

Alternativas en la utilidad del aceite de cocina usado: una mirada al aprovechamiento de este residuo.

Alternatives in the utility of waste cooking oil: a look at the use of this residue

Katerin Hoyos Muñoz ^a , Jose Armando Herrera Perez ^b & Nicolás Santos Vásquez ^c

^a Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. kahoyosmu@unal.edu.co

^b Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.. joaherrerape@unal.edu.co

^c Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.. nsantosv@unal.edu.co

Abstract

Vegetable oil is one of the essential inputs in most of the world's kitchens. In Colombia, it is estimated that 162 million bottles are consumed each year. Although used cooking oil is not considered a dangerous waste, the improper use of these oils generates contamination in the water and soil when they are discharged, in turn damaging the sewer pipes, currently this represents a great environmental problem. when it is disposed of improperly. For 20 years, there has been a sustained growth in the number of publications that seek to find alternative uses and value this residue. The purpose of this review is to show various applications of used cooking oil, the environmental advantage that its use represents, to achieve the reduction of CO₂ emissions and the application of the principles of circular economy.

Resumen

El aceite vegetal es uno de los insumos indispensables en gran parte de las cocinas del mundo. En Colombia, se estima que son consumidas 162 millones de botellas cada año. Si bien el aceite de cocina usado no es considerado un residuo peligroso, el uso inadecuado manejo de estos aceites, genera contaminación en el agua y suelo al ser vertidos, a su vez daños en las tuberías del alcantarillado. actualmente este representa una gran problemática ambiental cuando es desechado de manera inadecuada. Desde hace 20 años, se evidencia un crecimiento sostenido en el número de publicaciones que buscan encontrar usos alternativos y valorizar este residuo para mitigar la problemática ambiental. El propósito de este review es mostrar diversas aplicaciones del aceite de cocina usado, la ventaja ambiental que representa su aprovechamiento, para lograr la reducción de emisiones de CO₂ y la aplicación de los principios de economía circular.

Palabras claves: Aceite de cocina; aprovechamiento; materia prima; energía; reciclaje, economía circular.

Introducción

Actualmente, la disposición de residuos generados por los seres humanos se ha convertido en un tema de atención prioritaria para la comunidad internacional; independientemente de la zona geográfica, se ha hecho necesario desplegar todo un conjunto de

alternativas que permitan el aprovechamiento y disposición final de tales residuos, a fin de lograr dar una vida útil a todo aquello que es considerado como elemento de un solo uso. El aceite de cocina se encuentra dentro de ese grupo y cabe notar que en el imaginario colectivo se cree que está meramente destinado a cumplir su función alimentaria. Sin embargo, durante las

últimas dos décadas se ha encontrado que este aceite es de gran valor para la síntesis de surfactantes, jabón, betún, cera, resinas alquílicas, espuma de poliuretano, por mencionar solo algunos ejemplos (Villabona & et.al; 2017), las características de dicho aceite posibilitan la creación y fabricación de otros componentes (pues se dispone como materia prima) o en otros productos de uso cotidiano; además su valor energético es tal, que puede ser utilizado en la formación de biodiésel (Ebner & et.al; 2014).

En el desarrollo de este artículo se busca dar a conocer las distintas alternativas de aprovechamiento que se le pueden dar al aceite de cocina usado, indagando en diversos artículos científicos, así como también en los distintos procesos que se le realizan a este residuos para poder llegar al producto deseado de este o, inclusive, otras alternativas a su disposición final. Un ejemplo de este tipo de procesos es la transesterificación y/o uso como parte de la materia prima para la producción de biodiesel.

Generalidades sobre el aceite de cocina y aceite de cocina usado

El aceite, en casi todas sus presentaciones, ha sido utilizado por la humanidad desde tiempos inmemoriales siendo parte de nuestro crecimiento como especie y parte esencial de nuestras dietas. Los aceites indispensables para el humano, como el ácido linoléico y el linolénico, entre otros menos esenciales, pero igualmente importantes como el ácido láurico, el palmítico y el oléico son los que están presentes en todos los aceites vegetales que se consumen a diario en casi todos los hogares del mundo. Los aceites más comunes son el de girasol, soya, palma de aceite, coco y oliva, los cuales tienen múltiples usos, como sugiere Farhadian et al., 2022, con el aceite de girasol; sin embargo, su principal y más comercial uso es el gastronómico.

Estos aceites tienen una posibilidad de uso bastante alto en términos culinarios, sin embargo su excesiva reutilización es altamente nociva para la salud, pues puede producir sustancias

como lo son las grasas trans y los aceites hidrogenados, altamente reconocidos como inductores de problemas cardíacos y cerebrovasculares (OMS, 2018).

Problemática ambiental

El aceite de cocina representa una materia prima de bajo costo y alta disponibilidad, puede ser obtenido en casi cualquier lugar, detrás de eso se halla la incorrecta disposición final que se le hace, pues lo general las personas simplemente lo desechan después de usado en los sistemas de drenaje de las ciudades, además de contribuir al aumento de agentes contaminantes a cuerpos de agua de todo tipo (Lafont & et.al; 2011), un litro de aceite puede llegar a ser perjudicial pues llega a contaminar 10.000 litros de agua, haciéndola inaceptable para consumo humano, sumado a que cuando el aceite es expuesto a altas temperaturas, al ser reutilizado en las cocinas más de tres veces, producen dioxinas transformándolo en un agente potencialmente cancerígeno (Villabona & et.al; 2017). Asimismo, dificulta la capacidad de intercambio de oxígeno, pues el aceite forma una película sobre el agua imponiéndose como barrera; evitando el paso de luz vital para la flora y fauna acuáticas de los primeros 200 metros de profundidad, traduciéndose en graves efectos a los ecosistemas marinos, de ríos y lagos (Sanaguano & et.al; 2014).

La situación en Colombia se está volviendo cada vez más delicada, para el año 2015 el 35 % de las 162 millones botellas de aceites de cocina, eran desechados a través de sifones, tuberías, enterrado dentro de frascos o liberados al suelo; y aunque no es considerado un residuo peligroso, según el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, estos aceites aportan material orgánico que desmejora la calidad de suelos y ayuda al aumento de sedimentos en el agua (Villabona & et.al; 2017).

Ya que se conoce este comportamiento del aceite usado, algunas autoridades territoriales han decidido tomar cartas en el asunto, como lo hizo la Alcaldía de Medellín en el año 2019 al expedir el Acuerdo 131 por el cual se regula la

disposición de este residuo en la ciudad de Medellín, velados por la secretaría de salud y la de medio ambiente en el cumplimiento de sus responsabilidades como gestores del comité encargado ACU (Alcaldía de Medellín, 2019).

Métodos

Para la realización de esta revisión científica se utilizó el SINAB (Sistema Nacional de Bibliotecas de la Universidad Nacional de Colombia) en la sección de recursos electrónicos. Diversas bases de datos fueron utilizadas como Redib, Redalyc Dialnet, Jstor, Wiley, Science Direct y Scielo. En total se analizaron más de 20 artículos de donde se citaron 30 referencias bibliográficas. La mayoría de artículos se centran en investigaciones para la producción de Biodiesel.

Aprovechamiento del aceite de cocina usado

En la actualidad se pueden encontrar diversas maneras de dar una disposición final adecuada a los aceites vegetales comestibles luego de ser utilizados, por ello, en el siguiente apartado se muestran dichas formas de aprovechamiento junto con ejemplos registrados por la academia:

Jabón: Se ha registrado el uso del aceite de cocina usado como materia prima para la elaboración de jabones y agentes sólidos detergentes, tal como en Guaranda, ciudad de Ecuador, donde se evaluó el éxito en la utilización de dos aceites vegetales residuales de restaurantes de la zona; mediante un tratamiento endotérmico de aplicación de 80°C a la materia prima grasa y empleando un 15% hidróxido de sodio, se logró la fabricación de jabón para uso personal con un alto índice de calidad (Sanaguano & et.al; 2014).

Por otro lado, en Quito, Ecuador se estudiaron procesos de saponificación a diferentes temperaturas para elaborar jabones a partir del aceite residual de procesos de fritura de un centro comercial, encontrando que es posible fabricar jabones de alta calidad combinando aceite de palma y aceite vegetal con mezcla de salmuera caliente a 75°C con un contenido de

5% de NaCl, dichos jabones cumplían con la norma INEN 839, la cual rige en Ecuador para estándares de producción de jabón (Bombón & Albuja; 2014).

Espuma de poliuretano: Este material polimérico ha sido de gran importancia en la actualidad tanto por sus propiedades físicas como por sus propiedades mecánicas (Tahir & et.al; 2016), en un estudio realizado por la Universidad Tecnológica MARA Pahang en Malasia, se demostró que el aceite de cocina residual constituye materia prima óptima para la elaboración de espuma de poliuretano rígido, dentro de proceso se llevó la abundancia de aceite vegetal usado polioliol, componente fundamental de este tipo de espuma; esta sintetización a polioliol se hizo utilizando una reacción de transesterificación con 148,79 mg KOH/g y al final, mostraron valores de densidad 277,7 kg/m³ y 0,10 MPa de fuerza de compresión, representando una alternativa atractiva, económica y con propiedades físicas adecuadas (Tahir & et.al; 2016).

Cera para muebles: Como materia prima para la fabricación de cera para muebles, una opción más para la reutilización del aceite de cocina usado; con la mezcla y posterior calentamiento de dichos aceites junto con cera de abejas, trementina y aceite mineral, es posible producir una cera de buena consistencia y que proporcione brillo (Pineda & et.al).

Restauración de asfalto: Los diferentes aceites de cocina utilizados pueden ser utilizados como aditivo a la mezcla de asfalto con el fin de mejorar su propiedades de resistencia mecánica, térmica y de desgaste total, además de poderse usar en la rehabilitación de vías deterioradas, dejándolas en unas condiciones completamente óptimas para su uso (Li et al., 2021). Por otro lado, Oldham et al., 2021, menciona el uso de los aceites con fines de reducir la acidez del betún utilizado para asfaltar las calles, alargando la durabilidad del asfalto nuevo y renovando la del que se desea restaurar.

Producción de biosurfactantes SL de importancia industrial: La producción de

biosurfactantes a partir de residuos de aceite puede ser un proceso de alto valor agregado (Lan et al., 2015, Singh et al., 2019). Los biosurfactantes, los compuestos tensioactivos producidos por bacterias, levaduras y hongos, han recibido una atención considerable debido a propiedades únicas como alta biodegradabilidad, ecotoxicidad mínima o nula, excelente actividad tensioactiva y buena biocompatibilidad, en comparación con los tensioactivos clásicos de base petroquímica (Jeon Hun Kim; 2021). Entre varios biosurfactantes, los sofrolípidos (SL) se han estudiado ampliamente para usos académicos e industriales y se han aplicado ampliamente a las industrias de cosméticos, biomedicina, biorremediación, limpieza, alimentos, agricultura y petróleo

Aceite de cocina residual como aditivo reductor de la retracción y su uso potencial en hormigón de alto rendimiento: En una investigación realizada por Yushi Liu et. al en 2020, se investigó acerca de las emulsiones de aceite residual de cocina como aditivo reductor de la retracción (OSRA) en el hormigón, y se pudo concluir que si hay una reducción significativa sobre la retracción, especialmente en la retracción autógena, un aumento en la resistencia a la compresión, reducción de la porosidad total y refinamiento del tamaño de los poros, además de la reducción significativa del número de cristales de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en los poros, lo que puede estar relacionado con la reacción de saponificación entre OSRA y $\text{Ca}(\text{OH})_2$ por hidratación.

Desarrollo de una membrana líquida en emulsión para captura de arsénico: Otro uso reportado en la literatura, describe el uso exitoso del aceite de cocina desechado en la fase acuosa, como una membrana líquida para la extracción de arsénico. Se llevaron a cabo experimentos con GELM (Emulsión líquida de membrana verde) compuesto de aceite de cocina usado como diluyente, Aliquat 336 como vehículo, span 80 como tensioactivo y NaOH como agente de separación para la extracción eficaz de arsénico de una solución acuosa. También se investigó la reutilización de la membrana, lo que sugiere que la membrana se puede reutilizar hasta 6 ciclos

con una extracción máxima del 99,0%. Este estudio indica que el aceite de cocina de desecho, que es un desecho, no tóxico y ampliamente disponible, puede emplearse con éxito como diluyente para la extracción de arsénico. De ahí que se pueda concluir que el aceite de cocina usado es la mejor alternativa entre los aceites vegetales disponibles para la aplicación de GELM en la remoción de metales. (Sujatha, 2021)

Aceite de cocina usado como fuente de carbono para la producción de lípidos microbianos: en esta investigación se pudo demostrar que la producción de lípidos haciendo uso de la co-fermentación con *Rhodospiridium toruloides* a partir de los desechos de alimentos y aceites de cocina usado, en una proporción adecuada, mejoró sustancialmente mediante la adopción de la estrategia de co-fermentación. Es razonable considerar que la estrategia propuesta de co-fermentación de aceites usados con pH variable en composiciones no inhibitorias, podría ofrecer una gran viabilidad y oportunidad para maximizar la recuperación de energía a partir del desperdicio de alimentos. El análisis de la composición de lípidos encontró que el lípido producido podría usarse como materia prima para la producción de biodiesel. (Zhen Gao et. al; 2022)

Biodiesel: El aceite de cocina usado tiene una amplia acogida dentro de la fabricación de biocombustibles. Entre las diversas materias primas disponibles, el aceite de cocina de desecho se considera la fuente más viable para la producción de biodiésel. Además de ser económico, también reduce los problemas de eliminación de residuos (Mansir. et al 2019). “El biodiesel se define como la mezcla de éster monoalquílico de ácido graso obtenido de aceites vegetales o grasas animales y constituye un combustible alternativo y ambientalmente más amigable respecto del diesel, ya que es biodegradable, renovable y no es tóxico” (Murcia & et.al; 2013).

Para abordar el biodiesel y su obtención por parte del aceite usado podemos dirigirnos a lo que dicen Fangfang et al., 2021, puesto que la

idea del biodiesel es mantenerlo dentro de unos estándares ambientales amigables y que, por ende, requieren de una modelación rigurosa para poderse preparar este tipo de sustancias tan delicadas y de requerimientos especiales, así como los que muestran Gao et al., 2022, en la obtención de este combustible por medio del uso del aceite como materia prima para alimentar bacterias que producirán luego los lípidos necesarios, pero debe hacerse con cuidado, pues en excesos puede resultar en una inhibición de este mecanismo.

Sin embargo, en ocasiones el aceite de cocina no se usa solo, sino que se mezcla con otras sustancias, como lo que hacen Guimarães & De, 2019 en su texto, que consiste en mezclas de aceite usado y aceite de ricino con el fin de evaluar la posibilidad de disminuir el consumo de esta planta, además de darle un uso a este residuo.

En otras ocasiones lo que debe hacerse es otro proceso, con el fin de obtener una pureza diferente del biodiesel, como lo hablan en Mäki-Arvela et al., 2021, en donde se requiere un proceso llamado “hidroconversión” que busca transformar compuestos lipídicos en otros por medio de la interacción con moléculas de agua que destruyen la molécula y forman otras que resultan de utilidad, en este caso, para fabricar biodiesel para jets.

En otras ocasiones, y con fines de fomentar el uso de más materiales remanentes de otros procesos, se buscó que el aceite usado fuera tratado con compuestos, como lo describen Satriadi et al., 2022, que buscan utilizar zeolitas níqueladas residuales de procesos de extracción geotérmica, con el fin de que se catalice la hidrolización del aceite usado y este pueda volverse biodiesel.

Un ejemplo en la producción de biodiesel fue hecho por la Universidad Francisco de Paula Santander, en Cúcuta, Colombia, donde se estudió la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado, mediante una esterificación ácida seguida de transesterificación básica a 60°C y una

transesterificación enzimática con *Rhizopus Oryzae* lipasa a 38°C, este estudio demostró que el mejor rendimiento obtenido fue a partir de la transesterificación química bajo las condiciones de 60°C y 1% KOH, evidenciando un porcentaje de conversión del 96.15% a biodiesel (Acevedo & et.al; 2020)

Mientras que Universidad del Zulia, en Maracaibo, Venezuela se realizó un estudio “para el pretratamiento de esterificación, variando las condiciones de reacción, relación molar, concentración de catalizador y tiempo, con la finalidad de disminuir el contenido de ácidos grasos libres generados en los procesos de fritura, antes de la transesterificación” (Arenas & et.al) al final de este, se evidenció la conversión del 90,77% de los ácidos grasos libres a ésteres metílicos, aplicando parámetros de HCl de 0,3% y logrando la disminución de hasta 1,85 mg KOH.g-1 del índice ácido (Arenas & et.al).

Generalmente las políticas de contratación pública, subcontratación y consumo de biocombustibles son relativamente escasas. Generalmente, el gobierno se enfoca más en formular políticas desde los aspectos estratégicos, administrativos y regulatorios, mientras que menos en iniciativas orientadas al mercado como insumo de financiamiento y apoyo financiero. (Zhang, 2012). Algo positivo que emergió en la anterior década es que desde el 2008 ya se buscaba aprovechar el desarrollo económico y social que surge de la producción de biocombustible, en el CONPES 3510 de ese año, se mencionó la promoción de empresas que contribuyeron a la reducción de las emisiones de dióxido de carbono y la mitigación de gases efecto invernadero, entre ellas, la cadena de valor ligada a los biocombustibles (Restrepo; 2012) por aquel entonces, el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (antiguo MAVDT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) plantean la diversificación de la canasta energética del país, promoviendo la utilización de aceites vegetales usados como materia prima para la fabricación de biocombustibles. (Restrepo; 2012)

Actualmente este tipo de combustible presenta ventajas a nivel económico, con este tipo de iniciativas se busca diversificar el mercado energético del país, dejando a un lado las grandes industrias fósiles; y a sabiendas de que la materia prima representa entre 60% y 80% del costo de producción, haciéndolo ver como una opción atractiva en cuestión de reducción de costos de fabricación (Britton & et.al; 2017); más destacable aún, son sus ventajas para combatir la crisis ambiental, ya que cuenta con características de biodegradabilidad y es un potencial recurso renovable; entre sus beneficios más notables es la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a niveles muy bajos (Britton & et.al; 2017), prueba de ello, la tiene la Universidad de Leeds en Reino Unido que realizó un análisis de ciclo de vida a diferentes biocombustibles para constatar su huella de carbono en motores de diesel, este mostró que la huella de carbono generada por biodiesel fabricado a partir de aceite de cocina usado fue de 1,76 g CO₂e/MJ, siendo un 98% menos comparada con la huella de carbono generada por el diesel fósil (87 g CO₂e/MJ), haciendo del biodiesel una fuente real de neutralización de carbono. (Ebner & et.al; 2014)

Disposición alternativa del aceite usado

Es comprensible que haya sitios en los cuales este tipo de alternativas resulten algo complejas de lograr o de realizar la inversión necesaria en los implementos necesarios. Sin embargo, existen rutas de disposición distintas con, por ejemplo la biodegradación con hongos que “devoran” estos ácidos grasos, dejando completamente desaparecido el aceite y sin rastros peligrosos para el ambiente,

especialmente cuando se hace con varios tipos de hongos degradadores, que además, resulta ser un método mucho más económico en comparación con varios de las otras metodologías (Moya-Salazar & Moya-Salazar, 2020).

Conclusiones

Actualmente la mayor parte de investigaciones del aceite de cocina usado se centran en el desarrollo de nuevas técnicas para la optimización de los procesos de obtención de biodiesel. “Entre las diversas materias primas disponibles, el aceite de cocina desechado, se considera la fuente más viable para la producción de este biocombustible” (Mansir. et al 2019). En Colombia se ha evidenciado un auge en la creación de pequeñas empresas dedicadas a la transformación de este en jabones artesanales, sin embargo durante los últimos años, el gobierno ha creado políticas públicas, para incentivar la producción de biocombustibles como una alternativa para los motores Diesel. También se destacan sus usos para mejorar las propiedades mecánicas del asfalto y el concreto, como membranas líquidas en emulsión para filtrar metales pesados, producción de biosurfactantes, etc.

Referencias:

1. Acevedo-Páez, J. C., Urbina-Suárez, N. A., Acevedo-Rodríguez, A. Z., & Becerra-Orozco, L. C. (2020). Estudio de la producción de biodiesel por procesos químicos y enzimáticos a partir de aceite de cocina usado. *Aibi Revista De investigación, administración e ingeniería*, 7(2), 20-26. <https://doi.org/10.15649/2346030X.566>
2. Alcaldía de Medellín. Acuerdo 131 de 2019. Por el cual se crea el comité acu de Medellín y se establecen regulaciones para la gestión de aceites de cocina en el municipio de Medellín, No. 20192620040992, 1 de noviembre de 2019. Páginas 1 a 9. Recuperado de: https://www.medellin.gov.co/normograma/docs/astrea/docs/a_conmed_0131_2019.htm
3. Arenas Dávila, E., Urribarrí, A., Sánchez, J., Rincón, M., Martínez, K., González, E., & Aiello Mazzarri, C. (2020). Producción de biodiesel por esterificación y transesterificación de aceites vegetales de cocina usados / Production of biodiesel by esterification and transesterification from waste cooking oils / Produção de biodiesel por esterificação e transesterificação de óleos vegetais de cozinha usado. *Revista De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia*, 38(1), 105-127. Recuperado a partir de <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/34734>
4. Bombón, N., & Albuja, M. (2014). Diseño de una Planta de Saponificación para el Aprovechamiento del Aceite Vegetal de Desecho. *Revista Politécnica*, 34(1), 22. Recuperado a partir de https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/304
5. Britton Acevedo, E. L., Vega Jurado, J. M., & Lombana, J. (2017). Alternativas productivas para la industria de biodiésel en Colombia. *Cuadernos Latinoamericanos De Administración*, 13(24), 135–148. <https://doi.org/10.18270/cuaderlam.v13i24.2159>
6. Fangfang, F., Alagumalai, A., & Mahian, O. (2021). Sustainable biodiesel production from waste cooking oil: ANN modeling and environmental factor assessment. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 46(May), 101265. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101265>
7. Farhadian, A., Heydari, A., Maddah, M., Hosseini, M. S., Sadeh, E., Peyvandi, K., & Varaminian, F. (2022). Renewable biosurfactants for energy-efficient storage of methane: An experimental and computational investigation. *Chemical Engineering Journal*, 427(June 2021), 131723. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131723>
8. G. Lan, Q. Fan, Y. Liu, C. Chen, G. Li, Y. Liu, X. Yin Rhamnolipid production from waste cooking oil using *Pseudomonas* SWP-4 *Biochem. Eng. J.*, 101 (2015), pp. 44-54
9. Gao, Z., Ma, Y., Liu, Y., & Wang, Q. (2022). Waste cooking oil used as carbon source for microbial lipid production: Promoter or inhibitor. *Environmental Research*, 203(July 2021), 111881. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111881>
10. Guimarães, D. H. P., & De, D. (2019). Análisis físico químico de biodiesel obtenido por mezclas de aceite de castor y aceite de freír. *University Center Teresa D'Ávila (UniFATEA)*.
11. Jeong-Hun Kim, Yu-Ri Oh, Juyoung Hwang, Jaeryeon Kang, Hyeri Kim, Young-Ah Jang, Seung-Soo Lee, Sung Yeon Hwang, Jeyoung Park, Gyeong Tae Eom, Valorization of

waste-cooking oil into sophorolipids and application of their methyl hydroxyl branched fatty acid derivatives to produce engineering bioplastics, *Waste Management*, Volume 124, 2021, Pages 195-202, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.003>.

12. Lafont, Jennifer J, Páez, Manuel S, & Torres, Yudi C. (2011). Análisis Químico de Mezclas Biodiesel de Aceite de Cocina Usado y Diesel por Espectroscopia Infrarroja. *Información tecnológica*, 22(4), 35-42. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642011000400005>
13. Li, H., Ebner, J., Ren, P., Campbell, L., Dizayi, B., & Hadavi, S. (2014). Determination of Carbon Footprint using LCA Method for Straight Used Cooking Oil as a Fuel in HGVs. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 7(2), 623-630. Retrieved September 6, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/26273053>
14. Li, H., Zhang, F., Feng, Z., Li, W., & Zou, X. (2021). Study on waste engine oil and waste cooking oil on performance improvement of aged asphalt and application in reclaimed asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 276, 122138. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122138>
15. Nasar Mansir, Siow Hwa Teo, Umer Rashid, Mohd Izham Saiman, Yen Ping Tan, G. Abdulkareem Alsultan, Yun Hin Taufiq-Yap, Modified waste egg shell derived bifunctional catalyst for biodiesel production from high FFA waste cooking oil. A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 82, Part 3, 2018, Pages 3645-3655, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.098>.
16. Mäki-Arvela, P., Martínez-Klimov, M., & Murzin, D. Y. (2021). Hydroconversion of fatty acids and vegetable oils for production of jet fuels. *Fuel*, 306(May). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121673>
17. Mohd Tahir, S., Wan Salleh, W. N., Nor Hadid, N. S., Enderus, N. F., & Ismail, N. A. (2016). Synthesis of Waste Cooking Oil-Based Polyol Using Sugarcane Bagasse Activated Carbon and Transesterification Reaction for Rigid Polyurethane Foam. *Materials Science Forum*, 846, 690–696. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.846.690>
18. Moya-Salazar, M. M., & Moya-Salazar, J. (2020). Biodegradation of waste used cooking oil by lipolytic fungi: An in vitro study. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(2), 351–359. <https://doi.org/10.20937/RICA.53054>
19. Murcia Ordoñez, B., Chaves, L. C., Rodríguez-Pérez, W., Andredy Murcia, M., & Alvarado, E. R. (2013). Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 61-70. Recuperado a partir de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/39751>
20. Oldham, D., Rajib, A., Dandamudi, K. P. R., Liu, Y., Deng, S., & Fini, E. H. (2021). Transesterification of Waste Cooking Oil to Produce A Sustainable Rejuvenator for Aged Asphalt. *Resources, Conservation and Recycling*, 168(August 2020), 105297. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105297>

21. OMS, 2018. Replace trans fat, frequently asked questions. Version 18.7. Mayo 2018. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331304/WHO-NMH-NHD-18.7-eng.pdf>
22. PINEDA RODRÍGUEZ, CÉSAR ANDRÉS, & GUERRERO ERAZO, JHONIERS (2011). APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS GRASOS GENERADOS EN LOS RESTAURANTES Y COMIDAS RÁPIDAS DE PEREIRA.. *Scientia Et Technica*, XVII(47),264-269.[fecha de Consulta 6 de Septiembre de 2021]. ISSN: 0122-1701. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84921327053>
23. Restrepo, J. E. (2012). El desarrollo sostenible y el reciclaje del aceite usado de cocina a la luz de la jurisprudencia y el ordenamiento jurídico colombiano* Sustainable development and recycling of used cooking oil under the Colombian jurisprudence and juridical order O desen. 7(1), 109–122. <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/249>
24. Sanaguano, H., Bayas, F., Tigre, A., Moposita, D., Pomagualli, D., & Taco, C. (2014). APROVECHAMIENTO DE ACEITES COMESTIBLES USADOS DEL CANTÓN GUARANDA; ELABORANDO JABONES EMPLEANDO DOS MÉTODOS EXOTÉRMICO Y ENDOTÉRMICO PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL. *Revista De Investigación Talentos*, 1(I), 84-89. Recuperado a partir de <https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/89>
25. Satriadi, H., Pratiwi, I. Y., Khuriyah, M., Widayat, Hadiyanto, & Prameswari, J. (2022). Geothermal solid waste derived Ni/Zeolite catalyst for waste cooking oil processing. *Chemosphere*, 286(P1), 131618. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131618>
26. Sujatha S., M. Rajasimman, Development of a green emulsion liquid membrane using waste cooking oil as diluent for the extraction of arsenic from aqueous solution – Screening, optimization, kinetics and thermodynamics studies, *Journal of Water Process Engineering*, Volume 41, 2021, 102055, ISSN 2214-7144, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102055>.
27. Villabona Ortiz, A., Iriarte Pico, R., & Tejada Tovar, C. (2017). Alternativas para el aprovechamiento integral de residuos grasos de procesos de fritura. *Teknos Revista Científica*, 17(1), 21–29.
28. Yushi Liu, Zhenyun Yu, Chengbo Lv, Fanlu Meng, Yingzi Yang, Preparation of waste cooking oil emulsion as shrinkage reducing admixture and its potential use in high performance concrete: Effect on shrinkage and mechanical properties, *Journal of Building Engineering*, Volume 32, 2020, 101488, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobpe.2020.101488>.
29. Zhen Gao, Yingqun Ma, Yu Liu, Qunhui Wang, Waste cooking oil used as carbon source for microbial lipid production Promoter or inhibitor, *Environmental Research*, Volume 203, 2022, 111881, ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111881>.
30. Huiming Zhang, Qunwei Wang, Simon R. Mortimer, Waste cooking oil as an energy resource: Review of Chinese policies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 16, Issue 7, 2012, Pages 5225-5231, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.05.008>.