



Revisión bibliográfica sobre el problema ambiental y de salud generado por el aceite de cocina reutilizado: Opciones para su solución

Literature review on the environmental and health problem generated by reused cooking oil: Options for its solution

Alejandra Castro-González¹, Amelia Farrés-González-Sarabia^{2*}

¹ Laboratorio de Producción y Utilización de Biocombustibles (LAEL), Facultad de Ingeniería, UNAM, Ciudad Universitaria, CDMX, México. Correo electrónico: alcastro@unam.mx

² Laboratorio del Departamento de Alimentos y Biotecnología, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México. Teléfono: 5556225348. Correo electrónico: farrés@unam.mx

*Autora a quien debe dirigirse la correspondencia / *Author to whom correspondence should be addressed*

Recibido: Enero 15, 2024 / *Received: January 15, 2024*

Aceptado: Febrero 15, 2024 / *Accepted: February 15, 2024*

Resumen

La fritura, como técnica culinaria, está ampliamente difundida en muchas culturas. La fuente de aceite varía, destacando el uso de aceites de oliva, soya, maíz, canola, cártamo, ajonjolí, entre otros. El alto costo de este ingrediente, aunado a los problemas de disposición de sus residuos, llevan a los usuarios a reutilizarlos, provocando problemas en dos áreas principales: El ambiente y la salud. En el primer caso, se generan problemas de obstrucción de drenaje, contaminación de mantos acuíferos, alteración de la biosfera, riesgos de incendios, acumulación de sólidos grasos, entre otros. Los riesgos a la salud derivan de la formación de productos tóxicos durante la fritura, que se agudizan si ésta se repite o se lleva a cabo en malas condiciones. En esta investigación se describen las rutas y condiciones de formación de productos tóxicos, las recomendaciones para evitarlo y se presentan opciones para su disposición y reutilización. Se proponen la producción de biocombustibles, fabricación de jabones, fabricación de materiales de construcción, obtención de bioplásticos, entre otros. Se presenta un panorama de los puntos de generación y las opciones normativas para lograr su reducción.

Palabras clave: Aceite de fritura, opciones, reutilización

ABSTRACT

Frying, as a culinary technique, is widely spread in many cultures. The source of oil varies, highlighting the use of olive, soy, corn, canola, safflower, sesame oils, among others. The high cost of this ingredient, coupled with waste disposal problems, lead users to reuse them, causing problems in two main areas: The environment and health. In the first case, problems of drainage obstruction, contamination of aquifers, alteration of the microbiota, fire risks, accumulation of fatty solids, among others. The health risks arise from the formation of toxic products during frying, which worsen if it is repeated or carried out in poor conditions. This research describes the routes and conditions of formation of toxic products, the recommendations to avoid it and presents options for the disposal and reuse of these waste oils. The production of biofuels, soap manufacturing, construction materials manufacturing, obtaining bioplastics, among others, are proposed. An overview of the generation points and the regulatory options to achieve their reduction is presented.

Keywords: Frying oil, options, reuse

Introducción

La fritura de los alimentos es una técnica culinaria antigua, originada en Egipto, referida en algunos textos bíblicos y popularizada a partir de la edad media (Morton, 1998) aunque en las culturas orientales también es ampliamente utilizada. Los resultados varían según el producto a preparar, el tipo de grasa (vegetal o animal), el instrumento para realizarlo, etc.

El consumo de alimentos fritos se ha incrementado pues forman parte de la corriente de alimentación denominada "cocina rápida". Un indicador es el constante incremento en la producción y consumo de

aceites vegetales, que superó los 200 millones de toneladas métricas en el año 2022 (Statista, 2024). En México, el consumo per cápita de aceites y grasas comestibles es de 22.5 kg/hab, el promedio mundial es de 20.6 kg/hab y el consumo en los Estados Unidos asciende a 48 kg/hab (ANIAME, 2009). En México habitan 126 millones de personas (INEGI, 2020) que, aproximadamente, consumen 3,000 millones de kilogramos de aceite al año.

En las últimas décadas, la cantidad de aceite de cocina usado generado por las industrias alimentarias, restaurantes, establecimientos de comida rápida y hogares ha ido aumentando continuamente, con una tasa de hasta un 2% anual, debido al incremento en alimentos procesados y, sobre todo, el consumo de comida rápida por parte de la población humana (Iglesias et al., 2012; Kulkarni y Dalai, 2006; Mannu et al., 2020). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación estima que el consumo medio anual de aceite vegetal para uso alimentario alcanzará los 23.5 kg per cápita, con una previsión de crecimiento del 0.9% anual hasta 2025 (OCDE/FAO, 2016). Se estima que alrededor de 1 a 2.5 millones de toneladas métricas por año de aceite usado se generan en los países de la Unión Europea (UE) (Borugadda y Goud, 2014; Mannu et al., 2020; Talens-Peiró et al., 2008). A nivel mundial, el aceite vegetal más consumido es el de palma seguido de los de soya, canola y girasol.

En el proceso de fritura, el aceite se lleva a alta temperatura, por un tiempo variable y entra en contacto con la humedad y con el aire, por lo que ocurren numerosas reacciones de modificación de sus componentes, particularmente sus ácidos grasos (Figura 1).

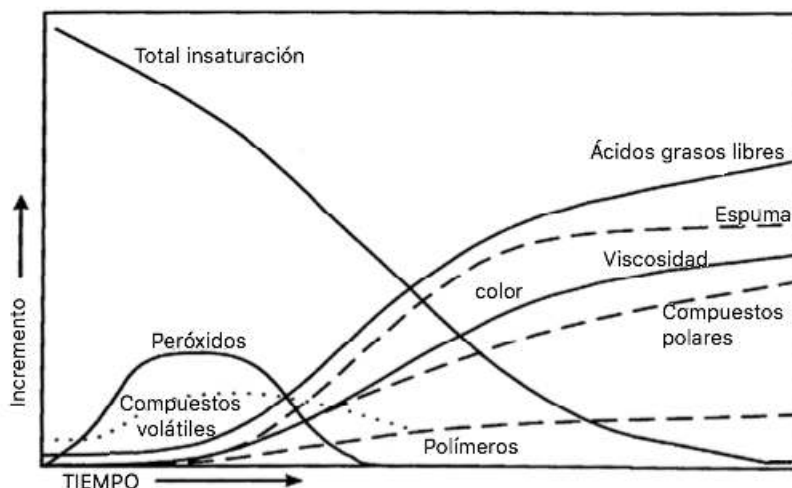


Figura 1. Cambios físicos y químicos en el aceite durante el proceso de fritura (modificada de Choe y Min, 2007)

Cada año se publica una gran cantidad de artículos sobre el rendimiento comparativo de diferentes aceites y grasas en el proceso de fritura. Sin embargo, los resultados obtenidos son muy variables debido a varias razones. En primer lugar, una muestra de aceite no es representativa de todos los aceites de un mismo tipo, ya que las diferencias en la calidad inicial y en el contenido de compuestos menores son lo suficientemente importantes como para modificar significativamente el rendimiento de fritura. En segundo lugar, a menudo se omiten variables importantes en el proceso de fritura, es decir, los aditivos o la relación de volumen a superficie de calentamiento. Además, la repetibilidad de los experimentos de fritura es muy baja (Rodríguez-Machado et al., 2007).

Compuestos tóxicos generados después de la fritura

Además de los residuos generados durante el proceso de fritura, también pueden formarse compuestos tóxicos, como acrilamida y compuestos polares, que se diseminan junto con los restos de aceite. A los problemas anteriores, hay que sumar el hecho de que los alimentos incrementan su

contenido de grasa en forma importante, llegando hasta el 40% en algunos casos, por lo que se han desarrollado nuevas técnicas de fritura para evitar los problemas de salud derivados (Mahmud et al., 2023). Estas incluyen procesos continuos y discontinuos, así como la combinación de otras técnicas como la denominada fritura por aire, el uso de microondas, de ultrasonido, entre otros, que no siempre previenen el daño a los lípidos, específicamente por procesos oxidativos (Al-Faruq et al., 2022). Por esto, se propuso el uso de aditivos para reducir la formación de compuestos oxidantes, como es el caso de algunos aceites esenciales vegetales o la adición de vegetales o especies ricas en antioxidantes, como limón y tamarindo (Sales-de-Oliveira et al., 2024).

La formación de compuestos potencialmente tóxicos en el aceite usado está documentada, no así el impacto específico en la salud, pues los resultados son diferentes en humanos y en modelos animales, por lo que se requiere profundizar la experimentación (Dobargenes y Márquez-Ruiz, 2015). La diversidad de productos generados por hidrólisis, oxidación o alteraciones térmicas es amplia y, en muchos casos, difícil de detectar por técnicas analíticas convencionales, si bien la calidad general puede ser evaluada por diversos métodos rápidos desarrollados recientemente (Fatima et al., 2023).

La técnica más aceptada y recomendada por organizaciones oficiales es la detección de compuestos polares y se considera que cuando sus niveles alcanzan 25% el aceite no debe ser utilizado de nuevo (Firestone, 2007), si bien pueden llegar hasta el 60%. Estos compuestos polares provienen de la oxidación o polimerización de los triglicéridos presentes en el aceite. Otras reacciones son las de formación de peróxidos, de polímeros acrílicos, de dímeros cíclicos, aldehídos y otros compuestos volátiles (Choe y Minh, 2007). Se ha comprobado experimentalmente que el uso de mezclas de aceite de diferentes vegetales puede reducir la formación de estos compuestos (Choe y Min, 2007).

Contaminación en agua

El resultado del proceso de fritura es irremediablemente un residuo oleoso, que frecuentemente acaba en las cañerías, obstruyéndolas y causando problemas ambientales. La disposición inadecuada del aceite usado a través del sistema de alcantarillado causa problemas tanto económicos como de contaminación de ríos y suelos (De-Feo et al., 2020). Por un lado, la disposición irracional de los aceites usados de cocina en los desagües genera problemas de operación y mantenimiento en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, pues aumentan significativamente sus costos de tratamiento (Kulkarni y Dalai, 2006). Por otro lado, un litro de aceite de cocina usado que se vierte al ambiente puede contaminar 0.5 millones de litros de agua, generando así graves problemas ambientales (Vidal-Benavides et al., 2017). Un área importante de investigación es el diseño y puesta en marcha de sistemas de trampas de aceite para impedir que se viertan al desagüe, trabajo generado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (Arellano-Luna y Sánchez Campos, 2017). Los autores, bajo la supervisión de una de las autoras, identificaron que el principal problema en la industria restaurantera es que sus trampas de grasa están mal operadas, funcionan como reservorio de alimentos y no atrapan cantidades importantes de aceites y grasas. Para solucionar el problema diseñaron un dispositivo de fácil operación y limpieza, así como un programa de capacitación de los usuarios.

Normativa vigente

No existe ni en México ni en muchos países una normativa al respecto: Hay pocos ejemplos de regulación de calidad del aceite de fritura, salvo una regla española (BOE, 1989). En Europa existe la directiva 2008/98/EC para el manejo de residuos en general incluidos los aceites industriales, domésticos y los producidos en la industria restaurantera (EUR-Lex, 2008). En México existe la norma NADF-012-AMBT-2015 sobre Manejo Integral de Grasas y Aceites de Origen Animal y/o Vegetal Residuales en el Territorio de la Ciudad de México (Gaceta Oficial, 2018), que establece la necesidad de registro a quienes manejan este residuo.

En este marco jurídico se ha lanzado el proyecto de establecer centros de acopio, con una campaña titulada "Mi cocina no contamina" y, a la fecha, existe un número muy pequeño de estos centros. El

más importante, impulsado desde 2022, se ubica en la Central de Abastos y está destinado a surtir a la planta de bioaditivo, diseñada para surtir al transporte público de la ciudad con energías limpias. No está regulada la comercialización del aceite usado, si bien se observan anuncios en redes sociales. Tampoco existe una norma similar a la mencionada antes para la industria restauradora española, que garantice a los consumidores que los centros productores manejan adecuadamente el aceite.

Los esfuerzos normativos de la Ciudad de México están basados en experiencias españolas que sirvieron de apoyo a la redacción de la norma vigente. Cabe señalar que existen esfuerzos en otros países, como China, en donde el papel gubernamental es fundamental en educar, dictar las políticas de acopio y de recuperar los productos. Se discute, por ejemplo, si destinar los residuos acopiados a la producción de combustibles tradicionales como el biodiésel o en productos destinados a impulsar los automóviles eléctricos (Qi et al., 2024).

Reutilización del aceite de cocina usado

Desde hace 15 años, por proyectos antecedentes realizados por el equipo de investigación de la UNAM, se sabe que el aceite de cocina usado de los restaurantes, cocinas y otros establecimientos tiene, entre otros fines, tiene el de tirarse al drenaje o el de usarse como aceite comestible nuevamente (Castro-González, 2019). Su disposición a la alcantarilla afecta gravemente al ambiente por su alto contenido de peróxidos, ácidos, radicales libres, compuestos polares, cetonas, aldehídos, alcoholes, acrilamidas y otros compuestos tóxicos. El aceite, al tirarlo al drenaje, genera taponamientos que causan problemas tanto económicos como de contaminación de cuerpos receptores. Por otro lado, al usarse como aceite nuevamente en restaurantes y cocinas, se convierte en una práctica usual y no ética, que se ha tenido por más de 40 años y que no es ilegal a nivel nacional. El aceite de restaurantes, cocinas y otros establecimientos se vende a recolectores privados y un gran porcentaje de lo recolectado es utilizado nuevamente como aceite vegetal para su consumo por el ser humano en otros establecimientos, especialmente de tipo ambulante (Castro-González, 2019).

Para una gran variedad de productos fritos, el proceso de fritura se realiza normalmente entre 160 y 180°C y en presencia tanto de aire como de humedad (Chatzilazarou et al., 2006). Se producen alteraciones químicas, como consecuencia de reacciones termo-oxidativas e hidrolíticas, isomerización de dobles enlaces, oligomerización y degradación de triglicéridos (Dobarganes y Márquez-Ruiz, 1998). Por lo tanto, la composición química de los aceites usados para freír difiere de la de los aceites originales (Knothe y Steidley, 2009; Mannu et al., 2020).

El impacto específico del proceso de fritura depende del país, del tipo de alimento procesado, la temperatura de fritura, el número de ciclos de fritura y el período total de uso. Los compuestos de los aceites vegetales se descomponen formando peróxidos, ácidos y otros radicales, que aumentan su polaridad (Hassanien y Sharoba, 2014).

Consecuentemente, el aceite vegetal de fritura sufre cambios físicos y químicos indeseables (color, olor, viscosidad, acidez, compuestos polares totales, entre otros), así como el contenido de ácidos grasos insaturados en el aceite disminuye con la fritura (Alireza et al., 2010; Suaterna, 2009). Liu y colaboradores (2007) observaron pérdidas importantes en los principales ácidos grasos del aceite de soya y propusieron que esto se debía a que se producían moléculas oxidadas como peróxidos, cetonas, aldehídos y alcoholes, que son tóxicos para el ser humano. Estas condiciones del aceite usado al volver a consumirse por el humano, quebrantan la salud y, hasta el momento, las consecuencias no han sido valoradas en México y muy poco en otros países.

Posibilidades de utilización de aceite usado como alternativas de solución a su liberación al ambiente

Las actividades llevadas a cabo en la Ciudad de México que se han descrito más arriba se orientan a la producción de energía: Biodiésel y bioaditivos. Sin embargo, los usos del aceite de cocina usado son

diversos, pues se cuenta con varias alternativas de modificación y recuperación que contribuyan de manera importante a generar un proceso de economía circular, sustentable y que impida que se diseminen compuestos tóxicos al ambiente. A continuación, además de detallar los anteriores, se describen algunos de ellos.

Biodiésel

Se denomina biodiésel a un producto compuesto por monoésteres de ácidos grasos, derivados de la transesterificación de triglicéridos y esterificación de ácidos grasos libres con alcohol. Como receptores de acilo se pueden usar diversos alcoholes, como etanol, metanol y propanol. El sustrato base pueden ser aceites comestibles, aceite de cocina usado, aceites no comestibles, grasas animales, biomasa de algas. Cabe aclarar que, en ocasiones, los residuos del proceso en el aceite usado pueden impedir la producción eficiente de biodiésel porque generan productos de inhibición, en particular ácidos grasos que conduzcan a la producción de jabón. El éxito del proceso depende del uso de catalizadores, que pueden ser homogéneos (ácidos o bases), heterogéneos (ácidos o bases bifuncionales, restos de biomasa, nanocatalizadores) o enzimáticos. Estos últimos han adquirido relevancia, particularmente cuando las enzimas que se emplean son inmovilizadas y pueden ser reutilizadas, ya que el costo del proceso se reduce. El uso de biodiésel se cuestionó cuando se proponía el uso de aceites comestibles como materia prima, pues competirían con fuentes de alimentación humana o animal. Sin embargo, el empleo del aceite de cocina usado resolvería un problema ambiental y no competiría con la alimentación. La producción ascendente de este combustible se detuvo cuando bajaron los precios del petróleo y por la pandemia de COVID 19. Actualmente, ha retomado su ímpetu de crecimiento y aunque se cuestiona su eficiencia en cierto tipo de motores, el uso de mezclas con combustibles tradicionales ha sido incluso obligatorio en algunos países (Mandari y Devarai, 2022). Tiene la ventaja sobre otros biocombustibles de una menor emisión de gases de efecto invernadero (Wallace et al., 2017).

A nivel mundial, el comercio de biodiésel representa el 13% de la producción y se proyecta que disminuirá de 7.6 mil millones de litros a 7.3 mil millones de litros para 2032 y su participación en la producción caerá al 11%. Las exportaciones de biodiésel de Indonesia cayeron drásticamente en 2020 y desde entonces se han mantenido bajas. Como reflejo de la alta demanda interna, las perspectivas son de que Indonesia no regrese con exportaciones de biodiésel a los mercados internacionales. Se prevé que los cinco principales exportadores del biocombustible: China, la Unión Europea, Argentina, Estados Unidos y Malasia, reduzcan su participación de mercado del 75% en el período base al 73% en 2032, previendo que Argentina reemplace a la Unión Europea quedando en la segunda posición. En la Figura 2 se muestran los cinco principales exportadores de biodiésel para 2032: China, Argentina, Estados Unidos, Unión Europea y Malasia. Los cinco principales importadores de biodiésel para 2032: Unión Europea, Estados Unidos, Reino Unido, Canadá y China. La clasificación de los biocombustibles según las políticas nacionales puede dar lugar a exportaciones e importaciones simultáneas de biocombustibles en varios países (OECD/FAO, 2023).

En México se han diseñado y operado plantas para la producción de biodiésel, como la descrita por Sánchez-Soto (2018) para su operación en la Central de Abastos de Ciudad de México. Si bien técnicamente no se tienen problemas, su operación es difícil porque la colecta de aceite de `reúso¹⁴ no es continua, como ya lo indica la referencia de SENER (2017), a pesar de que se cuenta con toda la infraestructura y procedimientos para un seguimiento de calidad (Sosa-García, 2018), en el marco de un proceso financiado por autoridades de la Ciudad de México (Castro-González, 2019). Otras líneas de investigación en México han explorado la producción de biodiesel empleando como catalizadores enzimas microbianas. Los resultados obtenidos a la fecha no compiten con la catálisis química (Casas-Godoy et al., 2017), si bien ciertos soportes de inmovilización de las enzimas ofrecen resultados prometedores, como el Accurel MP 1000 y una mezcla de carboxilesterasas provenientes de *Aspergillus nidulans* (Castro et al., 2015).

¹⁴ La palabra reúso no existe, sería reutilización [Nota de los(as) editores(as)]

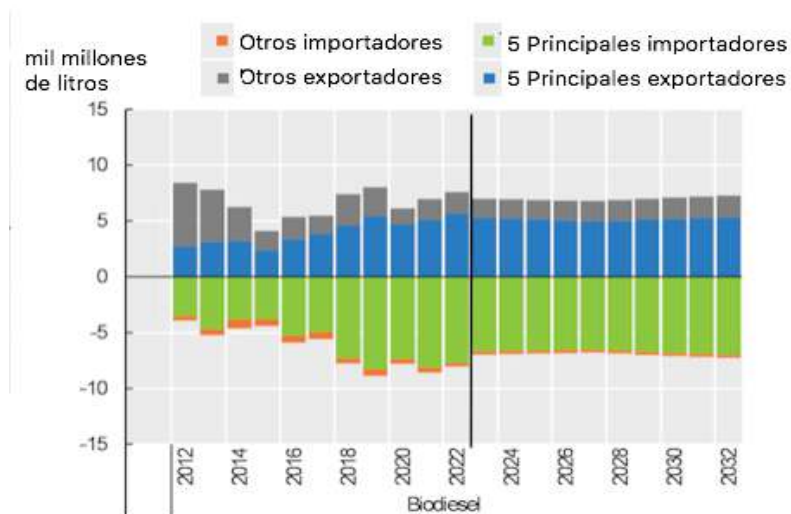


Figura 2. Actores globales del comercio de biodiésel (OECD/FAO, 2023)

Bioplásticos

Los graves problemas de contaminación de residuos de plástico con ciclos de vida muy largos han orillado a buscar alternativas con propiedades similares pero con vida reducida. Destacan los denominados bioplásticos, que son polímeros cuyos enlaces pueden ser fácilmente atacados por enzimas disponibles en la naturaleza, particularmente provenientes de microorganismos. Otra definición de bioplásticos indica que son polímeros producidos por monómeros que provienen de un proceso biológico (Rosenboom et al., 2022). Uno de los más prometedores es el polihidroxialcanoato (PHA), puesto que es elaborado en un proceso microbiano y es biodegradable. Muchas bacterias lo emplean como reserva de carbono, entre las que destacan los generos *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Azotobacter*. Numerosos factores afectan la producción del mismo, destacando la temperatura de crecimiento, la genética y la fuente de carbono empleada que pueden repercutir en el nivel de producción, así como en su masa molecular. El aceite usado de cocina se emplea como fuente de carbono. Se ha reportado el uso de poblaciones mixtas de microorganismos capaces de crecer en aguas residuales provenientes de la producción de aceite de oliva, con el resultado de obtención de polímeros con características prometedoras, así como producción a mayores escalas (Ntaitku et al., 2014; Pakalapati et al., 2018).

Materia prima para producción de metabolitos microbianos de interés en diferentes áreas

El PHA es un ejemplo de múltiples metabolitos que pueden ser producidos en reactores por microorganismos de diferentes tipos, incluídas algas. Entre ellos se puede citar:

- Ramnolípidos biosurfactantes producidos por *Pseudomonas aeruginosa* Pb 25
- Natamicina producida por *S. griseus*
- Riboflavina producida por *Ashbya gossypii*
- Lipasa producida por *Bacillus cereus*, *Rhodotorula glutinis*, *Yarrowia lipolytica*
- Lípidos producidos por *Yarrowia lipolytica*
- Carotenos producidos por *Blakeslea trispora*
- Ácido oxálico producido por *Aspergillus*
- Ácido cítrico producido por *Penicillium expansum*
- Bisabolenos (sesquiterpenos)
- Plastificantes
- Poliuretano
- Biolubricantes

Estos productos pueden generarse a partir de los componentes del aceite de cocina como precursores metabólicos, o bien, que éstos sean sujetos a reacciones de transesterificación, epoxidación, sulfonación, y otras, en presencia de los catalizadores adecuados (Awogbemi et al., 2021; Foo et al., 2022; Lopes et al., 2020; Zeng et al., 2022).

Jabón

La elaboración de jabón a partir de aceite usado es relativamente simple. Primero se realiza un proceso de limpieza del aceite, su decoloración y su desgomado. Después viene la adición de sosa o lejía y se pueden implementar formulaciones con fragancias y colorantes, así como con otro tipo de aditivos para preparar diferentes presentaciones: Jabón líquido, detergente, barras, etc. Variaciones del proceso pueden llevar a la producción de detergentes para lavatrastes, por ejemplo. Las formulaciones pueden variar de acuerdo con la calidad del aceite del que se parta y se puede modificar la proporción de NaOH y agua (Antonic et al., 2020; Azme et al., 2023). También de acuerdo con el tipo de aceite se puede variar la actividad antimicrobiana del jabón o la capacidad de hacer espuma. La elaboración de jabones es una propuesta particularmente útil para tratar residuos domésticos o de comunidades pequeñas, pues representa una alternativa de bajo costo, no es intensiva en tecnología y es sustentable. Sin embargo, hay que hacer notar que estos grupos deben recibir asesoría en términos de una evaluación de la calidad inicial del aceite usado, así como de su capacidad de saponificación. Por otra parte, sobre las técnicas para evaluar la calidad del producto final, como la capacidad limpiadora, por ejemplo, la literatura reporta proyectos exitosos en países como China y República Checa (Antonic et al., 2021; Cheng et al., 2024).

Mejoradores de asfalto

El asfalto, elaborado a base de derivados de petróleo, sufre deterioro por diversos factores ambientales, como temperatura, agua, presión por el tráfico vehicular y luz ultravioleta. Existen diversas técnicas para su "rejuvenecimiento", como el uso de mezclas que contienen plastificantes, resinas y aceite de cocina usado (Ji et al., 2024; Li, 2023). La aplicación de aceites usados en la fabricación de estos compuestos puede consumir una cantidad importante de residuos sin problemas de toxicidad para los usuarios.

Alimentación animal

En México es aún una práctica dar a los animales aceite usado como parte de la alimentación. Si bien se trata de un residuo económico y que aporta energía a los diferentes tipos de ganado, su uso es controvertido. Algunos autores consideran que su valor nutricional está casi perdido (en Europa se prohibió hace varios años por miedo a que se incorporaran a la cadena alimentaria compuestos carcinogénicos, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (Ganesan et al., 2017).

Conclusiones

A lo largo de esta revisión se expusieron algunos de los problemas ambientales y de salud que causan los residuos de aceite usado. Se mostró también que puede ser una materia prima versátil para generar numerosos productos de alto valor agregado que ofrecen soluciones a otros problemas ambientales. Sin embargo, el cuello de botella de cualquiera de estas opciones de producción está representado por el acopio y la organización comunitaria. Este es un problema mundial. En países con economías centralizadas, como China, se intentó una política de subsidios a recicladores, que no fue exitosa. Actualmente esperan mejorar los resultados con subsidios y estímulos a los fabricantes de productos con valor agregado (Zhang et al., 2015).

En México el crecimiento de la unidad de producción de bioaditivo ha sido lento por falta de materia prima. Se debe contar con una mejor organización y publicidad a los centros de acopio, así como aplicar una mayor vigilancia a la aplicación de la norma vigente, inspecciones a los locales que deben de contar con trampas de grasa, capacitar especialmente a la comunidad de la industria restaurantera

en formas correctas de disposición de residuos e implementar una norma que permita la vigilancia a la misma con respecto al manejo inocuo de este elemento culinario.

Glosario

Siglas	Significado
HAP	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
PHA	Polihidroxialcanoato
SENER	Secretaría de Energía de México

Reconocimientos

Las autoras reconocen el valioso apoyo de estudiantes que a lo largo de los años han trabajado en esta temática tan importante para la conservación del ambiente y, especialmente, de la salud de los seres humanos y otras especies vivientes.

Referencias bibliográficas

- Al-Faruq, A., Khatun, M.H.A., Azam, S.M.R., Sarker, M.S.H., Mahomud, M.S., Jin, X. 2022. Recent advances in frying processes for plant-based foods. *Food Chemistry Advances*. 1: 100086. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X22000740>
- Alireza, S., Tan, C.P., Hamed, M., Che Man, Y.B. 2010. Effect of frying process on fatty acid composition and iodine value of selected vegetable oils and their blends. *International Food Research Journal*. 17: 295-302.
- ANIAME. 2009. Datos enviados por correo electrónico por petición a la Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles (ANIAME). Cámara Nacional de la Industria de Aceites y Grasas Comestibles. Ciudad de México, México.
- Antonic, B., Dordevic, D., Jancikova, S., Tremlova, B., Kushkevych, I. 2021. Physicochemical characterization of home-made soap from waste-used frying oils. *Processes*. 8(10): 1219. <https://doi.org/10.3390/pr8101219>
- Arellano-Luna, A.Y., Sánchez-Campos, E.R. 2017. Propuesta de mejora de diseño de una trampa de grasa para restaurantes. Tesis profesional de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2017/noviembre/0768658/Index.html>
- Awogbemi, O., von-Kallon, D.V., Aigbodion, V.S., Panda, S. 2021. Advances in biotechnological applications of waste cooking oil. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 4: 100158.
- Azme, S.N.K, Yusoff, N.S.I.M., Chin, L.Y., Mohd, Y., Hamid, R.D., Jalil, M.N., Zaki, H.M., Saleh, S.H., Ahmat, N., Manan, M.A.F.A., Yury, N., Hum, N.N.F., Latif, F.A., Zain, Z.M. 2023. Recycling waste cooking oil into soap: Knowledge transfer through community service learning. *Cleaner Water Systems*. 4: 100084. <https://doi.org/10.1016/j.cwas.2023.100084>
- BOE. 1989. Norma de Calidad para los aceites y grasas calentados. BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. Enero 26, 1989. España. <https://www.boe.es/eli/es/o/1989/01/26/1>
- Borugadda, V.B., Goud, V.V. 2014. Synthesis of waste cooking oil epoxide as a bio-lubricant base stock: Characterization and optimization study. *J. Bioprocess Eng. Biorefin.* 3:1-14. <https://doi.org/10.1166/jbeb.2014.1077>
- EUR-lex. 2008. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>
- Casas-Godoy, L., Sandoval, G., Bonet-Ragel, K., Rodrigues, J., Ferreira-Dias, S., Valero, F. 2017. Enzyme-Catalyzed production of biodiesel as alternative to chemical-catalyzed processes: Advantages and constraints. *Current Biochemical Engineering*. 4(2): 153239. <http://www.eurekaselect.com/153239>
- Castro, A., Peña, C., Farrés, A. 2015. Immobilization of carboxylesterases produced by *Aspergillus nidulans* in different supports to be used in biodiesel production. En *Memorias. Symposium on Genetics of Industrial Microorganisms*. Cancún, México.
- Castro-González, A. 2019. Informe anual de proyecto "Planta de biodiésel para uso automotriz en la Ciudad de México". Proyecto financiado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México. Ciudad de México, México.
- Chatzilazarou, A., Gortzi, O., Lalas, S., Zoidis, E., Tsaknis, J. 2006. Physicochemical changes of olive oil and selected vegetable oils during frying. *J. Food Lipids*. 13:27-35. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2006.00032.x>
- Chen, G., Zhang, M., Lu, Y., Zhang, Y., Lin, B., von-Lau, E. 2024. A novel method for the green utilization of waste fried oil. *Particuology*. 84: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2023.02.019>
- Choe, E., Min, D.B. 2007. Chemistry of deep fat frying oils. *Journal of Food Science*. 72(5): B77-B86. <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1750-3841.2007.00352.x>
- De-Feo, G., Di-Domenico, A., Ferrara, C., Abate, S. Sesti-Osseo, L. 2020. Evolution of waste cooking oil collection in an area with long-standing waste management problems. *Sustainability*. 12: 8578. <https://doi.org/10.3390/su12208578>
- Dobarganes, M.C., Márquez-Ruiz, G. 1998. Regulation of used frying fats and validity of quick tests for discarding the fats. *Grasas y Aceites*. 49: 331-335. <https://doi.org/10.3989/gya.1998.v49.i3-4.735>
- Dobarganes, C., Márquez-Ruiz, G. 2015. Possible adverse effects of frying with vegetable oils. *British Journal of Nutrition*. 113: S49-S57.
- Fatima, S., Kumar, V., Bhadauria, G., Verma, H. 2023. Quality indicators based rapid test kits for detection of frying oil quality: A review. *Food Chemistry Advances*. 2: 100305. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X23001260>

- Firestone, D. 2007. Regulation of frying fats and oils. In *Deep Frying. Chemistry, Nutrition and Practical Applications*. Erickson, M.D., editor. 2nd edition. Pp. 375-385. AOAC Press, Champaign. EE.UU.
- Foo, W.H., Koay, S.S.N., Chia, S.R. Chia, W.Y., Ying, D., Tang, Y., Nomanbhay, S., Chew, K.W. 2022. Recent advances in the conversion of waste cooking oil into value-added products: A review. *Fuel*. 324, Part A: 124539. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236122013886>
- Ganesan, K., Sukalingam, K., Xu, B. 2017. Impact of consumption of repeatedly heated cooking oils on the incidence of various cancers - A critical review. *Crit. Rev. Food Sci. Nut.* 59(3): 488-505. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1379470>
- Hassanian, M.F.R., Sharoba, A.M. 2014. Rheological characteristics of vegetable oils as affected by deep frying of French fries. *Food Meas.* 8: 171-179. <https://doi.org/10.1007/s11694-014-9178-3>
- Iglesias, L., Laca, A., Herrero, M., Díaz, M. 2012. A life cycle assessment comparison between centralized and decentralized biodiesel production from raw sunflower oil and waste cooking oils. *J. Clean. Prod.* 37:162–171. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.002>
- INEGI. 2020. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos 2010. Publicación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Ciudad de México, México.
- Ji, H., Li, B., Li, X., Han, J., Liu, D., Dou, H., Fu, M., Yao, T. 2024. Waste cooking oil as a sustainable solution for UV-aged asphalt binder: Rheological, chemical and molecular structure. *Construction and Building Materials*. 420: 135149. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135149>
- Knothe, G., Steidley, K.R. 2009. A comparison of used cooking oils: A very heterogeneous feedstock for biodiesel. *Bioresour. Technol.* 100: 5796-5801. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.064>
- Kulkarni, M.G., Dalai, A.K. 2006. Waste cooking oils-An economical source for biodiesel: A review. *Ind. Eng. Chem. Res.* 25:2901–2913. <https://doi.org/10.1021/ie0510526>
- Li, B., Liu, W., Nan, X., Yang, J., Tu, Chongzhi, Zhou, L. 2023. Development of rejuvenator using waste vegetable oil and its influence on pavement performance of asphalt binder under ultraviolet aging. *Case Studies in Construction Materials*. 18: e01964. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509523001432>
- Liu, W.H., Stephen, I.B., Chen, B.H. 2007. Analysis and formation of trans fatty acids in hydrogenated soybean oil during heating. *Food Chemistry*. 104: 1740-1749. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.069>
- Lopes, M., Miranda, S., Belo, I. 2020. Microbial valorization of waste cooking oils for valuable compounds production – A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 50(24): 2583-2616.
- Mahmud, N., Islam, J., Oyom, W., Adrah, K., Chetachukwu-Adegoke, S., Tahergorabi, R. 2023. A review of different frying oils and oleogels as alternative frying media for fat-uptake reduction in deep-fat fried foods. *Heliyon*. 9: e21500.
- Mannu, A., Garroni, S., Ibanez-Porras, J., Mele, A. 2020. Available technologies and materials for waste cooking oil recycling. *Processes*. 366. <https://doi.org/10.3390/pr8030366>
- Mandari, V., Devarai, S.K. 2022. Biodiesel production using homogeneous, heterogeneous, and enzyme catalysts via transesterification and esterification reactions: A critical review. *BioEnergy Research*. 15:935-961.
- Morton, I.D. 1998. Geography and history of the frying process. *Grasas y Aceites*. 49(3-4): 247-249.
- Ntaikou, I., Valencia-Peroni, C., Kourmentza, C., Ilieva, V.I., Morelli, A., Chiellini, E., Lyberatos, G. 2014. Microbial bio-based plastics from olive-millwastewater: Generation and properties of polyhydroxyalkanoates from mixed cultures in a two-stage pilot scale system. *Journal of Biotechnology*. 188: 138-147.
- OCDE/FAO. 2016. OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas, OCDE, Base de datos de estadísticas agrícolas. <http://dx.doi.org/10.1787/agr-data-en>
- OECD/FAO. 2023. OECD-FAO Agricultural Outlook. OECD Agriculture statistics (database). <https://doi.org/10.1787/agr-outl-data-en>
- Official Journal of the European Union, 2008. Directive 2008/98/ec of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN>
- Pakalapati, H., Chang, C.-K., Show, P.L., Arumugasamy, S.K., Lan, J.C.-W. 2018. Development of polyhydroxyalkanoates from waste feedstocks and applications. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 126(3): 282-292. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2018.03.016>
- Qi, Z., Zhang, C., Wang, Y., Ping, L., Gao, B., Sun, T., Zhang, H. 2024. The future of waste cooking oil and its carbon and economic benefits—An automotive energy perspective. *Biomass and Bioenergy*. 184: 107204.
- Rodrigues-Machado, E., Marmesat, S., Abrantes, S., Dobarganes, C. 2007. Uncontrolled variables in frying studies: Differences in repeatability between thermoxidation and frying experiments. *Grasas y Aceites*. 58(3):283-288. <https://doi.org/10.3989/gya.2007.v58.i3.184>
- Rosenboom, J., Langer, R., Traverso, G. 2022. Bioplastics for a circular economy. *Nature Reviews Materials*. 7:117-137.
- Sales-de-Oliveira, V., Souza-Barbosa, V.D., Monteiro-Keller, L., Tavares-Teixeira-de-Melo, M., Mulandez, O.F., Martins-Jacinto-Barbosa, M.I., Barbosa-Júnior, J.L., Saldanha, T. 2024. Impact of air frying on food lipids: Oxidative evidence, current research, and insights into domestic mitigation by natural antioxidants. *Trends in Food Science and Technology*. 147: 104465.
- Sánchez-Soto, M. 2018. Instalación de una planta de biodiésel para la Central de Abastos en la CDMX. Tesis profesional de Ingeniería Química. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2018/septiembre/0780679/Index.html>
- SENER. 2017. <https://www.gob.mx/sener/documentos/diagnostico-de-la-situacion-actual-del-biodiesel-en-mexico-y-escenarios-para-su-aprovechamiento>
- SMA. 2018. NADF-012-AMBT-2015. Aviso por el que se da a conocer la norma ambiental para el Distrito Federal NADF012-AMBT-2015, que establece las condiciones y especificaciones técnicas para el manejo integral de grasas y aceites de origen animal y/o vegetal residuales en el territorio de la Ciudad de México. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*. Junio 12 de 2018. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México, México.

-
- Sosa-García, L. 2018. Instalación de un laboratorio dedicado a la determinación de la calidad del biodiesel. Tesis profesional de Química. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
<http://132.248.9.195/ptd2018/noviembre/0782529/Index.html>
- Statista. 2024. <https://www.statista.com/statistics/263937/vegetable-oils-global-consumption/>
- Suaterna, A. C. 2009. La fritura de los alimentos. Perspectivas en Nutrición Humana. 11: 39-53.
- Talens-Peiró, L., Villalba-Méndez, G., Gabarrell-i-Durany, X. 2008. Exergy analysis of integrated waste management in the recovery and recycling of used cooking oils. Environ. Sci. Technol. 42:4977-4981. <https://doi.org/10.1021/es071972a>
- Vidal-Benavides, A.I., Quintero-Díaz, J.C., Herrera-Orozco, I. 2017. Análisis de ciclo de vida de la producción de biodiésel a partir de aceite vegetal usado. DYNA. 84:155-162. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.54469>
- Wallace, T., Gibbons, D., O'Dwyer, M., Curran, T.P. 2017. International evolution of fat, oil and grease (FOG) waste management-A review. Journal of Environmental Management. 187:424-435.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.003>
- Zeng, X., Yue, C., Ding, Z., Wang, L., Su, Z., Zeng, H., Zhang, B., Li, F., Zhu, M. 2022. Waste cooking oil: New efficient carbon source for natamycin production by *Streptomyces gilvosporeus* Z8. Process Biochemistry 118: 294-306.
<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.04.028>
- Zhang, H., Ozturk, U.A., Zhou, D., Qiu, Y., Wu, Q. 2015. How to increase the recovery rate for waste cooking oil-to-biofuel conversion: A comparison of recycling modes in China and Japan. Ecological Indicators. 51: 146-150.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.045>