

Characterization of Recycled Edible Oils in their Physicochemical Properties as a Source of Bioglycerin and Biodiesel, in the city of Arequipa

Harold Chirinos-Urday Mg¹, Edwin Bocardo Delgado Dr²

¹Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, hchirinos@unsa.edu.pe

²Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, ebocardo@unsa.edu.pe

Abstract– The development of clean technology mechanisms (CDM) for the reduction of greenhouse gases (GHG) leads to economic savings in the use of fossil fuels. In this way, the present research uses the potful of the dining room of the National University of San Agustín (UNSA), which allows economic savings according to cash flows and CO2 emissions according to the thermodynamic balance of the process. In addition, it proposes constant monitoring of CO2 emissions using the Arduino card, which alerts the variance in CO2 emissions.

Keywords– Recycled Edible Oils, Physicochemical Properties, Biodiesel, Bioglycerin.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.204>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Caracterización de Aceites Comestibles Reciclados en sus Propiedades Fisicoquímicas como fuente de obtención de Bioglicerina y Biodiesel, en la ciudad de Arequipa

Harold Chirinos-Urday Mg¹, Edwin Bocardo Delgado Dr²

¹Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, hchirinos@unsa.edu.pe

²Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, ebocardo@unsa.edu.pe

Resumen– En la Industria Alimentaria de la ciudad de Arequipa, el desecho de fluidos procedentes de sus operaciones y procesos principalmente de fritura emite una cantidad considerable de Aceites Comestibles Reciclados. Por lo tanto, es necesario identificar puntos específicos de recolección y acopio resultado de actividades de personas especializadas en tales acciones, para luego proceder a Caracterizar estos Aceites Comestibles Reciclados respecto a sus Propiedades Fisicoquímicas, mediante Métodos de Análisis de Aceites y Grasas Comestibles (OMA); en cuanto a Humedad y Materias Volátiles, Cenizas, Densidad, Índice de Acidez, Índice de Refracción, Índice de Saponificación, Índice de Peróxidos, Impurezas, Insaponificable, Ácidos oxidados, Temperatura de Inflamación, Determinación de Jabón, Fósforo, Hierro, Plomo y Cobre; que permitirá describir sus propiedades como fuente de Materia Prima en la obtención de Bioglicerina y Biodiesel mediante la aplicación de Agentes Biológicos, en una posterior publicación.

Palabras Clave – Aceites Comestibles Reciclados, Propiedades Fisicoquímicas, Biodiesel, Bioglicerina.

1. INTRODUCCIÓN

En la industria alimentaria, la cantidad de aceites comestibles utilizados en procesos principalmente de fritura, en la actualidad ha alcanzado niveles considerables como subproducto en las diversas instalaciones de procesamiento de alimentos [1].

Estas cantidades en su gran mayoría no reportan un adecuado manejo para su desecho o reciclado, por parte de quienes lo emiten u organismos municipales responsables del manejo de tales residuos, como también del procedimiento para su recolección y acopio para evitar estos inconvenientes [2]. En tal sentido, es necesario propuestas de procesamiento de estos aceites comestibles reciclados que permitan obtener componentes en la mejora de la conservación y sostenibilidad medioambiental [3].

Los aceites comestibles reciclados, tienen un manejo no adecuado en la ciudad de Arequipa, tanto a nivel doméstico

como industrial. Debido a las características propias de estos fluidos viscosos, de alta adherencia y difícil retiro de superficies, su desecho manifiesta cierto grado de complejidad por partes de sus manipuladores [2,3].

Según los Métodos Oficiales de Análisis de Alimentos, en su Capítulo IV, Métodos de Análisis de los Aceites y Grasas Comestibles, el cual presenta hasta 59 Métodos de Análisis, se ha referenciado para la Caracterización de los Aceites Comestibles Reciclados [4].

Los procedimientos de acopio y recolección de los Aceites Comestibles Reciclados se realizan a través de un muestreo estratificado al azar, de los diferentes puntos de personas especializadas en la identificación, transporte, almacenamiento y comercialización de tales fluidos [1,2].

De tal manera, que una vez que se ha identificado los puntos de recolección y acopio de los Aceites Comestibles Reciclados, se procede a su Caracterización en cuanto a sus Propiedades Fisicoquímicas, mediante Métodos Oficiales de Análisis de Alimentos, que permite reconocer las características de tales residuos de la Industria Alimentaria, para su posterior procesamiento en la obtención de Bioglicerina y Biodiesel, por acción de Agentes Biológicos, motivo de una posterior publicación [4-7].

2. EXPERIMENTAL

2.1. Identificación de Puntos de Recolección y Acopio.

En la actualidad, en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero de la ciudad de Arequipa, ver Fig. 1 y Fig. 2, con una población económicamente activa (PEA) de 30 550 habitantes, se contabiliza más de 200 establecimientos de preparación de alimentos, principalmente en la fritura de cortes de papa, en la elaboración de la extensa gastronomía Arequipeña, como lo son las denominadas salchipapas y como acompañante del pollo a la brasa. Por lo tanto, los volúmenes a utilizar en esta fritura están en la proporción de 3 a 1 respecto de la masa de los cortes de papa freír, por inmersión a 160 °C durante 10 minutos, ver Fig. 3.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.204>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

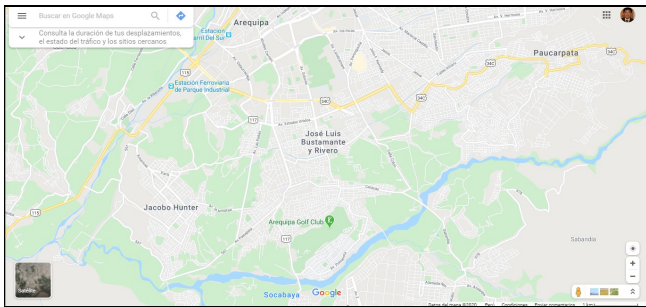


Fig. 1. Geolocalización en mapa distrito José Luis Bustamante y Rivero.

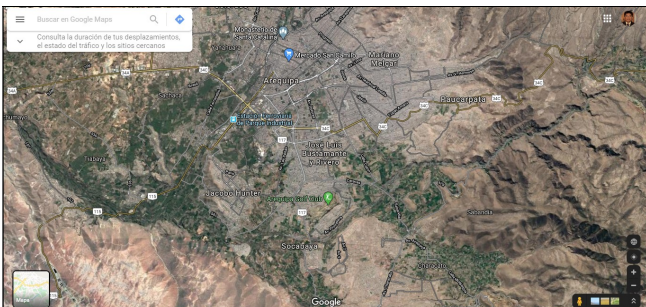


Fig. 2. Geolocalización satelital distrito José Luis Bustamante y Rivero.



Fig. 3. Fritura de cortes de papa por inmersión.

En promedio un establecimiento que elabora cortes de papas fritas consume 20 litros de aceite comestible a la semana, lo que ocasiona un remanente, en promedio de 15 litros de aceite a la semana.

Por lo tanto, a través de un muestreo estratificado se ha considerado un total de 50 puntos de muestreo para la recolección del aceite comestible reciclado.

En cuanto al procedimiento de recolección y acopio, se ha procedido a almacenar y transportar aceite comestible reciclado a una temperatura en promedio de 23 °C, en recipientes de polietilentereftalato (PET), hacia los Laboratorios de Investigación y Servicios (LABINSERV) de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA).

LABINSERV cuenta con un área construida de 244 m² la misma que está distribuida en diferentes ambientes con el fin de satisfacer sus necesidades de ordenamiento. Laboratorio se encuentra en el primer piso del pabellón de Química al que se ha designado el número 108. Para una mejor visión se acompaña el plano del área y distribución del laboratorio. El laboratorio presta servicios de Investigación de Tesis a los alumnos egresados de pregrado y posgrado que lo soliciten. El laboratorio ha ganado dos proyectos el de implementación por dos millones y el de investigación por cuatrocientos mil soles. Se tiene convenio con el Laboratorio de Investigación de la Universidad Católica San Pablo. Teniendo los siguientes servicios:

- Análisis de Agua: Para Consumo Humano, Agropecuario, Industrial, Servidas, Residuales, Subterráneas, etc.
- Análisis de Alimentos: Productos lácteos, cárnicos, cereales, especias y condimentos, grasas y aceites comestibles, hortalizas y verduras, alimentos balanceados, colorantes y aditivos alimenticios, bebidas no alcohólicas, alcohólicas y espirituosas, etc.
- Análisis de Minerales: Minerales metálicos y no metálicos, rocas, caliza, arcilla, etc.
- Análisis de Suelos y Rocas no Metálicas: Potasio, cloruro, salinidad, pH, Cal útil, nitrógeno, sulfatos, carbonato de calcio, fosforo, carbonatos, conductividad, humedad, sales solubles, etc.
- Análisis de Combustibles: Aguas y sedimentos, agua por extracción con solventes, densidad, temperatura de destilación al 10%, 50%, 90%, punto de fluidez, punto de inflamación, índice de diésel, cifra cetánica, etc.
- Análisis de Aceites: Viscosidad a 38.9 °C y 98 °C, cenizas sulfatadas, poder calórico, determinación de Cu, Fe, Ca, Mn, y Na, insolubles por etanol en aceites usados, Índice de viscosidad, punto de fluidez.
- Material de Vidrio: Soldadura, doblado y reparación de material de vidrio.

Posteriormente, el aceite comestible reciclado, se almacena en un ambiente limpio, fresco y ventilado; luego se ha procedido a esperar la sedimentación de residuos sólidos en su interior, teniendo finalmente una muestra representativa para su análisis de laboratorio en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas, para su caracterización, en cuanto a Humedad y Materias Volátiles, Cenizas, Densidad, Índice de Acidez, Índice de Refracción, Índice de Saponificación, Índice de Peróxidos, Impurezas, Insaponificable, Ácidos oxidados, Temperatura de Inflamación, Determinación de Jabón, Fósforo, Hierro, Plomo y Cobre, ver Fig. 4 y Fig. 5.

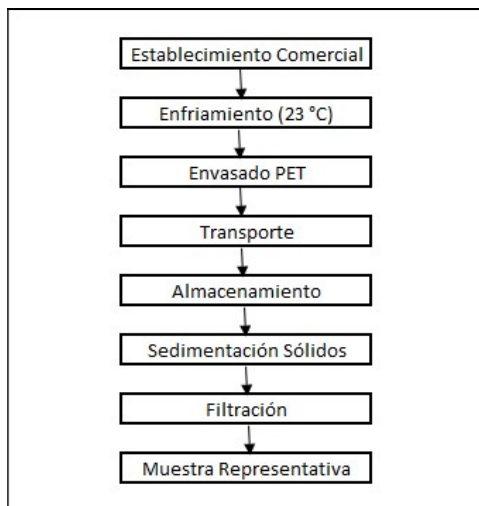


Fig. 4. Flujograma del Procedimiento de recolección y acopio.



Fig. 5. Muestra representativa de aceites comestibles reciclados.

Esta investigación, predispone caracterizar a través de sus propiedades fisicoquímicas los aceites comestibles reciclados representados a través de la muestra, que permita describir las características de los aceites que se manipulan en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero de la ciudad de Arequipa, como una propuesta de materia prima a utilizar en la obtención de Bioglicerina y Biodiesel mediante agentes biológicos.

2.2. Preparación de la Muestra.

Permite fijar las condiciones generales de preparación de la muestra, si es necesario, según el método puede tener especificidad. [4]

2.3. Métodos de Análisis de los Aceites y Grasas Comestibles.

2.3.1. Humedad y Materias Volátiles (Método de la estufa de vacío).

Permite fijar las condiciones favorables en la determinación de agua y materias volátiles, según las

condiciones de las muestras comerciales. Capítulo IV – 9(b) AOAC. [4]

2.3.2. Cenizas.

Permite expresar el residuo mineral de las muestras previamente filtradas. Capítulo IV – 26 AOAC. [4]

2.3.3. Densidad.

Considerar controlar la temperatura, debido a que la densidad de las muestras varía aproximadamente 0.00068 por grado. Capítulo IV – 4 AOAC. [4]

2.3.4. Índice de Acidez.

Permite expresar el gramo de muestra neutralizada con mg de hidróxido de potasio. Capítulo IV – 10(a) AOAC. [4]

2.3.5. Índice de Refracción.

Considerar controlar la temperatura y las condiciones del ambiente de ubicación de la muestra. Capítulo IV – 6 AOAC. [4]

2.3.6. Índice de Saponificación.

Permite expresar el gramo de muestra saponificada con mg de hidróxido de potasio. Capítulo IV – 11(a) AOAC. [4]

2.3.7. Índice de Peróxidos.

Considerar las condiciones fijadas por la metodología. Capítulo IV – 21 AOAC. [4]

2.3.8. Impurezas.

Permite expresar las sustancias insolubles en un solvente volátil en las condiciones del ambiente de ubicación de la muestra. Capítulo IV – 25 AOAC. [4]

2.3.9. Insaponificable (Método éter etílico).

Permite expresar los gramos de sustancias no saponificables en elevada cantidad, no solubles en agua pero si en el solvente utilizado, por cada 100 gramos de muestra. Capítulo IV – 22 (b) Éter etílico. [4]

2.3.10. Ácidos oxidados.

Considerar las condiciones de la muestra para la expresión de la no solubilidad en éter de petróleo. Capítulo IV – 20 AOAC. [4]

2.3.11. Temperatura de Inflamación.

Controlar las condiciones de la muestra, expuesta al aire, para la inflamación instantánea de sus vapores emitidos. Capítulo IV – 44 AOAC. [4]

2.3.12. Determinación de Jabón.

Permite expresar jabones alcalinos, magnésicos o cálcicos (y de sus iones), neutralizados con sus respectivas bases, para su separación por centrifugación. Capítulo IV – 30.1 AOAC. [4]

2.3.13. Fósforo.

Identificación por absorción atómica. Colorimétrico AWWA. [8]

2.3.14. Hierro.

Identificación por absorción atómica. [8]

2.3.15. Plomo.

Identificación por absorción atómica. [8]

2.3.16. Cobre.

Identificación por absorción atómica. [8]

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Determinados los puntos de muestreo para la recolección y acopio de los aceites comestibles reciclados, se procede a caracterizar respecto a sus propiedades fisicoquímicas, cuyos resultados de los análisis realizados se muestran en la Tabla 1.

Tabla. 1. Propiedades Fisicoquímicas Aceites Comestibles Reciclados.

Análisis	Unidad	Resultado	Método de Ensayo
Humedad	%	0.09	Capítulo IV – 9(b) AOAC
Cenizas	%	0.01	Capítulo IV – 26 AOAC
Densidad	g/mL	0.9171	Capítulo IV – 4 AOAC
Índice de Acidez	% Ác. Oleico	3.52	Capítulo IV – 10(a) AOAC
Índice de Refracción		1.4744	Capítulo IV – 6 AOAC
Índice de Saponificación	mg KOH	196.81	Capítulo IV – 11(a) AOAC
Índice de Peróxidos	meq/1000 g	10.15	Capítulo IV – 21 AOAC
Impurezas	%	0.14	Capítulo IV – 25 AOAC
Insaponificable	%	0.13	Capítulo IV – 22 (b) Éter etílico
Ácidos Oxidados	%	0.89	Capítulo IV – 20 AOAC
Punto de Inflamación	°C	317.00	Capítulo IV – 44 AOAC
	°F	602.60	
Determinación de Jabón	%	> 0.001	Capítulo IV – 30.1 AOAC
Fósforo	ppm	81.65	Colorimétrico AWWA
Hierro	ppm	0.66	Absorción Atómica
Plomo	ppm	1.45	Absorción Atómica
Cobre	ppm	0.92	Absorción Atómica

Fuente: LABINVSERV - UNSA.

3.1. Humedad y Materias Volátiles (Método de la estufa de vacío).

El valor de humedad registrado en los aceites comestibles reciclables reporta un valor de 0.09%, manifiesta la manipulación y exposición al ambiente de los volúmenes de aceites luego de su utilización. Es conveniente el nivel observado de contenido de humedad para evitar posibles reacciones de ranciamiento de los aceites con contenidos elevados de humedad. Existe una considerable diferencia con los resultados reportados en aceite residual de frituras, con un promedio de 1.257% [9]. Teniendo como consideración que la mayor parte del año en Arequipa, la humedad relativa del aire es de 30%.

3.2. Cenizas.

El valor reportado en el análisis fisicoquímico es de 0.01%, por lo tanto, estos indicadores demuestran la procedencia principalmente vegetal de los aceites comestibles, los cuales luego del proceso de fritura, no arrastran componentes minerales de los materiales con los cuales han estado en contacto a temperaturas superiores de los 100 °C. En caso contrario, valores elevados de contenido de cenizas, interfieren

3.3. Densidad.

De acuerdo con el valor obtenido de 0.9171 g/mL es inferior respecto a 0.95 g/mL [3]. Teniendo un valor muy semejante al reportado en aceite residual de frituras, en promedio de 0.9156 g/mL [9]. Es importante considerar este valor para el diseño del biorreactor a utilizar en la posterior aplicación del aceite comestible reciclado, debido al ofrecer menor resistencia al movimiento, las paletas del sistema de agitación del biorreactor no presentarán inconvenientes en desarrollar su movimiento circulares y constantes dentro del tanque del biorreactor.

3.4. Índice de acidez.

Los valores obtenidos son considerablemente elevados, 3.52 % expresado en ácido oleico; comparados con 0.326 % y 0.86 % en promedio, expresado en ácido oleico en aceite proveniente de maíz y girasol respectivamente, en aceites usados en frituras [1]. De esta manera, que, en su posterior utilización, será necesario de neutralizar este alto porcentaje en favor del uso de agentes biológicos en el acondicionamiento del medio aceitoso para regular y mantener un valor de pH específico. En el caso de aceite residual de frituras, en promedio 2.47% expresado en ácido oleico, manifiesta aún valores menores [9].

3.5. Índice de Refracción.

El valor de 1.4744 manifiesta la presencia de componentes que permiten manifestar la típica coloración de los aceites, de una apariencia acaramelada brillante; a su vez, expresando presencia de ácidos grasos libres con cierto grado de insaturación. Según en aceite residual de frituras, con el valor promedio de 1.4670 [9], los resultados muestran cierta semejanza.

3.6. Índice de Saponificación.

Los valores registrados de 196.81 mg de KOH, son inferiores a los publicados en aceite residual de frituras, con 199.7 mg de KOH [9], pero mayores a los reportados en aceites usados en frituras de 134.75 mg de KOH [1]; teniendo como condicionante que la manipulación de los aceites comestibles reciclados no ha permitido la posibilidad de reacciones específicas de saponificación, con una baja descomposición de triglicéridos.

3.7. Índice de Peróxidos.

De acuerdo con los resultados, se tiene un valor de 10.15 meq/1000 g de muestra de aceite comestible reciclado, teniendo una cierta proximidad con los valores reportados en aceite residual de frituras, con un valor promedio de 10.4483 meq/1000 g de muestra [9]. Un factor como la temperatura promedio de la ciudad de Arequipa de 23 °C, permite que la presencia de peróxidos no presente un aumento considerable.

3.8. Impurezas.

El contenido de impurezas relativamente no es tan elevado, con un valor de 0.14%, teniendo en cuenta que luego de la recolección y acopio de los aceites comestibles reciclados, se ha procedido a una separación por sedimentación y filtración de componentes sólidos presentes en el aceite.

3.9. Insaponificable (Método éter etílico).

El contenido de materia insaponificable, no supera el valor del 2% de los aceites comestibles, teniendo un valor de 0.13%, que tiene un efecto en el color, aroma y sabor. Así también, están considerados compuestos relacionados con los ácidos grasos (fosfolípidos, ceras, ésteres de esteroides), y no relacionados con los ácidos grasos (escualeno, alcoholes grasos, esteroides, tocoferoles, pigmentos, polifenoles).

3.10. Ácidos oxidados.

El valor obtenido de 0.89%, propios del proceso de fritura por la elevada temperatura (180 °C), teniendo en cuenta que la presencia de ácidos grasos libres favorece su oxidación inmediata. El grado de toxicidad de los compuestos oxidados (peróxidos, cetonas, aldehído y alcoholes) de alguna manera puede influir en un posible tratamiento de los aceites con microorganismos para su procesamiento en la obtención de biodiesel. Por lo tanto, es importante que los valores obtenidos sean bajos [10].

3.11. Temperatura de Inflamación.

La temperatura de inflamación (punto de humo) registrado es de 317 °C comparado con el obtenido en *Jatropha curcas L.*, con un valor de 160 °C [11] y de diferentes aceites comestibles, en promedio de 249.8 °C [12]. Esto permite garantizar que al ser una mezcla de distintos aceites comestibles reciclados, puede soportar procesos térmicos severos en su posterior procesamiento.

3.12. Determinación de Jabón.

Debido a las condiciones propias de la recolección y acopio de los aceites comestibles reciclados, los análisis de laboratorio registran un contenido superior al 0.001%. Este valor manifiesta una relación con el valor reportado en Saponificación, lo que predispone a una posible utilidad en el uso de agentes químicos para su procesamiento.

3.13. Fósforo.

El valor obtenido de contenido de fósforo de 81.65 ppm, es el más elevado en comparación con la presencia de hierro, plomo y cobre. Es importante tener en cuenta que, al ser aceites reciclados, la acción térmica del proceso de fritura manifiesta intercambio de componentes con los alimentos sumergidos en los aceites.

3.14. Hierro.

El valor obtenido de contenido de hierro de 0.66 ppm, es elevado en comparación con aceites vegetales comestibles, 0.0352 ppm como en aceite de maíz [13]. Es considerable que algunos establecimientos no presentan en sus instalaciones aceros inoxidable, lo que permite el arrastre de posibles óxidos de hierro como remanentes en el aceite de fritura.

3.15. Plomo.

El valor obtenido de contenido de plomo de 1.45 ppm, es elevado en comparación con 0.0074 ppm en aceite de oliva virgen [13]; también con respecto a 0.0942 ppm en aceite de oliva virgen [14]. Los contenidos de plomo pueden tener un origen por el incremento del parque automotor en la ciudad de Arequipa, donde aún se utilizan combustibles con plomo como antidetonante, el que finalmente se aloja durante la recolección y acopio de los aceites.

3.16. Cobre.

El valor obtenido de contenido de cobre de 0.92 ppm, es elevado en comparación con 0.085 ppm en aceite de almendra [13]; también con respecto a 0.0249 ppm en aceites de oliva virgen [14]. La gastronomía Arequipeña utiliza peroles de cobre en sus procesos de fritura, el que de manera semejante al hierro, se aloja en forma de óxidos de cobre luego del proceso de fritura.

4. CONCLUSIONES

Es necesario propuestas viables para el procesamiento de aceites comestibles reciclados que permitan mitigar los efectos ambientales en su manipulación, en beneficio de la industria alimentaria creciente respecto a la utilización de aceites vegetales principalmente para fritura de tubérculos como la papa en cortes, empleados en la gastronomía Arequipeña.

Tiene relevancia los planes de acción para la recolección y acopio de aceites comestibles reciclados tanto de entidades gubernamentales como privadas, para el buen manejo de los estos fluidos viscosos, que involucren capacitación y creación de cultura de reciclaje en la población involucrada en su manipulación, tanto a nivel doméstico como industrial, en la ciudad de Arequipa.

Los Métodos Oficiales de Análisis de Alimentos, permiten caracterizar los aceites comestibles reciclados, respecto a sus

propiedades fisicoquímicas, lo que permite identificar el comportamiento de estos fluidos como fuente de materia prima en el procesamiento mediante agentes biológicos para la obtención de Bioglicerina y Biodiesel, en el complemento de esta publicación.

Los valores registrados de los métodos y ensayos de laboratorio en el análisis de caracterización de aceites comestibles reciclados muestran diferencias con publicaciones anteriores respecto a aceites comestibles, es importante considerar que la caracterización de aceites comestibles reciclados permite interactuar información para propuestas de su procesamiento en beneficio de mantener la sostenibilidad medioambiental de las ciudades.

TRABAJO FUTURO

Para el 2020 se completará la investigación a base de la Caracterización Fisicoquímica de los Aceites Comestibles Reciclados como fuente de obtención de Bioglicerina y Biodiesel a través de agentes biológicos.

RECONOCIMIENTO

Manifiestar mi gratitud a la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa en Perú, por otorgarme la subvención económica con N° Contrato TD-003-2018-UNSA para la realización de este proyecto de investigación en mejora de la sostenibilidad ambiental de la ciudad de Arequipa.

REFERENCIAS

- [1] P. Albarracín, F. Garay, V. Di Carlo, M. González-Chavira, M. Tereschuk, S. Chauvet, H. Genta, “Estudios de caracterización de aceites usados en frituras para ser utilizados en la obtención de jabón”, *Investigación y Desarrollo*, pp 32, 1–7, 2015.
- [2] E. Abad, A. Acosta, A. Burgos, B. Crisanto, J. Eyzaguirre, J. Rivera, “Análisis y diseño de un sistema de recolección y tratamiento de aceites domésticos usados para la producción de biodiesel en la ciudad de Piura y Castilla”, 2014.
- [3] O. Meníz, M. Gerald, “Mejora de Procesos para optimizar los volúmenes de obtención de glicerina y biodiésel en laboratorio a partir de aceite vegetal reciclado en la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO–ATE”, 2018.
- [4] W. Horwitz, “Métodos oficiales de análisis (Vol. 222)”, Washington, DC: Asociación de Químicos Analíticos Oficiales, 1975.
- [5] N. Kabbashi, N. Mohammed, M. Alam, M. Mirghani, “Hydrolysis of *Jatropha curcas* oil for biodiesel synthesis using immobilized *Candida cylindracea* lipase”, *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, pp. 116, 95–100, doi:10.1016/j.molcatb.2015.03.009, 2015.
- [6] M. Talukder, J. Wu, L. Chua, “Conversión de aceite de cocina residual en biodiesel mediante hidrólisis enzimática seguida de esterificación química”, *Energía y combustibles*, pp. 24 (3), 2016-2019, doi: 10.1021 / ef9011824, 2010.
- [7] A. Ben, K. Zaafour, W. Baghdadi, S. Naoui, A. Ouerghi, “Second generation biofuels production from waste cooking oil via pyrolysis process”, *Renewable Energy*, pp. 126, 888–896, doi: 10.1016/j.renene.2018.04.002, 2018.
- [8] E. Viladrich, M. Forcadell, S. Buxaderas, A. Mariné-Font, “Determinación de cobre e hierro en grasas comestibles por espectrofotometría de absorción atómica y plasma acoplado por inducción”, *Grasas y aceites (Sevilla)*, pp. 37(2), 77-80, 1986.
- [9] J. Restrepo, J. Velez, “Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (Biodiesel)”, Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, Especialización en Logística Empresarial, 2008.
- [10] W. Liu, B. Inbaraj, B. Chen, “Análisis y formación de ácidos grasos trans en aceite de soja hidrogenado durante el calentamiento”, *Food Chemistry*, pp. 104 (4), 1740-1749, 2007.
- [11] S. García-Muentes, F. Lafargue-Pérez, B. Labrada-Vázquez, M. Díaz-Velázquez, A. Sánchez del Campo-Lafita, “Propiedades fisicoquímicas del aceite y biodiesel producidos de *Jatropha curcas* L. en la provincia de Manabí, Ecuador”, *Revista Cubana de Química*, pp. 30 (1), 142-158, 2018.
- [12] C. Rodríguez-Martínez, F. Lafargue-Pérez, J. Sotolongo-Pérez, A. Rodríguez-Poveda, J. Chitue de Assuncao Nascimento, “Determinación de las propiedades físicas y carga crítica del aceite vegetal *Jatropha curcas* L”, *Ingeniería Mecánica*, pp. 15(3), 170-175, 2012.
- [13] E. Pehlivan, G. Arslan, F. Gode, T. Altun, M. Özcan, “Determinación de algunos metales inorgánicos en aceites vegetales comestibles mediante espectroscopia de emisión atómica con fuente de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES)”, *Grasas y aceites*, pp. 59(3), 239-244, 2008.
- [14] K. Bakkali, E. Ballesteros, B. Souhail, N. Martos, “Determination of metal traces in vegetable oils from Spain and Morocco by graphite chamber atomic absorption spectroscopy following microwave digestion”. *Grasas y Aceites*, pp. 60(5), 492-499, 2009.
- [15] S. Cai, Y. Zhang, F. Xia, G. Shen, J. Feng, “An expert system based on ¹H NMR spectroscopy for quality evaluation and adulteration identification of edible oils”, *Journal of Food Composition and Analysis*, pp. 84, 103316, doi:10.1016/j.jfca.2019.103316, 2019.
- [16] M. Juárez, N. Sammán, “El deterioro de los aceites durante la fritura”, *Revista española de nutrición comunitaria*, pp. 13(2), 82-94, 2007.
- [17] A. Ramírez, A. Castañeda, J. Ramírez, “Cambios químicos de los aceites comestibles durante el proceso de

- fritura. Riesgos en la salud”, Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingeniería, pp. (3), 2014.
- [18] P. Navas, “Caracterización físico-química del aceite de semillas de uva extraído con solvente en frío”, Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia, pp. 27(2), 270-288, 2010.
- [19] A. Vioque, M. Del Pilar Villagrán, “Elementos trazas en grasas comestibles. II”, Microchimica Acta, pp. 44(4-6), 804–811, doi:10.1007/bf01262122, 1956.
- [20] A. Mannu, M. Ferro, G. Dugoni, W. Panzeri, G. Petretto, P. Urgeghe, A. Mele, “Improving the recycling technology of waste cooking oils: Chemical fingerprint as tool for non-biodiesel application”, Waste Management, pp. 96, 1–8. doi: 10.1016/j.wasman.2019.07.014, 2019.
- [21] H. Lu, C. Wei, H. Fu, X. Li, Q. Zhang, J. Wang, “Identification of Recycled Cooking Oil and Edible Oils by Iodine Determination and Carbon Isotopic Analysis”, Journal of the American Oil Chemists’ Society, pp. 92(11-12), 1549–1553, doi:10.1007/s11746-015-2726-0, 2015.
- [22] M. Kalpio, M. Nylund, KM. Linderborg, B. Yang, B. Kristinsson, GG. Haraldsson, H. Kallio, “Enantioselective chromatography in analysis of triacylglycerols common in edible fats and oils”, Food Chemistry, pp. 172, 718–724, doi: 10.1016 / j.foodchem.2014.09.135, 2015.
- [23] N. Tippkötter, S. Wollny, K. Suck, U. Sohling, F. Ruf, R. Ulber, “Recycling of spent oil bleaching earth as source of glycerol for the anaerobic production of acetone, butanol, and ethanol with Clostridium diolis and lipolytic Clostridium lundense”, Engineering in Life Sciences, pp. 14 (4), 425–432, doi: 10.1002 / elsc.201300113, 2014.
- [24] T. Liu, Y. Zhou, J. Lv, Z. Chen, B. Li, Y. Shi, “Authentication of Edible Vegetable Oil and Refined Recycled Cooking Oil Using a Micro-UV Spectrophotometer Based on Chemometrics”, Journal of the American Oil Chemists Society, pp. 90 (11), 1599–1606, doi: 10.1007 / s11746-013-2311-3, 2013.
- [25] Y. Zhang, X. Bao, G. Ren, X. Cai, J. Li, “Analysing the status, obstacles and recommendations for WCOs of restaurants as biodiesel feedstocks in China from supply chain’ perspectives”, Resources Conservation and Recycling, pp. 60, 20–37, doi: 10.1016 / j.resconrec.2011.11.014, 2012.
- [26] S. Negishi, I. Hidaka, I. Takahashi, S. Kunita, “Transesterification of phytosterol and edible oil by lipase powder at high temperature”, Journal of the American Oil Chemists Society, pp. 80 (9), 905–907, doi: 10.1007 / s11746-003-0794-x, 2003.
- [27] A. Bailey, “Aceites y Grasas Industriales”, Reverte, 1961.
- [28] E. Graciani, “Los Aceites y Grasas: Composición y Propiedades”, A. Madrid Vicente, 2006.
- [29] V. Mehlenbacher, “Análisis de Grasas y Aceites”, Ediciones URMO, 1979.
- [30] H. Lawson, “Aceites y Grasas Alimentarios: Tecnología, Utilización y Producción”, Editorial Acribia, 1999.
- [31] S. Ziller, “Grasas y Aceites Alimentarios”, Editorial Acribia, 1996.
- [32] A. Madrid, I. Cenzano, J. Vicente, “Manual de Aceites y Grasas Comestibles”, A. Madrid Vicente, 1997.