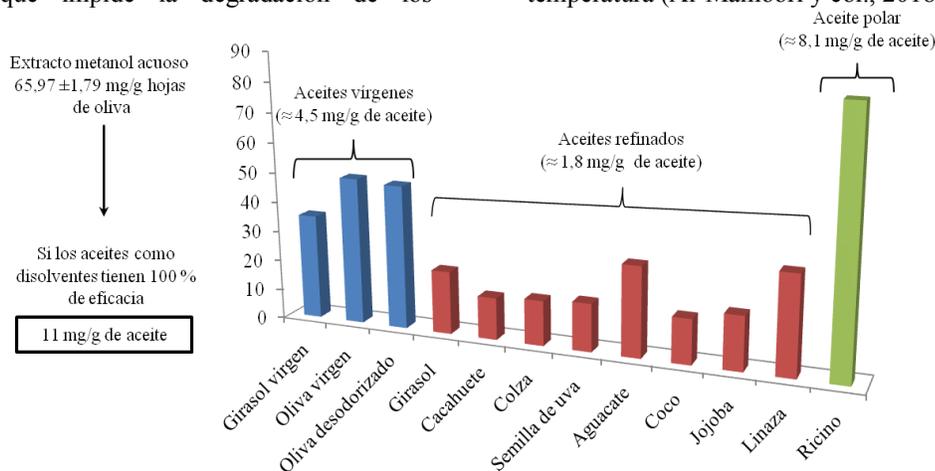


Fig. 1. Extracción del TPC de las hojas de olivo secas mediante aceites vegetales como disolventes (unidad: mg de equivalente de oleuropeína por g de disolvente de aceite) (Adaptado de Li y col., 2017)

Tabla 2. Aplicaciones de técnicas innovadoras para la extracción de compuestos bioactivos

Técnica	Matriz	Resultados experimentales	Referencia
Ultrasonido	Residuos de zanahoria (obtenido después de la extracción del zumo) (<i>Daucus carota</i> L.)	Se investigó la extracción asistida por ultrasonidos (EAU) de β -caroteno utilizando dos fuentes de irradiación ultrasónica. El máximo rendimiento de extracción de β -caroteno del 83,32 % se obtuvo con 50 minutos de irradiación ultrasónica, 50 °C, 100 W de potencia, 60 % de ciclo de trabajo y una relación sólido-disolvente de 0,3:20 (g/ml de solvente) mientras que usando el baño de ultrasonido, se obtuvo el máximo rendimiento de extracción de β -caroteno de 64,66 % bajo los parámetros de operación optimizados.	Purohit y col., 2015
	Cáscara de granada (<i>Punica granatum</i> L.)	Se comprobó que: Extrayendo una vez con los disolventes verdes y utilizando ultrasonidos se extrajo con éxito alrededor del 85,7 y 93,8% del total de carotenoides presentes en el material de desecho. El período de extracción eficiente para lograr el máximo rendimiento fue de unos 30 minutos. El rendimiento de la extracción aumentó al aumentar la temperatura de extracción de 20 a 40 °C, la amplitud hasta valores en torno al 40%, y la relación cáscaras/disolvente hasta valores en torno a 0,2. El rendimiento de extracción óptimo fue de unos 0,3255 mg de carotenoides/100 g de cáscaras secas. Un modelo cinético de segundo orden puede describir el proceso de extracción bajo diferentes parámetros de extracción asistida por ultrasonidos.	Goula y col., 2017
Microondas	Materiales vegetales frescos	La investigación se refiere a un método de obtención de un extracto oleoso de plantas a partir de material vegetal que comprende las etapas de mezclar el material vegetal con una grasa, el calentamiento de dicha mezcla y la recuperación del extracto oleoso. La presente invención encuentra una aplicación particular en el campo de la producción de extractos especiales, extractos de aromas, extractos perfumantes, suministro de materias primas, ingredientes activos, por ejemplo en cosmética y/o dermatología.	Combes y col., 2015
	Hojas secas de <i>Rosmarinus officinalis</i> L.	La maceración asistida por microondas (MAM). de hojas secas de <i>Rosmarinus officinalis</i> L. en el aceite de oliva ofrece importantes ventajas sobre la maceración convencional (MC). Se obtuvieron mayores rendimientos de 1,8-cineol de 1,8-cineol y alcanfor (12,39% y 13,36% frente a 1,05% y 0,45% de 1,8-cineol y alcanfor para la MC) en un tiempo más corto (10 min frente a 12 h para el MC). Las cualidades sensoriales de los aceites de oliva aromatizados por MC y MAM mostraron un ligero aumento del amargor, pero una aceptabilidad general. Por lo tanto se puso de manifiesto que la MAM puede proponerse como una prometedora aplicación capaz de aromatizar directamente el aceite de oliva con plantas aromáticas con varias ventajas en términos de rendimiento y ahorro de tiempo.	Benmoussa y col., 2016

Tabla 2. (Continuación)

<p>Ultrasonido y Microondas</p>	<p>Cáscara de maracuyá</p>	<p>Utilizando condiciones optimizadas de EAU, se extrajo el 91,4 % (empleando aceite de oliva) y el 86,7 % (empleando aceite de girasol) de los carotenoides presentes, mientras que el MAE extrajo el 86,9 % en aceite de oliva.</p> <p>Ambos procesos tienen el potencial de para mejorar la eficiencia de la extracción. El aceite de oliva como disolvente fue el mejor para la extracción de carotenoides de la cascara de maracuyá.</p> <p>Las condiciones optimizadas de la EAU utilizando aceite de oliva como disolvente para obtener la máxima de extracción fueron 39 minutos de tratamiento, 47 °C de temperatura y 30 g/100 ml de proporción S/L y las del MAE fueron 200 vatios de potencia de microondas, 25 minutos de tratamiento tiempo de tratamiento.</p> <p>No es necesario separar el aceite de los carotenoides, ya que el aceite pigmentado puede utilizarse como fuente de carotenoides en productos alimentarios.</p>	<p>Chutia y col., 2020</p>
<p>Fluido supercrítico</p>	<p><i>Tagetes erecta</i> L</p>	<p>Se utilizaron triglicéridos de cadena media (TCM), aceite de semilla de girasol, aceite de soja, aceite de colza y n-hexano como co-solventes para promover la extracción con dióxido de carbono supercrítico (CO₂-SC) de los ésteres de luteína de la caléndula (<i>Tagetes erecta</i> L.).</p> <p>La adición de aceites vegetales y n-hexano como co-solventes aumentó significativamente la eficiencia de la extracción de ésteres de luteína de las flores de caléndula con CO₂-SC. De los cinco co-disolventes probados, el TCM fue el más eficaz para mejorar el rendimiento de extracción de los ésteres de luteína.</p>	<p>Gao y col., 2010</p>

4. Conclusiones

Los aceites vegetales han demostrado ser una alternativa para la sustitución de los tan cuestionados solventes orgánicos derivados del petróleo en la extracción de fitoquímicos de gran valor biológico. Siendo solventes amigables con el ambiente han resultado excelentes medios extractantes de sustancias, en su mayoría, lipofílicas de gran uso industrial. Por tal razón, tomando en cuenta la demanda mundial cada vez mayor hacia productos verdaderamente sanos y seguros y dada la biodisponibilidad y bajo coste de estos materiales oleosos, se convierten en una propuesta ecológica prometedora y se ha perfilado conjuntamente con otras tecnologías innovadoras como premisa para la obtención de productos de alto valor agregado dado los beneficios que redundarían para la salud.

Referencias

Al-Mamoori F, Al-Janabi R, 2018, Recent advances in microwave-assisted extraction (MAE) of medicinal plants: A review. *International Research Journal of Pharmacy*. 9(6), 22-29. <https://doi.org/10.7897/2230-8407.09684>.

Benmoussa H, Farhat A, Elfalleh W, Di Maio I, Servili M, Romdhane M, 2016, A rapid application to flavor the olive oil with dried *Rosmarinus officinalis* L. leaves: Microwave-assisted maceration. *Journal of Food Processing and Preservation*. 41(3), 1-8. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12885>.

Chaiyasit W, Elias R, McClements D, Decker E, 2007, Role of physical structures in bulk oils on lipid oxidation. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 47(3), 299–317. <https://doi.org/10.1080/10408390600754248>.

Chutia H, Mahanta C, (2020). Green ultrasound and microwave extraction of carotenoids from passion fruit peel using vegetable oils as a solvent: Optimization, comparison, kinetics, and thermodynamic studies.

- Innovative Food Science & Emerging Technologies, 102547. doi:10.1016/j.ifset.2020.102547.
- Combes C, Dugas E, Gaëlle C, 2015, Method for obtaining an oily extract of plants. France Patent FR3011848B1, Fernández-Agulló A, Pereira E, Freire M, Valentão P, Andrade P, González-Álvarez J, Pereira J, 2013, Influence of solvent on the antioxidant and antimicrobial properties of walnut (*Juglans regia* L.) green husk extracts. *Ind. Crop. Prod.* 42:126–132. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.021>.
- Gao Y, Liu X, Xu H, Zhao J, Wang Q, Liu G, Hao Q, 2010, Optimization of supercritical carbon dioxide extraction of lutein esters from marigold (*Tagetes erecta* L.) with vegetable oils as continuous co-solvents. *Separation and Purification Technology*. 71, 214–219. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2009.11.024>.
- Garti N, 2003, Microemulsions as microreactors for food applications. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 8, 197–211. [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(03\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(03)00022-0).
- Ginsburg S, Maleky F, 2020. Extraction of lipid soluble antioxidants from rosemary leaves using vegetable oils. *International Journal of Food Science & Technology*. Pages 1 – 10. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14577>.
- Goula A, Ververi M, Adamopoulou A, Kaderides K, 2017, Green ultrasound-assisted extraction of carotenoids from pomegranate wastes using vegetable oils. *Ultrason. Sonochem.* 34, 821–830. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.07.022>.
- Hammond E, 2003, Vegetable oils. Types and properties. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 5899–5904.
- Iloki-Assanga S, Lewis-Luján L, Lara-Espinoza C, Gil-Salido A, Fernandez-Angulo D, Rubio-Pino J, Haines D, 2015, Solvent effects on phytochemical constituent profiles and antioxidant activities, using four different extraction formulations for analysis of *Bucida buceras* L. and *Phoradendron californicum*. *BMC Research Notes*. 8(1).10.1186/s13104-015-1388-1.
- Karoui I, Msaada K, Abderrabba M, Marzouk B, 2016, Bioactive compounds and antioxidant activities of thymenriched refined corn oil. *J. Agric. Sci. Technol.* 18, 79–91.
- Li Y, Fabiano-Tixier A, Tomao V, Cravotto G, Chemat F, 2013, Green ultrasound-assisted extraction of carotenoids based on the bio-refinery concept using sunflower oil as an alternative solvent. *Ultrasonics Sonochemistry*. 20, 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.07.005>
- Li Y, Fabiano-Tixier A, Ginies C, Chemat F, 2014, Direct green extraction of volatile aroma compounds using vegetable oils as solvents: Theoretical and experimental solubility study. *LWT - Food Science and Technology*. 59(2), 724–731. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.064>
- Li Y, Fabiano-Tixier A, Ruiz K, Rossignol-Castera A, Bauduin P, Diat O, Chemat F, 2015, Comprehension of direct extraction of hydrophilic antioxidants using vegetable oils by polar paradox theory and small angle X-ray scattering analysis. *Food Chemistry*. 173, 873–880. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.061>.
- Li Y, Fabiano-Tixier A, Chemat F, 2017, Vegetable oils as alternative solvents for green extraction of natural products. In *Edible oils: Extraction, processing, and applications*; Chemat, S, Ed. CRC Press: Boca Raton, FL, USA. pp. 205–222. ISBN 978-1-4987-5209-1.
- Li Y, Bundeasomchok K, Rakotomanomana N, Fabiano-Tixier A, Bott R, Wang Y, Chemat F, 2019, Towards a zero-waste biorefinery using edible oils as solvents for the green extraction of volatile and non-volatile bioactive compounds from rosemary. *Antioxidants*, 8(5), 140.
- Liu S, Lin J, Wang C, Chen H, Yang D, 2009, Antioxidant properties of various solvent extracts from lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) flowers. *Food Chem.* 114:577–581. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.088>.
- Ma Q, Xu X, Gao Y, Wang Q, Zhao J, 2008, Optimisation of supercritical carbon dioxide extraction of lutein esters from marigold (*Tagetes erecta* L.) with soybean oil as a co-solvent. *Int. J. Food Sci. Technol.* 43, 1763–1769. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01694.x>
- Metrouh-Amir H, Duarte C, Maiza F, 2015, Solvent effect on total phenolic contents, antioxidant, and antibacterial activities of *Matricaria pubescens*. *Ind. Crop. Prod.* 67:249–255.
- Mezzomo N, Ferreira S, 2016, Carotenoids functionality, sources, and processing by supercritical technology: A Review. *Journal of Chemistry*, 2016, 1–16. <https://doi.org/doi:10.1155/2016/3164312>.
- Nakata A, Rodrigues B, Meller L, da Cruz A. 2018. Drying and extraction of astaxanthin from pink shrimp waste (*Farfantepenaeus subtilis*): the applicability of spouted beds. *Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1590/fst.31316>.
- Oluwaseun R, Chinonso I, 2021, Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*. 4: 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>.
- Portillo-López R, Morales-Contreras B, Lozano-Guzmán E, Basilio-Heredía J, Muy-Rangel M, Ochoa-Martínez L, Rosas-Flores W, Morales-Castro J, 2021, Vegetable oils as green solvents for carotenoid extraction from pumpkin (*Cucurbita argyrosperma* Huber) byproducts: Optimization of extraction parameters. *Food Science*. 86(7). 3122-3136.
- Purohit A, Gogate P, 2015, Ultrasound-assisted extraction of β -carotene from waste carrot residue: Effect of operating parameters and type of ultrasonic irradiation. *Separation Science and Technology*. 50, 1507–517. <https://doi.org/10.1080/01496395.2014.978472>.
- Rodríguez M, Lorenzo M, Chiavano E, 2017, *Edible oils: Extraction, processing, and applications*. Chapter 1 Production of vegetable oils from fruits, oil seeds, and beans: Conventional processing and industry techniques. Taylor & Francis Group. Edited by Smain Chemat. Pp: 1–34.

Roselló-Soto E, Barba F, Parniakov O, Galanakis C, Lebovka N, Grimi N, Vorobiev E, 2014, High Voltage electrical discharges, pulsed electric field, and ultrasound assisted extraction of protein and phenolic compounds from olive kernel. *Food and Bioprocess Technology* 8(4), 885–894. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1456-x>.

Rosignol-Castera A, 2010, Methods for extracting non-volatile compounds. *International Patent* WO2010112760A1.

Sadeghi A, Hakimzadeh V, Karimifar B, 2017, Microwave assisted extraction of bioactive compounds from food: a review. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*. 7(1), 19-27.

Soquetta M, Terra L, Bastos C, 2018, Green technologies for the extraction of bioactive compounds in fruits and vegetables. *CyTA. Journal of Food*. 16(1),400-412. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1411978>

Sun M, Temelli F, 2006, Supercritical carbon dioxide extraction of carotenoids from carrot using canola oil as a continuous co-solvent. *The Journal of Supercritical Fluids*. 37(3), 397–408. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2006.01.008>.

Tanzi C, Vian M, Ginies C, Elmaataoui M, Chemat F, 2012, Terpenes as green solvents for extraction of oil from microalgae. *Molecules*. 17:8196–8205. <https://doi.org/10.3390/molecules17078196>.

Teramukai K, Kakui S, Beppu F, Hosokawa M, Miyashita K, 2020, Effective extraction of carotenoids from brown seaweeds and vegetable leaves with edible oils. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 60, 102302. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102302>.

Vasapallo G, Longo L, Rescio L, Ciurlia L, 2004, Innovative supercritical CO₂ extraction of lycopene from tomato in the presence of vegetable oil as co-solvent. *J. Supercrit. Fluids*. 29, 87–96. [https://doi.org/10.1016/S0896-8446\(03\)00039-1](https://doi.org/10.1016/S0896-8446(03)00039-1).

Yara-Varón E, Li Y, Balcels M, Canela-Garayoa R, Fabiano-Tixier A, Chemat F, 2017, Vegetable oils as alternative solvents for green oleo-extraction, purification and formulation of food and natural products. *Molecules*, 22(9), 1474. <https://doi.org/10.3390/molecules22091474>.

Yousefi M, Nasrabadi M, Pourmortazavi S, Wysokowski M, Jesionowski T, Ehrlich H, Mirsadeghi S, 2019, Supercritical fluid extraction of essential oils. *Trends in Analytical Chemistry*. 118, 182-193. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.038>

Zhong, Y, Shahidi F, 2011, Antioxidant behavior in bulk oil: Limitations of polar paradox theory. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60(1), 4–6. <https://doi.org/10.1021/jf204165g>.

Recibido: 3 de junio de 2021

Aceptado: 29 de octubre de 2021

Wilmer Moreno. Ingeniero de Alimentos, Magister en Biotecnología Alimentaria, Doctorante en el Programa de Química Tecnológica, Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Carabobo, con más de 5 años en investigación. Docente Instructor bajo la dedicación Exclusiva de la Universidad Nacional Experimental “Simón Rodríguez.

<https://orcid.org/0000-0001-8778-7800>

Ingrid Velásquez. Ingeniero de Alimentos, Magister en Estadística, Dra. en Ingeniería. Profesora titular Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, con más de 15 años en investigación. Consultor industrial en el área de alimentos, diseño estadístico de experimentos, fenómenos interfaciales con aplicados en productos agroalimentarios, hidrocoloides, cosmética, y petróleo. Correo electrónico: ingvelasn@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5522-0161>

Nancy Salinas. Licenciada en Química, Dra. en Ciencias Agrícolas y Alimentarias. Prof. Titular (Jubilado) del Departamento de Química de la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Carabobo. Con más de 25 años en el área de investigación., Consultora Industrial en aceites y grasas. Asistente Técnico de Laboratorios AMQUIM. Correo electrónico: salinastrejo@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1988-9674>

