

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

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

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/2021.43.01.05>

Resumen

Los disolventes alternativos ideales deben tener una alta solubilidad, puntos de inflamación elevados, baja toxicidad y no deben acarrear problemas ambientales. La decisión sobre el disolvente ideal siempre será un compromiso en función del proceso, la disponibilidad de recursos y las moléculas objetivo. Una alternativa viable es el uso de aceites vegetales, los cuales pertenecen a los disolventes de base biológica. Esta revisión muestra el potencial de los aceites vegetales como disolventes ecológicos alternativos en la extracción de compuestos naturales, en particular compuestos fenólicos, antioxidantes, pigmentos y otros metabolitos.

Palabras clave: Aceites vegetales, disolventes verdes, ácidos grasos.

Abstract

Ideal alternative solvents should have high solubility, high flash points, low toxicity and should not cause environmental problems. The decision on the ideal solvent will always be a compromise depending on the process, resource availability and target molecules. A viable alternative is the use of vegetable oils, which belong to the bio-based solvents. This review shows the potential of vegetable oils as alternative bio-based solvents in the extraction of natural compounds, in particular phenolic compounds, antioxidants, pigments and other metabolites.

Keywords: Vegetable oils, green solvents, fatty acids.

1. Introducción

Los aceites vegetales son una clase de sustancias en la industria química, que tienen aplicaciones versátiles. Su aprovechamiento como disolventes, cosolventes o como materias primas para compuestos derivados es valioso en el campo de la Química Verde. Desde el punto de vista económico, son de fácil adquisición y de bajo coste. Desde el punto de vista de la bioseguridad, son sustancias no tóxicas y seguras de utilizar en procesos de pequeña y gran escala. Su uso como disolvente está ganando más atención en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria, estos se han empleado en la formulación de sistemas de administración de fármacos (Cheikhoussef y col., 2021).

La extracción de compuestos activos se realiza comúnmente por técnicas convencionales como la maceración, hidrodestilación, soxhlet y reflujo (Soquetta

y col., 2018). Sin embargo, en la mayoría de los casos, las altas temperaturas y tiempos de extracción pueden degradar dichos compuestos, lo que limita el uso de estas técnicas (Wu y col., 2015). Por otra parte, algunas técnicas convencionales conllevan al uso de disolventes orgánicos, lo que ha suscitado una gran preocupación en cuanto salud pública, seguridad y el medio ambiente, debido a que la mayoría de estos disolventes proceden de la industria petroquímica y producen compuestos volátiles tóxicos (Yara y col., 2017). Por tal razón, se ha generado mucho interés en el desarrollo de nuevas alternativas ecológicas a los disolventes orgánicos petroquímicos. El término "verde" se utiliza para describir estos disolventes ideales; partiendo de la premisa que estas alternativas no deben emitir compuestos orgánicos volátiles, ser de baja toxicidad y no causar un impacto negativo sobre el medio ambiente (Yara y col., 2017), además, que reduzcan el

consumo de energía y garanticen un extracto/producto seguro y de alta calidad (Chemat y col., 2012),

La tecnología de extracción verde necesita encontrar disolventes que puedan sustituir a los disolventes orgánicos tóxicos tradicionales, por lo cual, se han propuesto realizar extracciones utilizando disolventes como el agua, fluidos supercríticos con CO₂, agrosolventes, líquidos iónicos (Chemat y col., 2012), al igual que la inclusión de técnicas innovadoras como microondas, ultrasonido, disolvente eutéctico (Panzella y col., 2020). Estos métodos de extracción ecológicos no utilizan disolventes orgánicos tóxicos, o bien requieren una cantidad reducida del mismo y, por tanto, los compuestos extraídos están libres de ellos (Rodríguez - Pérez y col., 2015).

En este sentido, los aceites comestibles pueden ser considerados disolventes "verdes" para la extracción de compuestos. Éstas sustancias no polares tienen la ventaja de ser no tóxicas, no volátiles y no irritantes, donde, los micronutrientes endógenos, como los fosfolípidos, los esteroides, los monoglicéridos y los diglicéridos, no son un impedimento para las aplicaciones alimentarias, cosméticas o nutracéuticas (Yara y col., 2017). Por otra parte, la estabilidad de los compuestos extraídos no se ve afectada (Tiwari 2015).

Esta investigación tiene la finalidad de mostrar una visión general sobre el uso de los aceites vegetales como solventes para la extracción de compuestos, sus ventajas y aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica o cosmética.

2. Generalidades sobre los aceites vegetales

Los aceites vegetales son sistemas lipofílicos no polares cuya composición varía considerablemente según su origen, calidad y métodos de obtención. Hoy en día, los aceites vegetales desempeñan un papel importante en nuestra dieta diaria, consumidos directamente en sus formas refinadas o vírgenes, o a través de muchos productos industriales alimentarios. Estos productos oleosos también pueden utilizarse como ingredientes o componentes en muchos otros campos, como los cosméticos, los nutracéuticos, las pinturas, los lubricantes y el biodiesel (Yara y col., 2017). Son comúnmente utilizados como solventes en la industria farmacéutica (Cheikhoussef y col., 2021) y pueden aplicarse al campo de la extracción de bioactivos, a partir de fuentes naturales, que son muy difíciles de extraer o se destruyen durante la extracción a largo plazo (Li y col., 2014). Los aceites vegetales son una clase especial de materias primas renovables y de base para la nueva química verde (Menges y col., 2013).

Los aceites son líquidos grasos extraídos de las plantas y la mayoría de ellos provienen de las semillas o granos, así como del endospermo de frutas (Rodríguez y col.,

2017). Los principales mercados mundiales de aceites vegetales son el aceite de coco, el aceite de semilla de algodón, el aceite de oliva, el aceite de palma, el aceite de cacahuete, aceite de colza, aceite de soja y aceite de girasol. En conjunto, representan un suministro de aceite vegetal de más de 200 millones de toneladas métricas (MTM) al año. Dos aceites vegetales, el de soja y el de palma, representan aproximadamente el 63 % del total de la producción mundial. En el período 2018/2019, se produjeron más de 73 MTM de aceite de palma a nivel mundial. El mayor productor fue Indonesia, con un 56,2 % de la producción mundial. Malasia ocupó el segundo lugar (28,2 %), seguida de Tailandia (3,9 %), Colombia (2,2 %) y Nigeria (1,4 %). El resto de los países productores representaron (8,2%) (USDA 2020).

Los aceites vegetales crudos son principalmente triacilglicerol (alrededor del 95%) junto con algunos ácidos grasos libres, monoacilglicerol y diacilglicerol. También contienen cantidades variables de otros componentes, como fosfolípidos, esteroides libres y esterificados, alcoholes triterpénicos, tocoferoles y tocotrienoles, carotenos, clorofilas y otros colorantes, e hidrocarburos, así como trazas de metales, productos de oxidación, entre otros (Gómez – Coca y col., 2015) (Figura 1).

Los compuestos menores están ampliamente relacionados con la identidad de la grasa y el aceite y normalmente se encuentran en la materia insaponificable (Gómez-Coca y col., 2015). El componente no glicérido o insaponificable varía de un aceite a otro, como se muestra en Tabla 1. En la mayoría de los aceites constituye el 1% o menos, pero en algunos aceites puede oscilar entre el 2% y el 8% (Rao 2001).

Los triglicéridos son el resultado de la unión de tres ácidos grasos con glicerol (Smith 2019) (Figura 2). Las propiedades fisicoquímicas y de disolución de los triglicéridos como componentes principales están fuertemente influenciadas por el tipo, la proporción, la configuración y la posición de los tres ácidos grasos esterificados a la espina dorsal de glicerol, que cambia en función de la variedad, el cultivo y las condiciones edafoclimáticas (Li y col., 2014; Kamatou y col., 2017; Herculano y col., 2020).

Dependiendo de la fuente del triglicérido, el grupo R representa un hidrocarburo de cadena larga que puede ser saturado o insaturado. Los ácidos grasos saturados (Figura 3a) tienen una cadena de carbono compuesto sólo por enlaces simples, mientras que los ácidos insaturados tienen uno o más dobles enlaces en las cadenas de carbono (mono y poliinsaturados, respectivamente) (Figuras 3b). Normalmente, los aceites vegetales contienen más ácidos grasos insaturados que saturados (Douvartzides y col., 2019).

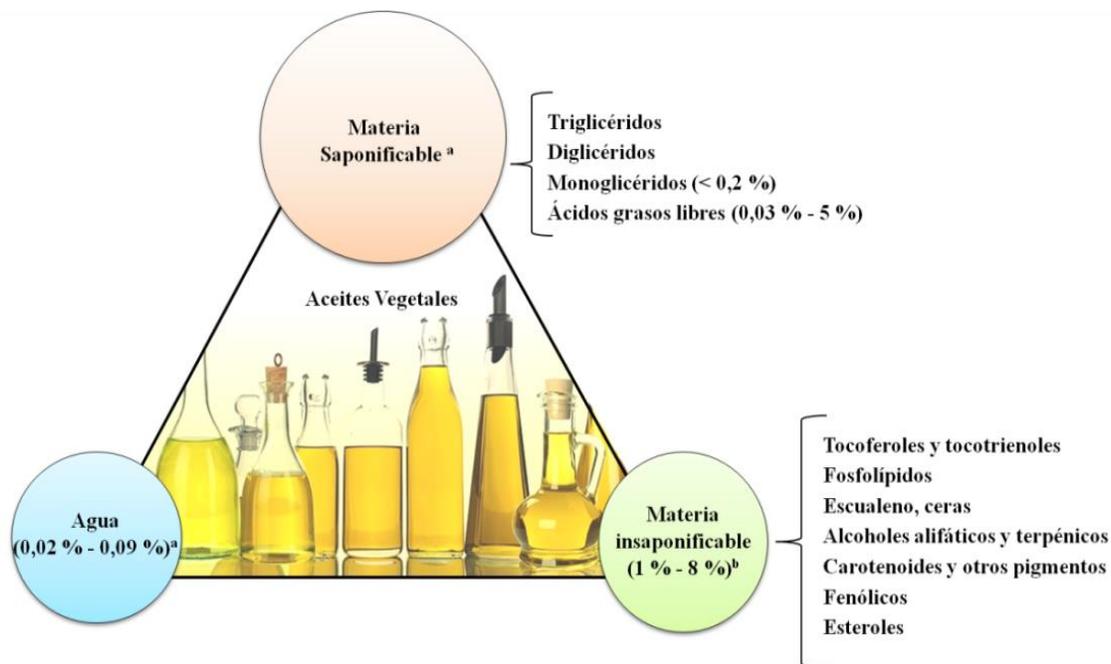


Fig. 1. Componentes de los aceites vegetales.

Nota: a: Datos tomados de Li y col., (2017); b: datos tomados de Rao (2001).

Tabla 1. Fracción insaponificable en diferentes aceites vegetales

Fracción insaponificable baja (<1,3 %)		Fracción insaponificable alta (1,5 % - 5,0 %)	
Aceite	%	Aceite	%
Coco	1,2	Salvado de arroz	4,1
Semilla de algodón	1,5	Sésamo	2,0
Palma	1,2	Oliva	2,5
Palmiste	0,8	Mostaza	2,0
Girasol	1,3	Soja	1,6
Semillas de lino	1,7	Maíz	2,8
Cártamo	1,3	Cacahuete	1,8

Adaptado de Rao (2001).

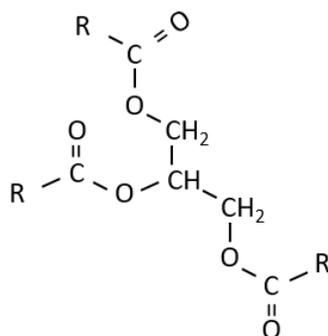


Fig. 2. Estructura del triglicérido. R se refiere a un grupo alquilo graso. (Smith 2019).

Linolénico	$H_3C-(CH_2-CH=CH)_3-(CH_2)_7-COOH$	C18:3	-11	230-232
------------	-------------------------------------	-------	-----	---------

^aCa:x: a=número de carbono; x=número de dobles enlaces. Datos tomados de Karak (2012)

Los ácidos grasos contribuyen cerca del 94-96% del peso total de una molécula de triglicéridos. Comúnmente, en los triglicéridos hay dos o tres ácidos grasos diferentes y sus propiedades químicas y termofísicas dependen de la composición de los ácidos grasos (Gunstone 2011; Abramovic y col., 2005). Con sólo dos ácidos grasos, como el palmítico y el oleico, un aceite puede contener seis triglicéridos diferentes. No es habitual que los triglicéridos naturales tengan sólo un tipo de ácido graso a menos que un solo ácido graso supere el 70 %, por ejemplo, el aceite de oliva y otros aceites de alto contenido oleico (Dabi y col., 2019) (Figura 4).

La presencia de un elevado número de ácidos grasos (Aksoy y col., 2014), así como las múltiples posibilidades de su combinación con el glicerol, hacen que los aceites vegetales sean mezclas muy complejas con estructuras y propiedades significativamente diferentes. De hecho, cada

aceite vegetal se caracteriza por su propia composición de ácidos grasos (Hoffmann 2015) (Tablas 3 y 4). Algunas de las propiedades de los aceites vegetales, como los puntos de fusión o ebullición dependen de la proporción de ácidos grasos saturados e insaturados (Karak 2012) (Tabla 2). En general, el punto de fusión disminuye al aumentar el grado de insaturación. La presencia de insaturación en los aceites vegetales explica su gran biodegradabilidad (Rafiq y col., 2015).

Dependiendo del uso, los aceites vegetales crudos pueden ser refinados. Esto implica la eliminación de compuestos indeseables como fosfolípidos, ácidos grasos libres, monoglicéridos y diglicéridos, pigmentos, trazas de metales, productos de oxidación, entre otros contaminantes ambientales mediante la filtración, desgomado, neutralización, blanqueo y desodorización (Gunstone 2011).

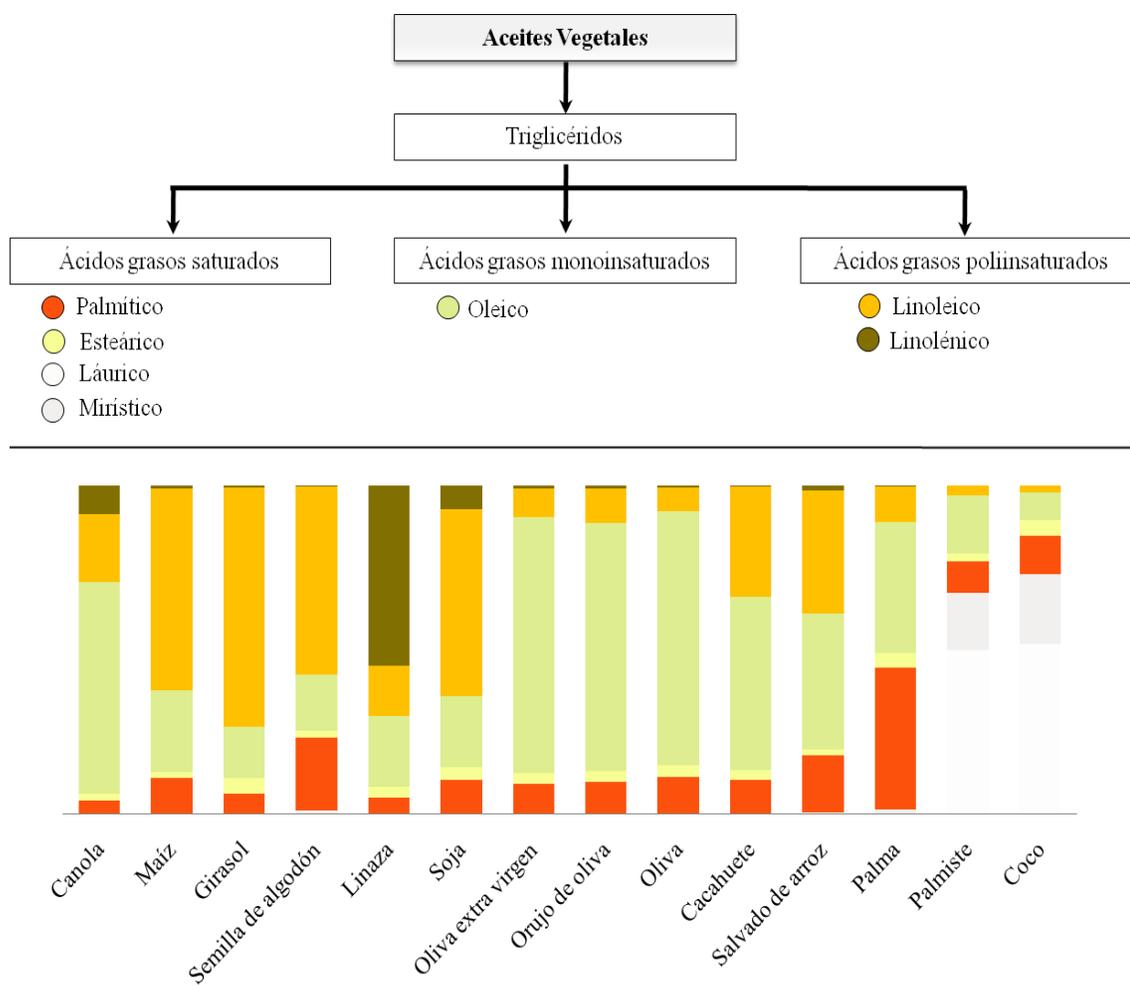


Fig. 4. Principales componentes en los aceites vegetales. Adaptado de Yara y col., (2017)**Tabla 3.** Composición de ácidos grasos saturados de los aceites vegetales (%)

Aceite	Ácido graso saturado*										Total
	C _{8:0}	C _{10:0}	C _{12:0}	C _{14:0}	C _{16:0}	C _{17:0}	C _{18:0}	C _{20:0}	C _{22:0}	C _{24:0}	
Canola	-	-	-	0,06	3,75	0,04	1,87	0,64	0,35	0,27	6,98
Maíz	-	-	-	-	10,47	0,08	2,02	0,39	0,76	0,15	13,87
Girasol	-	-	-	0,06	5,70	0,04	4,79	0,30	1,16	0,31	12,36
Semilla de algodón	-	-	-	0,77	21,87	0,08	2,27	0,26	0,36	0,12	25,73
Linaza	-	-	-	0,05	4,81	0,05	3,03	0,20	-	0,01	8,15
Soja	-	-	-	0,06	9,90	0,10	3,94	0,41	0,48	0,21	15,10
Oliva extra virgen	-	-	-	-	8,70	0,17	3,47	0,46	0,13	0,05	12,98
Orujo de oliva	-	-	-	0,02	9,31	0,09	3,20	0,55	0,25	0,11	13,53
Oliva	-	-	-	-	10,84	0,14	3,59	0,50	0,15	0,06	15,28
Cacahuete	-	-	-	0,03	9,40	0,12	2,65	1,38	4,14	1,66	18,38
Salvado de arroz	-	-	-	0,21	16,90	-	1,78	0,61	0,77	0,41	20,68
Palma	-	-	-	1,12	42,70	0,11	4,55	0,39	0,58	0,06	49,45
Palmiste	3,43	3,23	46,14	16,17	8,65	-	2,27	0,15	-	0,30	80,34
Coco	6,38	5,56	45,46	18,82	10,08	-	4,31	0,08	-	-	90,69

*: C_{8:0} = caprílico; C_{10:0} = cáprico; C_{12:0} = láurico; C_{14:0} = mirístico; C_{16:0} = palmítico; C_{17:0} = margárico; C_{18:0} = esteárico; C_{20:0} = araquídico; C_{22:0} = behénico; C_{24:0} = lignocérico. Adaptado de Zambiasi y col., (2007).

Tabla 4. Composición de ácidos grasos insaturados de los aceites vegetales (%)

Aceite	Ácido graso insaturado*											AGPI
	C _{16:1}	C _{17:1}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{20:1}	C _{20:2}	C _{22:1}	C _{22:2}	C _{24:1}	AGMI	
Canola	0,21	-	62,41	20,12	8,37	1,54	0,11	-	-	0,26	64,42	28,60
Maíz	-	0,05	24,23	60,38	0,99	0,28	-	-	-	0,20	24,76	61,37
Girasol	-	0,06	15,26	71,17	0,45	0,22	0,09	-	-	0,39	15,93	71,71
Semilla de algodón	0,47	0,11	16,61	56,35	0,33	0,14	0,10	-	-	0,16	17,49	56,78
Linaza	-	0,12	21,42	15,18	54,24	0,40	0,39	-	-	0,10	22,04	69,81
Soja	0,08	0,08	21,35	56,02	7,15	0,22	-	-	-	-	21,73	63,17
Oliva extra virgen	0,51	0,25	76,34	8,64	0,75	0,34	-	-	0,19	-	77,44	9,58
Orujo de oliva	0,73	0,14	74,00	10,33	0,77	0,40	-	-	-	0,10	75,37	11,10
Oliva	0,92	0,21	75,55	7,01	0,66	0,32	-	-	0,05	-	77,00	7,72
Cacahuete	0,06	0,01	48,71	31,06	0,23	1,43	-	0,12	-	-	50,33	31,29
Salvado de arroz	-	-	40,50	36,20	1,60	0,53	0,11	-	-	0,38	41,41	37,91
Palma	-	0,06	39,37	10,62	0,21	0,17	-	-	-	0,06	39,66	10,83
Palmiste	-	-	16,46	2,76	-	0,17	-	-	-	0,27	16,90	2,76
Coco	-	-	7,45	1,80	-	0,06	-	-	-	-	7,51	1,80

*: C_{16:1} = palmitoleico; C_{17:1} = miristoleico; C_{18:1} = oleico; C_{18:2} = linoleico; C_{18:3} = linoléico; C_{20:1} = gadoleico; C_{20:2} = eicosadienoico; C_{22:1} = erúico; C_{22:2} = docosadienoico; C_{24:1} = nervónico. Adaptado de Zambiasi y col., (2007).

3. Aceites vegetales como disolventes “verdes”

Un disolvente se define como "un líquido que tiene la propiedad de disolver, diluir o extraer otros materiales sin provocar una modificación química de estas sustancias o de sí mismo. Los disolventes son capaces de implementar, aplicar, limpiar o separar productos" (Fréville 2011). Estos compuestos desempeñan un papel importante en un gran número de operaciones unitarias en química e ingeniería química (Chemat y col., 2014). De hecho, hoy en día no

existe ningún proceso de producción en las industrias de perfumería, cosmética, farmacéutica, de ingredientes alimentarios, nutracéutica, de biocombustibles o de química fina que no incluya una etapa de disolución (Chemat y col., 2019).

Los disolventes convencionales incluyen alifáticos, aromáticos, hidrocarburos halogenados, terpenos, alcoholes, ésteres, cetonas y éteres de glicol, los cuales representan alrededor del 20 % de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) lo que genera un

problema medioambiental importante debido a su contribución a la acumulación de ozono troposférico mediante reacciones fotoquímicas en la atmósfera. Por tanto, desempeñan un papel indirecto en el efecto invernadero (Bergez y col., 2014).

Por tal razón, un disolvente alternativo ideal debe cumplir los siguientes requisitos (a) no emitir COV; (b) ser de baja toxicidad para los seres humanos; (c) tener un impacto limitado en el medio ambiente (ser ecológico); (d) obtenerse a partir de recursos renovables; (e) tener un alto poder de disolución; (f) ser fácil de recuperar; y (g) no cambiar significativamente la configuración del proceso (Yara y col., 2017).

Existen siete clases de disolventes considerados como "verdes" (Kerton y col., 2013) entre los que se incluyen (1) disolventes de base biológica (procedentes de recursos renovables), (2) ecológicos (buen perfil HSE, siglas en inglés de Health, Safety and Environment (Salud, Seguridad y Medio Ambiente)), (3) agua (renovable y no tóxica), (4) polímeros líquidos (no volátiles, biocompatibles, no tóxicos), (5) disolventes fluorados (no inflamables y no tóxicos), (6) líquidos iónicos/mezclas eutécticas (no volátiles, térmicamente estables, sales de imidazolio, acetato de colina) y (7) fluidos supercrítico (CO₂, inertes, reciclables, no inflamables y no tóxicos). Cabe señalar que la ecología de algunos disolventes es cuestionable en cuanto a su toxicidad (por ejemplo, los líquidos iónicos) o biodegradabilidad (disolventes fluorados y siliconas) (Moity y col., 2014).

Los oleoproteaginosos permiten producir disolventes a partir de semillas ricas en aceites vegetales, como la colza, el girasol y la soja. Las principales biomoléculas obtenidas son ésteres de ácidos grasos y derivados del glicerol. Los disolventes biológicos obtenidos del sector maderero se producen principalmente a partir de coníferas como los pinos o los frutales (Tanzi y col., 2012). En este contexto, los aceites vegetales utilizados como disolventes pertenecen a la clase de disolventes de base biológica, que tienen la ventaja de ofrecer un impacto ecológico positivo (Moity y col., 2014). Adicionalmente, se consideran disolventes verdes en los procesos de extracción de compuestos relevantes para la industria de alimentos debido a su no toxicidad, donde se producen extractos no desnaturalizados con una mínima contaminación (Goula 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 ayudaría a aumentar el rendimiento de extracción.

Los aceites vegetales han logrado altos rendimientos de extracción de carotenoides en condiciones óptimas sin pérdida o degradación de éstos ni cambios en los perfiles de ácidos grasos del aceite (Sachindra y col., 2005; Rao y col., 2007; Handayani y col., 2008; Pu y col., 2010). Los rendimientos generalmente se incrementan con el aumento del tiempo y la temperatura de extracción. Sin embargo, la temperatura más alta y el tiempo más largo para la extracción pueden inducir su degradación. Esto fue demostrado por Sachindra y col., (2005) quienes observaron que el aumento de la temperatura de extracción por encima de los 70 °C dio lugar a una disminución del rendimiento de carotenoides a partir de residuos de camarones. En cuanto al uso del aceite, el mayor rendimiento se obtuvo mediante la extracción con aceite de girasol refinado (26.3 ± 2.31 µg/g. residuos) en comparación con el aceite de nuez (23.1 ± 1.56 µg/g. residuos), el aceite de gingela (23.9 ± 1.32 µg/g. residuos), el aceite de mostaza (16.1 ± 1.85 µg/g. residuos), el aceite de soja, (24.8 ± 1.51 µg/g. residuos), el aceite de coco (24.7 ± 2.42 µg/g. residuos) y el aceite de salvado de arroz (24.3 ± 1.59 µg/g. residuos). No obstante, el rendimiento de extracción de carotenoides en el aceite de soja, el aceite de coco y el aceite de salvado de arroz fue similar.

Otros estudios también han demostrado las propiedades disolventes de los aceites vegetales para la extracción de bioactivos a partir de subproductos de camarones (Parjokolaei y col., 2015; Hooshmand y col., 2017; Nakata y col., 2018; El-Bialy y col., 2020), zanahorias frescas (Galhardo y col., 2021), polen de abeja (Salazar y col., 2019). Parjokolaei y col., (2015) demostraron que los ésteres metílicos de aceite de girasol son más eficientes que el aceite de girasol para la extracción de astaxantina a partir de los residuos del procesamiento de camarones. La diferencia se debe a la menor viscosidad de los ésteres metílicos que el aceite de girasol.

El uso de aceites vegetales comestibles como disolventes, también ha sido considerado en la extracción de compuestos aromáticos volátiles (CAV), debido a sus excelentes propiedades de extractabilidad de dichos compuestos (Nevado y col., 2012; Li y col., 2014; Sousa y col., 2014; Karoui y col., 2016; Heinrich y col., 2017). La selectividad de los aceites vegetales depende de sus tipos y componentes internos. En el caso de la extracción de compuestos aromáticos principales de la albahaca, es decir, linalol, estragol, eucaliptol, trans-anetol y limoneno, se han empleado aceites como girasol y oliva refinados y vírgenes, colza, semilla de uva, coco, jojoba, aguacate y maní, donde el aceite de girasol refinado es el disolvente oleoso óptimo y alternativo al diclorometano, por lo cual, el rendimiento de extracción de los compuestos fenólicos totales está más relacionado con el tipo de aceite vegetal y los compuestos menores anfílicos endógenos que con el

grado de poliinsaturación de los triglicéridos del aceite vegetal (Li, y col., 2014).

4. Conclusiones

Los aceites vegetales como disolventes alternativos para la extracción y formulación de productos naturales presentan grandes ventajas frente a otros disolventes comúnmente utilizados. Las características fisicoquímicas y potencialidades de estos, al igual que su disponibilidad a nivel mundial, biodegradabilidad, bajo coste (menor consumo de energía y disolventes, entre otros) y su baja ecotoxicidad y toxicidad para el ser humano lo convierten en una alternativa viable a los solventes orgánicos. Sin lugar a dudas, estos elementos lo hacen un excelente biorecurso para el desarrollo de productos de valor agregado, por ejemplo, la preparación de aceites enriquecidos con compuestos bioactivos de media o alta polaridad. Adicionalmente, estos solventes pueden combinarse con técnicas de extracción ecológicas (por ejemplo, ultrasonidos, microondas, fluidos supercríticos, entre otras) para la extracción de diferentes compuestos bioactivos, con altos rendimientos, contribuyendo así, al desarrollo de la química verde y la producción sostenible en las industrias alimentaria, nutracéutica y cosmética.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

Referencias

- Abramovic H, Abram V, 2005, Physico-chemical properties, composition and oxidative stability of Camelina sativa oil. *Food Technol. Biotechnol.* 43, 63–70.
- Aksoy A, Yabanova I, Bayrakçeken H, Aksoy L, 2014, Estimating the dynamic viscosity of vegetable oils using artificial neural networks. *Energy Sources Part Recovery Util, Environ.* 36, 858–865. <https://doi.org/10.1080/15567036.2010.547921>.
- Bergez-Lacoste M, Thiebaud-Roux S, De Caro P, Fabre, J, Gerbaud V, Mouloungui Z, 2014, From chemical platform molecules to new biosolvents: Design engineering as a substitution methodology. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining.* 8(3), 438–451. <https://doi.org/10.1002/bbb.1480>.
- Cheikhoussef N, Cheikhoussef A, 2021, Green sustainable process for chemical and environmental engineering and science. Chapter 1: Vegetable oils as green solvents in the pharmaceutical industry. *Solvents for the Pharmaceutical Industry.* Pp. 1-11.
- Chemat F, Vian M, Cravotto G, 2012, Green extraction of natural products: Concept and principles. *International Journal of Molecular Sciences,* 13(7), 8615–8627. <https://doi.org/10.3390/ijms13078615>.
- Chemat F, Vian M, 2014, *Alternative solvents for natural products extraction*; Springer: Heidelberg, Germany. pp. v–vi, ISBN 978-3-662-43627-1.
- Chemat F, Vian M, Ravi H, Khadhraoui B, Hilali S, Perino S, Fabiano-Tixier A, 2019, Review of alternative solvents for green extraction of food and natural products: Panorama, principles, applications and prospects. *Molecules.* 24(16), 3007. <https://doi.org/10.3390/molecules24163007>.
- Dabi M, Saha U, 2019, Application potential of vegetable oils as alternative to diesel fuels in compression ignition engines: A review. *Journal of the Energy Institute.* 92 (6): 1710–1726. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2019.01.003>.
- Douvartzides S, Charisiou N, Papageridis K, Goula M, 2019, Green diesel: Biomass feedstocks, production technologies, catalytic research, fuel properties and performance in compression Ignition Internal Combustion Engines. *Energies.* 12(5), 809. <https://doi.org/10.3390/en12050809>.
- El-Bialy H, Abd El-Khalek, 2020, A comparative study on astaxanthin recovery from shrimp wastes using lactic fermentation and green solvents: An applied model on minced tilapia. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences.* 13(1), 609–620. <https://doi.org/10.1080/16878507.2020.1789388>.
- 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>.
- Fréville V, 2011, *Caractérisation et evaluation des performances de nouveaux solvants synthétisés à partir d'agroressources*; Université de Technologie de Compiègne: Compiègne, France.
- Gómez-Coca R, Pérez-Camino M, Moreda W, 2015, Analysis of neutral lipids: Unsaponifiable. in Nollat L, Toldrá F, (Eds) *Handbook of Food Analysis*, 3rd ed. CRC Press: Boca Raton, 459–491.
- 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.ultrasonch.2016.07.022>.
- Gunstone D, 2011, *Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses*, John Wiley & Sons. Blackwell Publishing.
- Handayani A, Sutrisno, Indraswati N, Ismadji S, 2008, Extraction of astaxanthin from giant tiger (*Panaeus monodon*) shrimp waste using palm oil: Studies of extraction kinetics and thermodynamic. *Bioresour. Technol.* 99, 4414–4419. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.028>.
- Heinrich M, Vikuk V, Daniels R, Stintzing F, Kammerer D, 2017, Characterization of *Hypericum perforatum* L. (St. John's wort) macerates prepared with different fatty oils upon processing and storage. *Phytochemistry Letters.* 20, 470–480. <http://dx.doi.org/10.1016/j.phytol.2017.01.004>.

- Herculano L, Lukaszewicz G, Sehn E, Torquato A, Belançon M, Savi E, Astrath, N, 2020, The correlation of physicochemical properties of edible vegetable oils by chemometric analysis of spectroscopic data. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 245, 118877. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118877>.
- Herrera-Pool E, Ramos-Díaz A, Lizardi-Jiménez M, Pech-Cohuo S, Ayora-Talavera T, Cuevas-Bernardino J, García-Cruz U, Pacheco N, 2021, Effect of solvent polarity on the ultrasound assisted extraction and antioxidant activity of phenolic compounds from habanero pepper leaves (*Capsicum chinense*) and its identification by UPLC-PDA-ESI-MS/MS. *Ultrasonics Sonochemistry*. Volume 76. 105658. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105658>.
- Hoffmann J, 2015, Thermal energy storage system with natural or recycled materials for concentrating solar power plant, Doctoral Thesis, University of Perpignan Via Domitia.
- Hooshmand H, Shabanpour B, Moosavi-Nasab M, Golmakani M, 2017, Optimization of carotenoids extraction from blue crab (*Portunus pelagicus*) and shrimp (*Penaeus semisulcatus*) wastes using organic solvents and vegetable oils. *Journal of Food Processing and Preservation* 41(5) e13171. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13171>.
- 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 *Bucidabuceras L.* and *Phoradendron californicum*. *BMC Research Notes*. 8(1).10.1186/s13104-015-1388-1.
- Karak N, 2012, Vegetable oil-based polymers: Properties, processing and applications. 1st. Edition. Woodhead Publishing Limited.
- Kamatou G, Viljoen A, 2017, Comparison of fatty acid methyl esters of palm and palmist oils determined by GCxGC-ToF-MS and GC-MS/FID. *South African Journal of Botany*. 112, 483–488. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.06.032>.
- Karoui I, Msaada K, Abderrabba M, Marzouk B, 2016, Bioactive compounds and antioxidant activities of thyme-enriched refined corn oil. *J. Agric. Sci. Technol.* 18, 79–91.
- Kerton F, Mariotte R, 2013, Alternative solvents for green chemistry, 2nd ed.; Royal Society of Chemistry: Croydon, UK, pp. 1–325. ISBN: 978-1-84973-595-7.
- 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, 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., Bundeessomchok, K., Rakotomanana, 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>.
- Moity L, Durand M, Benazzouz A, Molinier V, Aubry J, 2014, In silico search for alternative green solvents. In *Alternative solvents for natural products extraction*; Chemat F, Vian M, Eds. Springer: Heidelberg/Germany, Germany. pp. 1–24, ISBN 978-3-662-43627-1.
- Menges N, Şahin E, 2013, Metal and base-free combinatorial reaction for C-acylation of 1,3-diketo compounds in vegetable oil: The effect of natural oil. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2(2), 226–230. <https://doi.org/10.1021/sc400281h>.
- 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, Martínez J, Maraschin M, Ferreira S, 2013, pink shrimp (*P. brasiliensis* and *P. paulensis*) residue: Supercritical fluid extraction of carotenoid fraction. *The Journal of Supercritical Fluids*. 74, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.11.020>.
- 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>.
- Nevado J, Robledo V, Callado C, 2012, Monitoring the enrichment of virgin olive oil with natural antioxidants by using a new capillary electrophoresis method. *Food Chemistry*. 133(2), 497–504. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.013>.
- Oluwaseun R, Nour A, Chinonso U, 2021, Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*. 4: 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2021.03.011>.
- Parjikolaei B, El-Houri R, Fretté X, Christensen K, 2015, Influence of green solvent extraction on carotenoid yield from shrimp (*Pandalus borealis*) processing waste. *J. Food Eng.* 155, 22-28. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.01.009>.
- Pu J, Bechtel P, Sathivel S, 2010, Extraction of shrimp astaxanthin with flaxseed oil: Effects on lipid oxidation and astaxanthin degradation rates. *Biosystems*

- Engineering. 107, 364–371. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.10.001>.
- Rafiq M, Lv Y, Zhou Y, Ma K, Wang W, Li C, Wang Q, 2015, Use of vegetable oils as transformer oils – a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 52, 308–324. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.032>
- Rao B, 2001, Nonglyceride components of edible oils and Fats. 1. Chemistry and distribution. *Food and Nutrition Bulletin*, 22(1), 81–86. <https://doi.org/10.1177/156482650102200113>.
- Rao A, Sarada R, Ravishankar G, 2007, Stabilization of astaxanthin in edible oils and its use as an antioxidant. *J. Sci. Food Agric*. 87, 957–965. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2766>.
- Rodríguez-Pérez C, Quirantes-Piné R, Fernández-Gutiérrez A, Segura-Carretero A, 2015, Optimization of extraction method to obtain a phenolic compounds-rich extract from *Moringa oleifera* lam leaves. *Industrial Crops and Products*. 66, 246–254. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.002>.
- 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.
- Sachindra N, Mahendrakar N, 2005, Process optimization for extraction of carotenoids from shrimp waste with vegetable oils. *Bioresour. Technol*. 96, 1195–1200.
- Salazar-González C, Diaz-Moreno A, Fuenmayor C, 2019, Green extraction of carotenoids from bee pollen using sunflower oil: Evaluation of time and matrix-solvent ratio. *Chemical Engineering Transactions* 75:541–546. <https://doi.org/10.3303/CET1975091>.
- Scrimgeour C, 2005. Chemistry of fatty acids. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. <https://doi.org/10.1002/047167849x.bio005>.
- Smith G, 2019, Fatty acid, methyl ester, and vegetable oil ethoxylates. *biobased surfactants*. 287–301. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812705-6>.
- 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>.
- Sousa A, Casal S, Malheiro R, Lamas H, Bento A, Pereira J, 2015, Aromatized olive oils: Influence of flavouring in quality, composition, stability, antioxidants, and antiradical potential. *LWT - Food Science and Technology*. 60(1), 22–28 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.026>.
- Tanzi C, Vian M, Ginies C, Elmaataoui M, Chemat F, 2012, Terpenes as green solvents for extraction of oil from microalgae. *Molecul.es*. 17:8196–8205. <https://doi.org/10.3390/molecules17078196>
- Tiwari B, 2015, Ultrasound: A clean, green extraction technology. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 71, 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.04.013>.
- Wu C, Wang F, Liu J, Zou Y, Chen X, 2015. A comparison of volatile fractions obtained from *Lonicera macranthoides* via different extraction processes: Ultrasound, microwave, Soxhlet extraction, hydrodistillation, and cold maceration. *Integrative Medicine Research*. 4(3), 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2015.06.001>.
- Yara-Varón E, Li Y, Balcells 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>.
- Zambiasi R, Przybylski R, Zambiasi M, Mendonça C, 2007, Composição em ácidos graxos de óleos e gorduras vegetais. *Boletim Do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 25(1). <https://doi.org/10.5380/cep.v25i1.8399>.
- Zarli A, 2019, Chapter 6: Oleochemicals: all time players of green chemistry. *Catalysis, Green Chemistry and Sustainable Energy*. Edited by Angelo Basile, Gabriele Centi, Marcello De Falco, Gaetano Iaquaniello. Volume 17. 977–95.

Recibido: 3 de junio de 2021

Aceptado: 7 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>

