







# Sustainable Synthesis of Biodiesel from Vegetable Oils Used in Restaurants







Wilton Jaime Bobadilla-Roman<sup>1</sup> , Joel Alexander Valderrama-De La Cruz<sup>1</sup> , Grant Ilich Llaque-Fernández<sup>1</sup> ,  
Josualdo Carlos Villar Quiroz<sup>1</sup> , Flor Calvanapon-Alva<sup>1</sup> , Karina Jacqueline Cardenas Rodriguez<sup>1</sup>   
Universidad Privada del Norte – UPN- Perú. [N00167982@upn.pe](mailto:N00167982@upn.pe), [N00172131@upn.pe](mailto:N00172131@upn.pe), [grant.llaque@upn.edu.pe](mailto:grant.llaque@upn.edu.pe),  
[josualdo.villar@upn.edu.pe](mailto:josualdo.villar@upn.edu.pe), [flor.calvanapon@upn.pe](mailto:flor.calvanapon@upn.pe), [Karina.cardenas@upn.edu.pe](mailto:Karina.cardenas@upn.edu.pe).

Abstract- Biodiesel is known as a renewable, less polluting, and biodegradable feedstock. This is due to the transesterification of triglycerides found in vegetable oil and animal fats. Therefore, the sustainable synthesis of biodiesel from used vegetable oil (AVU) in restaurants in La Esperanza was proposed as a general objective. First, the oil was heated to 60°C, then all impurities were filtered out of this sample with the help of filter paper; subsequently, the sample was characterized by parameters such as density, viscosity, and acidity index. The homogeneous catalyzed transesterification was carried out using methanol as alcohol and potassium hydroxide (KOH) as catalyst, obtaining biodiesel and glycerin. In addition, the study variables were agitation speed (800 rpm and 1000 rpm), amount of oil (80 g and 100 g), amount of catalyst (2 g and 6 g) and amount of methanol (40 g, 60 g, and 80 g). As a result, it was identified that at 60 g of methanol a higher yield of 77.19% was obtained. In conclusion, this proposal was viable because it is effective and appropriate for future projects. It also creates a culture of care for the environment and sanitary infrastructure, and provides a solution to the poor disposal of these contaminated wastes. On the other hand, we recommend applying more treatments and different homogeneous or heterogeneous catalysts; in this way, this biofuel can be specified as the main biofuel and its degree of contamination can be checked with the final product obtained.

Keywords-- Biodiesel, Transesterification, Used oil, biofuel.

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Síntesis Sostenible de Biodiésel a Partir de Aceites Vegetales Usados en Restaurantes

Wilton Jaime Bobadilla-Roman<sup>1</sup> , Joel Alexander Valderrama-De La Cruz<sup>1</sup> , Grant Ilich Llaque-Fernández ,  
Josualdo Carlos Villar Quiroz<sup>1</sup> , Flor Calvanapon-Alva<sup>1</sup> , Karina Jacqueline Cardenas Rodriguez<sup>1</sup>   
Universidad Privada del Norte – UPN- Perú. [N00167982@upn.pe](mailto:N00167982@upn.pe), [N00172131@upn.pe](mailto:N00172131@upn.pe), [grant.llaque@upn.edu.pe](mailto:grant.llaque@upn.edu.pe),  
[josualdo.villar@upn.edu.pe](mailto:josualdo.villar@upn.edu.pe), [flor.calvanapon@upn.pe](mailto:flor.calvanapon@upn.pe), [Karina.cardenas@upn.edu.pe](mailto:Karina.cardenas@upn.edu.pe).

**Resumen**– El biodiésel es conocido como una materia prima renovable, menos contaminante y biodegradable. Esto, se debe a la transesterificación de los triglicéridos que se encuentran en el aceite vegetal y las grasas animales. Por ello, se propuso como objetivo general la síntesis sostenible de biodiésel a partir de aceite vegetal usado (AVU) en restaurantes de La Esperanza. Primero, el aceite se calentó a 60°C, luego se filtraron todas las impurezas de esta muestra con la ayuda del papel filtro; posteriormente, la muestra se caracterizó mediante parámetros como densidad, viscosidad e índice de acidez. La transesterificación homogénea catalizada, se realizó utilizando metanol como alcohol e hidróxido de potasio (KOH) como catalizador, obteniéndose biodiésel y glicerina. Además, las variables de estudio fueron: velocidad de agitación (800 rpm y 1000 rpm), cantidad de aceite (80 g y 100 g), cantidad de catalizador (2 g y 6 g) y cantidad de metanol (40 g, 60 g, y 80 g). Como resultado se identificó que a 60 gramos de metanol se obtuvo un rendimiento mayor del 77,19%. En conclusión, esta propuesta resultó viable porque es efectiva y apropiada para realizar en futuros proyectos. Asimismo, crea una cultura de cuidado del medio ambiente y de la infraestructura sanitaria, y da solución a la mala disposición de estos residuos contaminados. Por otro lado, recomendamos aplicar más tratamientos y diferentes catalizadores homogéneos o heterogéneos; de esta forma, se puede especificar este biocombustible como principal y comprobar su grado de contaminación con el producto final obtenido.

**Palabras clave**-- Biodiésel, Transesterificación, Aceite usado, biocombustible.

## I. INTRODUCCIÓN

A inicios de la Revolución Industrial, la contaminación ha sido una de las principales ocupaciones humanas, provocando disminución de recursos naturales y materias primas. Una de estas materias primas más utilizadas, fue el aceite vegetal [1]. Hasta 1986, las grasas utilizadas para freír eran principalmente de origen animal. Posteriormente, la industria comenzó a utilizar combinaciones de grasas vegetales y animales; así como también, aceites parcialmente hidrogenados. Entre, los aceites más comúnmente empleados en el proceso de fritura se encuentran la oliva, girasol, soja, canola, entre otros [2]. Cabe destacar que, esta materia prima es sumamente importante para la industria alimentaria, y otros procesos; por lo que, se suele utilizar para todo tipo de comidas como frituras, ensaladas, horneados, etc. [3]

A pesar de los diversos tipos de aplicación, la mayoría de estos aceites se usan con mayor frecuencia en alimentos fritos; en donde, durante este proceso sufren cambios y alteraciones químicas [4].

Por ello, esta materia prima usada o el Aceite Vegetal Usado (AVU), es considerado un desecho ambientalmente peligroso por estar altamente contaminado. Esto, se debe a que el aceite a menudo ha sido sometido a frituras con altas temperaturas, liberando carcinógenos como el benzopireno; viéndose en la obligación a desecharlos, muchas veces de una manera errónea, degradando así, el medio ambiente [5], [6]. Un ejemplo de esto; sabiendo que, este residuo peligroso está altamente contaminado, es que al desechar 1 litro de AVU, este contiene 5.000 veces más contaminantes que el resto del agua que circula por alcantarillas y desagües, donde puede infectar 40.000 litros de agua [1].

Si bien es cierto, el uso de esta materia es indispensable para los hogares, hoteles y la mayoría de los restaurantes. No obstante, diversas acciones en su contra la vulneran gravemente; destruyendo así, redes de alcantarillado, ecosistemas, entre otros. A manera de ejemplo, ocasionando problemas recurrentes como la oxidación y estancamientos presentes en las redes de alcantarillado [7]. Como se ha descrito, el uso de aceites vegetales para freír es muy común en la cocina a nivel internacional, y Latinoamérica no es la excepción. A manera de ejemplo, con valores cercanos a la encuesta nacional 2008-2009, emitida por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en el año 2012, el consumo de aceite per cápita en el Perú, está en el orden de 6.5 litros al año o 500 ml al mes; desechándose la mayoría de estos residuos usados y contaminados, a las redes de alcantarillado o desagües [8].

En esa misma línea, la gravedad de este residuo usado ha sido tan severa, que ha sido considerado una problemática a nivel mundial. Tal como, en Asia, específicamente en China, consumen en gran cantidad el aceite vegetal, siendo el valor de 39,78 millones de toneladas al año; evidenciándose así, conflictos ambientales por la mala disposición de estos [9]. Aunado a esto, en Burkina Faso (África), se detalla que el AVU, destaca su importante papel en el desarrollo de enfermedades como el cáncer, y de tipo neurodegenerativas. Como resultado, los consumidores están expuestos a contaminantes tóxicos dentro de los alimentos [10].

De manera similar, sucede en América Latina; específicamente en Venezuela, se evidencian casos que pueden tener un impacto negativo directo en la salud humana [11]. Aunque, en Colombia, se identifica que gran parte de estos residuos contaminados se vierte en las alcantarillas de la ciudad [12]. Y esto suele pasar, porque evadimos el concepto de reaprovechamiento o reciclaje de los aceites usados, como alternativa de solución; por lo que, estos terminan vertidos como desechos en diferentes lugares [13]. Ocasionando diversos problemas; tales como, la disminución de la fertilidad

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

del suelo, la degradación del hábitat, la escasez de oxígeno en el agua, los elevados gastos operativos de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales y la disminución del diámetro de las tuberías de alcantarillado [14].

Por otro lado, en la ciudad de Tacna (Perú), se determinó que, en las redes sanitarias, el aceite usado en combinación con el agente de limpieza y los residuos de jabón doméstico, pueden formar las llamadas "bolas de grasa"; provocando así, repetidas situaciones de obstrucción del colector [15]. Agregando a lo anterior, en Piura, hay casos donde los habitantes desechan alrededor de 1 litro de estos residuos líquidos cada mes. Siendo así; un ejemplo más sobre la falta de educación ambiental, o compromiso de los mismos habitantes, al reaprovechamiento sostenible de estos residuos líquidos contaminados [5].

Ahora bien, en Lima hay muchas pollerías, chicharronerías, chifas que emplean el aceite vegetal usado para freír nuevamente los alimentos [16]. Por ello, siendo similar el caso en Trujillo, tuvieron que crear una normativa Ley N° 15418 dentro del cuadro de infracciones y sanciones administrativas (CISA) de la Municipalidad Distrital de La Esperanza; donde describe que, cuenta con infracciones por desechar aceites y grasas en la vía pública, proveniente de expendios de comidas, talleres de mecánica, etc.

Ante esta situación, los países desarrollados y subdesarrollados han ejecutado tratamientos factibles y sistemas de recolección para estos residuos. Por ejemplo, en Asia, siendo más específico en Indonesia, Turquía y Arabia Saudita, consideran que, una de las mejores rutas alternativas ecológicas y rentables para gestionar y valorizar AVU, es la conversión en biodiésel mediante la transesterificación enzimática; para así, hacer hincapié en las energías limpias y renovables emergentes. Además, al aplicar este método, evitaría el agotamiento de los suministros de combustibles fósiles [17], [18], [19]. De forma adicional, el continente europeo, siendo más específicos el Gobierno de La Rioja y el Consorcio de Aguas y Residuos en España, pusieron en marcha hace unos años una campaña para la recogida selectiva de los aceites usados domésticos; instalando eco contenedores especiales que se encuentran en centros comerciales y mercados, para su posterior reciclaje llamado Punto Limpio Móvil [20], [21].

Agregando a lo anterior, en América central, específicamente en Guatemala, la organización llamada "Fundación Solar" realizó una propuesta de proyecto de recolección de aceite usado para producir biodiésel; presentándose a la Organización de Estados Americanos (OEA), y siendo financiado por este, con el fin de contribuir a eliminar la contaminación del agua subterránea por aceite usado de cocina en dicha ciudad, adicionalmente, evitar que lo desechen a los desagües [22].

Por consiguiente, en América del Sur, específicamente en el Perú, en la urbanización San Isidro – Trujillo se realizó una investigación para verificar la metodología más eficiente para la obtención del biodiésel, logrando concluir que es factible realizar la obtención del biocombustible por medio del aceite

vegetal usado. Es así, como la síntesis de biodiésel constituye una de las alternativas más sostenibles para determinar la disposición final de este residuo líquido contaminado (AVU); a través de un proceso denominado "Transesterificación" [12], [23], [24].

Este método se ha empleado frecuentemente para minimizar la alta viscosidad de los triglicéridos. Generalmente se implementa catalizadores para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento. Es por ello por lo que, durante este proceso, un mol de triglicérido reacciona con tres moles de alcohol para producir tres moles de éster monoalquílico y un mol de glicerol. Asimismo, se suelen emplear diversos tipos de alcoholes para este proceso como el etanol, metanol, butanol, propanol, entre otros. Pero, el metanol es el tipo de alcohol más utilizado en la producción de biodiésel debido a sus beneficios físicos y químicos; por otra parte, su reacción con los triglicéridos es rápida [25], [26].

Agregando a lo anterior, suelen utilizar transesterificaciones de catalizador tipo homogénea, que son más amigables con el medio ambiente y económicos; dentro de ellos, los dos más utilizados son el NaOH y el KOH. También, existe del tipo heterogénea que son más utilizados a nivel industrial, caros, y uno de los más usados es el MgO. Por otro lado, existen otros métodos de uso no muy frecuente pero novedosos, como la transesterificación mediante electrocatalíticos que se pueden realizar sin utilizar catalizadores o cosolventes [27], [28], [29], [30].

De las evidencias anteriores, actualmente el Departamento de La Libertad, en la ciudad de Trujillo, específicamente dentro del distrito La Esperanza, se ha visto afectado por la falta de educación ambiental y mala disposición de estos residuos líquidos contaminados; por lo que, es idóneo realizar la investigación a partir de la siguiente pregunta: ¿En qué medida influye el aceite vegetal usado de restaurantes en la síntesis sostenible de biodiésel, La Esperanza – La Libertad 2022?

Es por ello, que el objetivo general consiste en la síntesis sostenible de biodiésel a partir de aceites vegetales usados en restaurantes; a fin de, establecer un biocombustible como alternativa de solución para toda la comunidad. Además, para garantizar la viabilidad y eficacia de dicho producto obtenido; se establecieron objetivos específicos, en donde se ejecutó la caracterización del aceite vegetal usado en los restaurantes; también, se realizó el análisis fisicoquímico y rendimiento del biodiésel obtenido. Por otra parte, se propuso un diseño y construcción de una planta de producción de biodiésel a partir de aceites vegetales usados en la Urbanización Parque Industrial – La Esperanza; con el fin de, garantizar la gestión del correcto desecho de este residuo líquido contaminado.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación presenta características del enfoque cuantitativo y tipo de diseño experimental; es así como, la síntesis sostenible del biodiésel se realizó a escala de laboratorio y fase de recolección de datos. De esta manera, obtener dicho biocombustible a través de los aceites vegetales

usados por medio de la transesterificación catalítica de tipo homogénea [31], [32]. Asimismo, esta investigación utilizó datos numéricos, que han sido obtenidos de los equipos como el densímetro y viscosímetro; para, poder determinar la caracterización del aceite vegetal usado y del biodiésel; además, poder calcular el rendimiento de este. Por otra parte, para la propuesta de diseño de la planta de producción de biodiésel, se utilizó la herramienta AutoCAD (versión libre); asimismo, para determinar el VAN y TIR en la factibilidad de construcción de dicha planta, se utilizó Microsoft Excel (versión libre).

Es así como, la población estuvo conformada por los aceites vegetales usados, proveniente de los 4 restaurantes de La Esperanza, siendo pieza clave para la síntesis sostenible de biodiésel. La muestra presentada en esta investigación es de 4 L de aceite vegetal usado, siendo suficiente para la ejecución de este experimento.

Al mismo tiempo, este trabajo fue desarrollado utilizando métodos experimentales observacionales relacionados con la síntesis sostenible de biodiésel a partir de aceites vegetales usados. Por lo que se estableció la siguiente metodología:

Primero, se realizó la adecuación de materia prima, donde se mezclaron las muestras recogidas en un solo matraz final; para así, poder realizar el proceso de filtrado haciendo uso del papel filtro. Con el fin de facilitar la filtración y disminuir la viscosidad del fluido, el aceite se sometió a una temperatura de 80 a 100 °C; esto, con la ayuda de una cocina eléctrica.

Luego, para la caracterización de aceite vegetal usado, existen los parámetros como índice de acidez, densidad y viscosidad. Por lo que, para determinar la medición de la densidad, se utilizó un picnómetro que contenía agua destilada como estándar; y para determinar la medición de viscosidad, se utilizó el viscosímetro de Ostwald. Además, con la fórmula establecida se determinaron los valores de ambos parámetros.

$$\rho = \frac{\text{Peso del picnómetro (muestra - vacío)}}{\text{Peso del picnómetro (agua - vacío)}}$$

Ecuación 1. Fórmula de densidad

$$V = \frac{\rho_1 \times t_1}{\rho_2 \times t_2} \times n_2$$

Ecuación 2. Fórmula de viscosidad

Por último, haciendo uso de las Normas Técnicas Peruanas – NTP “Aceites y grasas comestibles”, NTP-CODEX STAN 210:2014, se verificó su cumplimiento.

Después, se halló el índice de acidez, refiriéndose a la cantidad de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) utilizados para neutralizar los ácidos grasos libres que están presentes en un gramo de aceite [33]; asimismo, considerándolo un indicativo de calidad de aceite o grasa. Es así como, en base a lo que realizó [34]; de la misma forma, se procedió a pesar 5 gramos de aceite y se colocó en el Erlenmeyer (vidrio) de 250 mL. A su vez, se añadió 50 mL de una mezcla etanol – éter

etílico (1:2). Asimismo, se añadió 4 gotas de fenolftaleína; al mismo tiempo, como indicador se valoró con una solución etanólica de hidróxido de potasio (KOH) 0,1N, hasta el viraje del indicador.

Por otro lado, para el montaje experimental, se procedió a armar las peras de decantación puestas en un soporte universal con dos pinzas; estas, sirviendo para verter la disolución mezclada del aceite vegetal usado (AVU) con el hidróxido de potasio (KOH) y el metanol; donde, se dejó a reposar durante 24 horas. Posterior a ello, se verificó la separación entre el biodiésel y la glicerina.

Por otra parte, para evidenciar la síntesis de biodiésel; una vez filtrada las muestras de aceite vegetal usado, se pesó un vaso de precipitación de 1 L, en la balanza sin ningún líquido en su interior. Se taró, y agregó 80 gramos de aceite vegetal usado. Posterior a ello, el vaso de precipitación se colocó en un agitador magnético durante 15 minutos a 50°C con 400 (RPM), aplicando esto, en varios tratamientos con sus respectivas repeticiones realizadas.

Al instante, se procedió a preparar el primer tratamiento (T1); es así, que se agregó la solución compuesta con 2 gramos de hidróxido de potasio (KOH) actuando como catalizador, en una cantidad medida de 40 mL de alcohol (metanol) sin presencia de calor. Al pasar 15 minutos de agitación de la muestra del aceite vegetal usado filtrado, se procedió a mezclar la disolución completa; en donde, se calentó está a 50°C, pero se subió a 1000 (RPM), durante 120 minutos. Posterior a ello, la botella se selló con papel de aluminio, para evitar que el alcohol se evaporara. De igual manera, tal como se ve en la Figura 1, se dejó a reposar durante 24 horas para identificar así, la separación entre el biodiésel y la glicerina. Es así, como la mezcla formó dos capas distintas, donde, la fase superior contiene ésteres metílicos, y la fase inferior contiene glicerol.



**Fig.1.** Separación de biodiesel parte superior e inferior glicerol

Igualmente, para el segundo tratamiento (T2), se realizó la misma metodología; pero, se trabajó a una agitación de 800 (rpm) y 60g de metanol. Cabe recalcar que, el resto de los parámetros no varía. En cambio, el tercer tratamiento (T3), consistió en variar 3 parámetros, 100 g de aceite usado, 6g de KOH y 80g de metanol. De este modo, todos los ensayos se realizaron por triplicado; a su vez, estos valores obtenidos han

sido detallados en un cuadro de tratamientos, tomando en cuenta las variables (T1, T2 y T3).

En ese mismo contexto, obtenido la materia prima principal, se procedió a lavarlo con agua destilada en un 40% al volumen del biocombustible, y se agitó durante un minuto, hasta que no haya liberación de jabones; con el fin, de lavar el biodiésel y purificar la muestra. Luego, se colocó en una pera de decantación durante 24 horas (primer lavado). Transcurrido el tiempo mencionado, en la parte baja se pudo apreciar gran cantidad de impurezas mostrando un color blanco lechoso (ver Figura 5). Se repitió el procedimiento, hasta obtener el agua transparente, lo que nos indicó que el biodiésel se encontraba sin impurezas. Es así como, se procedió a realizar 3 repeticiones; en donde, el primer lavado era de 24 horas, finalmente, el segundo y tercer lavado se realizó en un tiempo de reposo de 1 hora.

Al respecto, con el secado de biodiésel, se calentó en una cocina eléctrica a una temperatura de 50 °C según la literatura, y se controló la temperatura manualmente con un termómetro digital; es así como, la medición de temperatura se mantuvo desde la evaporación hasta el secado total del agua, repitiendo el mismo procedimiento para todas las repeticiones (T1, T2 y T3).

Por otro lado, durante las pruebas de calidad de biodiésel, se determinó la calidad del biocombustible bajo pruebas según los Métodos Estandarizados de Análisis (ASTM); en donde, para los parámetros físicos como la densidad se usó el método (ASTM D1298), para la viscosidad el método (ASTM D445), adicionalmente, para verificar la viabilidad de los resultados se usó la Norma Técnica Peruana NTP 321.125:2019.

En esa misma línea, para el análisis de rendimiento de biodiesel, una vez secadas las muestras obtenidas de biodiésel y glicerina; se procedió a pesar por separado cada muestra, en cada uno de los beakers de vidrio. Después de pesar, se halló el cálculo del rendimiento mediante la fórmula del R (%) [35] (véase en la Ecuación 3).

$$R(\%) = \frac{\text{Peso de biodiésel (g)}}{\text{Peso inicial del aceite (g)}} \times 100$$

### Ecuación 3. Formula de rendimiento

Finalmente, se realizó dicha propuesta de diseño y construcción de una planta de producción de biodiesel, debido a la mala gestión y desecho de estos residuos líquidos contaminados por parte de dicha comunidad; por lo que, con el fin de darle un reaprovechamiento sostenible a este residuo contaminado, se generaría el biodiésel dentro de la planta. Asimismo, se propuso recomendaciones de alternativas de provecho para el subproducto y las aguas residuales, generadas durante el proceso.

Ante lo mencionado, durante la determinación de la validez y confiabilidad de los instrumentos se recurrió a la opinión y aprobación de expertos en el campo de la carrera de Ingeniería Ambiental.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como ya hemos mencionado anteriormente, nuestro objetivo general está relacionado con la síntesis sostenible del biodiésel a partir de aceites vegetales usados en restaurantes; en donde, estos son confirmados, por todos los resultados obtenidos (expresados en figuras y/o tablas), cada uno con su respectiva comparación con otros autores.

Es así como, para el primer objetivo específico, refiriéndose a la caracterización del aceite vegetal usado en restaurantes, los resultados de la presente investigación relacionado a dicho objetivo están plasmados en la Tabla I.

TABLA I  
CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE ACEITE VEGETAL USADO EN RESTAURANTE.

Parámetros	Aceite usado	Parámetros NTP	Valores máximos
Densidad (g/mL)	0.920	Densidad (g/mL)	-
Viscosidad (mm <sup>2</sup> /s)	38.930	Viscosidad (mm <sup>2</sup> /s)	-
Índice de acidez (mg KOH/g)	0.561	Índice de acidez (mg KOH/g)	0.6

**Nota:** La Tabla, determinara los parámetros principales del aceite vegetal usado e indica los valores máximos de acuerdo con la Normativa Técnica Peruana.

En donde, los aceites vegetales utilizados en restaurantes, se caracterizaron enfocándose en parámetros como (densidad, viscosidad e índice de acidez).

Por esta razón, se evaluó la densidad del aceite vegetal usado obteniendo como resultado 0.920 g/mL. De acuerdo con la Normativa Técnico Peruana para Aceites Vegetales Especificados (NTP-CODEX STAN 210:2014), no se encontraron parámetros para verificar si cumple el parámetro establecido en nuestro país. Sin embargo, en las Ref. [36], [37], realizaron la respectiva caracterización de este residuo contaminado proveniente de restaurantes, obteniendo 0.89 y 0.91 g/mL respectivamente; en donde, el primer resultado cumple la normativa ASTM.

En paralelo, en la Ref. [38], caracterizaron los aceites vegetales usados de los restaurantes del distrito de San Borja Lima – Perú, encontrando que la densidad a 15 °C de dicho producto es de 0.90 g/mL. De manera que, ante los hallazgos encontrados, el resultado obtenido está enmarcado dentro de los distintos resultados de otras investigaciones; ya sea, a nivel internacional o nacional, haciéndole aún más confiable los datos logrados.

También, se procedió a determinar la viscosidad del aceite vegetal usado (AVU), ya que dicha propiedad funciona como indicador para saber si el aceite es apto para su reutilización; obteniendo así, un resultado de 38.930 mm<sup>2</sup>/s. Al comparar esta, con la Normativa Técnico Peruana (NTP) de Aceites Vegetales Especificados, no se encontró un parámetro específico establecido. Sin embargo, en las Ref. [37], [39], [40] caracterizaron el parámetro de viscosidad y obtuvieron un resultado de 35.34, 54.8 y 42.45 mm<sup>2</sup>/s respectivamente. Si



bien es cierto, en dichas investigaciones determinaron dicho parámetro mediante el método de ensayo ASTM D445, esto varía dependiendo del aceite vegetal usado que haya utilizado. Aun así; comparando nuestro resultado con los que hemos mencionado, podemos verificar que se encuentra dentro del rango óptimo que otras investigaciones lograron; además, podemos garantizar que dicho aceite será apto para su respectiva reutilización.

Por otra parte, se evaluó el índice de acidez (IA), donde según el análisis realizado dentro del laboratorio arrojó un valor de IA= 0.561 mg KOH/g, encontrándose dentro del rango establecido por la NTP que es de 0.6 mg KOH/g. A comparación de, las ref. [36], [41], realizaron el análisis de índice de acidez obteniendo un valor de 0.26 y 0.42 mg KOH/g respectivamente, respetando cada uno sus normativas de cada país; y siendo casi cercano al resultado obtenido.

Mientras tanto, [38] realizó la caracterización de este mismo parámetro, identificando una acidez de 0.68 mg KOH/g; a comparación de, la presente investigación en donde se obtuvo un 0.561 mg KOH/g, siendo casi similar. Al comparar ambos resultados con la normativa indicada, logramos ver que el primer valor no cumple; para ello, es importante que dicho autor, verifique nuevamente el proceso y reducción de la acidez. Por otro lado, nuestro valor logrado, sí cumple con los parámetros establecidos en la NTP sobre el índice de acidez.

Después, de haber realizado todo el proceso experimental para obtener biodiésel; se procedió a, realizar el análisis fisicoquímico de la materia prima obtenida.

Es así como, en la Fig. 2, se evidencia el análisis estadístico por cajas y bigotes, donde se determinó la densidad del biodiésel a una temperatura de 15 °C, obteniendo como resultado 0.88 g/mL. Tal como se establece en la normativa “EN 14214”, donde indica que dicho parámetro debe estar dentro del rango de 0.86 – 0.9 g/mL, hallándose nuestro valor dentro del parámetro. También, siguiendo los Métodos Estandarizados de Análisis (ASTM) para los parámetros físicos como la densidad (ASTM D1298).

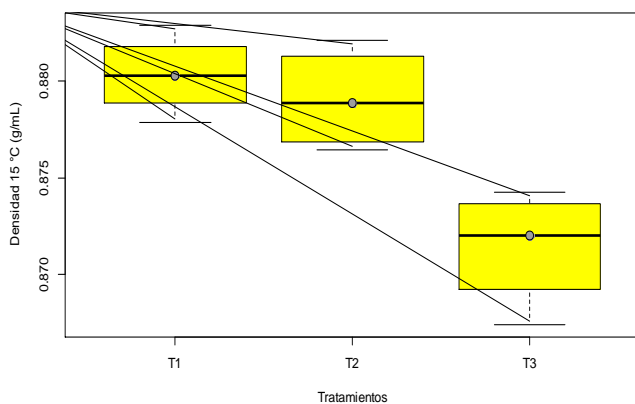


Fig. 2. Diagrama de cajas y bigotes de densidad a 15 °C en la caracterización del biodiésel.

Al comparar este valor obtenido, con otras investigaciones, podemos ver que en la Ref. [25] en su investigación determinó la densidad del biodiésel obteniendo un resultado de 0.87 g/mL,

a ciertos parámetros ya establecidos; mientras que, en la Ref. [4], determinó que, a la misma temperatura, el biodiésel presentó una densidad de 0.85 g/mL; casi similar, a nuestro resultado obtenido de 0.88 g/mL. Esto concluye que, las investigaciones cumplen los parámetros establecidos, y que las metodologías empleadas son correctas.

Del mismo modo, en la Ref. [17], en su investigación determinó la densidad del biodiésel consiguiendo un valor de 0.805 g/mL; concordando así, con los valores obtenidos en esta investigación a diferentes concentraciones de catalizador. De manera similar, a la Ref. [34], siguiendo la misma metodología de obtención de biodiésel, determinó la densidad a 0.842 g/mL. Ambos valores que obtuvieron dichos autores, garantizan los procedimientos utilizados, siendo apropiados para la sintetización; ya que, permite cumplir con la normativa internacional.

Asimismo, en la Fig.3, se puede observar el análisis estadístico por cajas y bigotes, donde se evaluó la caracterización fisicoquímica para el parámetro de viscosidad a una temperatura de 40 °C; siguiendo los Métodos Estandarizados de Análisis (ASTM) para viscosidad (ASTM D 445), y su verificación de acuerdo con la norma ASTM D6751 y NTP 321.125:2019, donde establece los parámetros en un rango de 1.90 – 6.0 mm<sup>2</sup>/s.

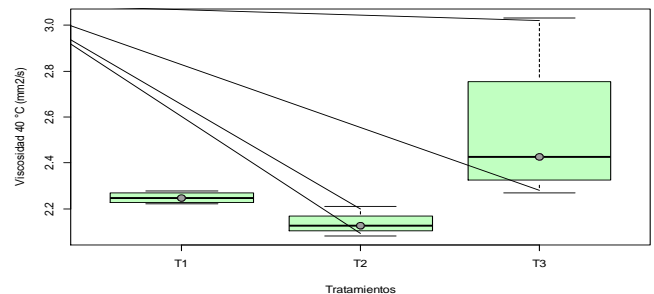


Fig. 3. Diagrama de cajas y bigotes de viscosidad a 40 °C en la caracterización del biodiésel.

Cabe recalcar que, los datos de viscosidad que se obtuvieron es nuestra investigación es de 2.538 (mm<sup>2</sup>/s), y están dentro de los parámetros de la normativa establecida. A comparación de, la Ref. [42], determinó el valor de su viscosidad, alcanzando un valor de 4.0 (mm<sup>2</sup>/s). Casi semejante al valor mencionado, [25] en su investigación obtuvo una viscosidad de 4.8 (mm<sup>2</sup>/s); a comparación de nuestro estudio, estos valores se encuentran casi cerca a nuestro valor obtenido.

Por otro lado, en la Ref. [39], en su investigación determino la viscosidad con un viscosímetro digital, siendo el valor obtenido de 4.683 (mm<sup>2</sup>/s); por otra parte, siguiendo el mismo procedimiento que hemos utilizado, en la Ref. [41], determino dicho parámetro obteniendo un valor de 3.2 (mm<sup>2</sup>/s). Estos valores que los autores indican, con el obtenido en nuestra investigación; nos dar a entender que, la viscosidad del biodiésel dependerá mucho de la calidad del aceite vegetal usado, mientras el AVU este en mejores condiciones se obtendrá un mejor biodiésel, realizando diferentes metodologías de obtención.

Por otra parte, una vez determinado dicho análisis fisicoquímico, es importante detallar el rendimiento en porcentaje; formando así, parte de nuestro segundo objetivo específico, con el fin de poder ver si es que el biodiésel va a presentarse como un biocombustible eficiente. Por ello, es preciso recalcar que, los valores obtenidos están ordenados en 3 muestras iniciales (T1, T2 y T3), cada una de ellas con sus 3 repeticiones respectivas (R1, R2 y R3), sin contar la muestra inicial; con el fin de no presentar dificultades al realizar el análisis ANOVA.

Es así como, la Fig.4, se puede apreciar el análisis estadístico por cajas y bigotes para el rendimiento en la síntesis de biodiésel; de acuerdo con los tres tratamientos realizados.

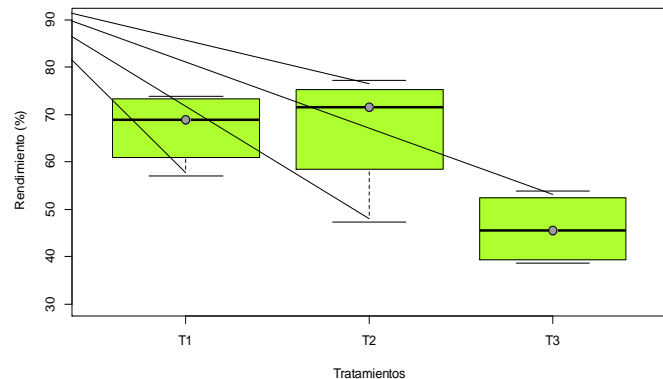


Fig. 4. Diagrama de cajas y bigotes del rendimiento en la síntesis de biodiésel.

Por lo que, el valor mayor de ácidos grasos libres en los aceites vegetales usados, obtenido en el presente trabajo fue de 77.19% (T2); este valor, es muy cercano al 85% que presenta en la Ref. [28] en su investigación, y menor al 93 % indicado por la Ref. [25].

Por su parte, en la Ref. [37] en su investigación obtuvo un rendimiento óptimo de 97% una concentración de catalizador 1% en peso y relación molar de aceite-metanol de 1:06; mientras que, en la Ref. [4], obtuvo un rendimiento superior de 99% a una concentración de 200 gramos de aceite y 50 gramos de metanol; en donde la diferencia fue notoria, debido al catalizador diferente agregado como el hidróxido de sodio (NaOH), al igual que la Ref. [17] obteniendo un mismo resultado.

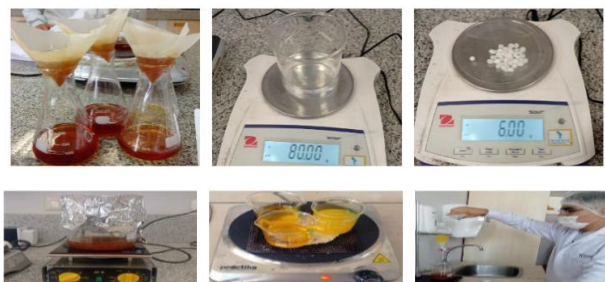


Fig. 5. Proceso de síntesis de biodiesel.

En último lugar, se presenta como último objetivo específico proponer un diseño y construcción de una planta de

producción de biodiésel a partir de aceites vegetales usados en la Urbanización Parque Industrial – La Esperanza.

Por ello, es relevante la validación de la información con valores reales y datos relevantes. A manera de ejemplo, en la Ref. [45], bajo el mismo enfoque, donde este solo utilizó como materia prima el aceite proveniente de los restaurantes, se realizaría la recolección de 18 establecimientos de comida (específicamente, solo restaurantes de La Esperanza). Adicionalmente, para identificar de manera correcta la cantidad de aceite que utilizan al día (L/Día), combustible empleado, y sobre todo el destino de estos residuos líquidos peligrosos usados, se realizaron fichas de recolección.

Asimismo, para lograr una eficiente producción de biodiésel se tiene que cumplir ciertos requerimientos, como controlar las condiciones de reacción y sobre todo elegir un adecuado catalizador; por lo que, optamos por utilizar hidróxido de sodio (NaOH), como catalizador básico homogéneo, siendo el mejor. Esto, debido a una comparación realizada en donde la Ref. [46], escogió el hidróxido de sodio (NaOH), debido a que es más económico, presenta mayor pureza, y se requiere menor cantidad de catalizador a comparación de KOH; todo esto aplicado a escala de planta de producción. Por otro lado, para la Ref. [47], la ventaja al utilizar KOH en relación con el NaOH es que la glicerina resultante del proceso es menos tóxica; es así, que le permitió utilizar este subproducto para producir fertilizantes artificiales a escalas laboratorio.

Al mismo tiempo, para lograr presentar una reacción más acelerada con los triglicéridos al momento de almacenar el biodiésel, con el fin de disolver de forma rápida al catalizador alcalino; es necesario considerar el alcohol esencial para que cumplan con estos requisitos. Por lo tanto, durante este proceso la mayoría de los estudios suelen presentar dos alcoholes que cumplen con las características pendientes, uno mejor que el otro, pero lo realizan de forma eficiente. Por ejemplo, en las Ref. [48], [49], utilizaron uno de los alcoholes más empleados, que es el etanol, considerándolo como menos tóxico y más renovable. A pesar de estos beneficios que ofrece el etanol, consideramos el metanol como el alcohol sustancial empleado dentro de la transesterificación; ya que, de acorde con la Ref. [50] que obtuvo un rendimiento eficiente, este alcohol es de bajo costo, presenta ventajas físicas y químicas, y tiene la capacidad para reaccionar rápidamente con los triglicéridos a bajas temperaturas.

Para lograr un adecuado funcionamiento, bombas, paneles de control, motores, resistencias eléctricas, y de los diferentes equipos dentro de la planta, se aplicó dicho sistema trifásico. Es así como, mediante un pago mensual a la empresa Hidrandina SA, recibiremos dicho sistema de energía de manera efectiva. Tal como lo hizo en la Ref. [51], donde para cada instalación eléctrica utilizaron los servicios de la misma empresa, junto a la solicitud de medidores trifásicos, siendo una opción eficiente para su correspondiente transesterificación dentro de la planta.

Por otra parte, es importante tener en cuenta, el manejo de los residuos sólidos y sus disposiciones finales; por lo que, una de las mejores opciones es contratar los servicios de una

Empresa Prestadora de Servicios de Residuos Sólidos (EPSRS). De manera similar, aplicamos esto como lo hace en la Ref. [52] con el fin de cubrir este tipo de necesidad específica dentro de su empresa productora de biodiésel, aplico el mismo mecanismo; en donde, considera importante la participación de estas empresas prestadoras de servicios en Brasil y Portugal, y su recolección selectiva de RSM.

Asimismo, como en la Ref. [53], considera importante los recursos hídricos, y los servicios que pueden brindar el reúso de agua potable para el abastecimiento de la planta de producción de biodiésel siendo eficiente; además, es necesario debido a las etapas como la esterificación, transesterificación y cogeneración de vapor y electricidad, que requieren mucho este recurso hídrico. Es por esta razón que, bajo el mismo enfoque se sería importante contratar una Entidad Prestadora de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado (SEDALIB S.A); para así, cubrir con el abastecimiento de agua potable necesario, durante el desarrollo o ejecución sin interrupciones dentro de la planta.

Después, con la descripción de los materiales empleados en cada uno de los equipos y accesorios, como tanques y tuberías, se utilizaron 2 tipos de acero. Especificando así, que el tipo de acero a usar es el tipo 304 (AISI 304- contiene 18 % de cromo y 8 % de níquel) y el acero 316 (AISI 316 – contiene 16 % de cromo, 10 % de níquel y 2 % de molibdeno). De la misma forma, utilizó en la Ref. [54], estimando este mismo tipo de acero como esenciales para el tipo de fluido que se va a almacenar o qué tipos de reacciones se realizarán dentro de ella.

También, es necesario tener en cuenta que, la planta general debe cumplir con una filtración eficaz para obtener el producto requerido efectivo, y sin ningún tipo residuos innecesarios; por lo que, es importante calentar las muestras. Es por este motivo, en la Ref. [55], calentó sus muestras de aceite vegetal a 60°C, para luego filtrar esas muestras y seguir con su procedimiento normal, durante la producción de dicha materia prima. Es así como, en este estudio aplicaremos la misma temperatura estable de 60°C.

Luego, de este procedimiento de deshidratación, especificamos puntos claves para la titulación de aceite vegetal usado; como el tipo de alcohol empleado, tipo de catalizador (NaOH), indicador de pH, entre otras cosas. Por lo que, según nuestra metodología aplicada a nuestra planta de síntesis de biodiésel, consideramos dentro de la titulación de esta materia prima, añadir gotas de disolución de NaOH al 0.1%, hasta ver que la mezcla presente un color incoloro a rosa, y se pueda observar al menos 10 segundos. Es así como se logra ver una diferencia mínima, pero importante; ya que, en la Ref.[56], realiza la titulación ácida – base con NaOH valorado, hasta viraje de la fenolftaleína a color rosado persistente durante 15 segundos obteniendo la materia prima final de manera efectiva.

Para finalizar el proceso de obtención de biodiésel, es importante mencionar la etapa de secado; en donde, el diseño que presenta el tanque de procesamiento va a permitir que el aceite se pueda elevar a altas temperaturas siendo específico alcanza (95 °C) para lograr un secado correcto, en un tiempo determinado de tres horas, donde se va a garantizar la

evaporación del agua que está contenida en el aceite. Comparando estos resultados con la Ref. [57], se podría decir que, precalienta sus muestras a 270°C por la magnitud de su planta de biodiésel; además, esto es necesario para secar efectivamente la biomasa, y este es dependiente según el tipo de catalizador que usaron.

Por otro lado, una vez obtenido el producto principal y su subproducto, la forma en que aprovecharemos sosteniblemente el biodiésel (producto principal), es destinarlo al mercado automotriz, como combustible diésel ecoamigable. Del mismo modo, como lo hicieron en la Ref. [42], [58], [59], que utilizaron este mismo producto para el estudio y comparación sobre la combustión y emisiones en un motor diésel de cuatro cilindros; siendo así, enriquecedor y prometedor su uso debido a que el etanol puede mejorar la combustión del motor, y también, controlar eficazmente las emisiones de NOx y humo.

A pesar de que, utilizamos el metanol como alcohol esencial para nuestro proceso de obtención de biodiésel dentro de la planta; es importante también considerar a futuro, o a manera de recomendación para otras plantas de producción de biodiesel, el “etanol” para este tipo de procesos. Esto, porque tal como menciona en la Ref. [58], su importancia radica en que, una vez caracterizado el AVU, y finalmente obtenido el biodiesel; estos pueden ser aptos para el uso en los motores de los carros; en donde, este alcohol va a ayudar a las condiciones de ralentí del coche, sin ningún tipo de modificaciones o daños que generen costos adicionales. Asimismo, en la Ref. [60] menciona que el uso de etanol, también reduce el NOx emisiones; pero, ha visto un aumento en las concentraciones de HC y CO en el análisis de emisiones, lo que no es muy difícil de reducir sus emisiones.

Por otra parte, describimos el tratamiento que se le aplicará a nuestros subproductos como la glicerina, siendo útil para el mercado automotriz como abrillantador de llantas. De forma similar en la Ref. [61] aplicó la misma finalidad a dicho subproducto, favoreciendo la reducción de costos económicos; sabiendo que, actualmente adquirir uno de este tipo de productos en el mercado automotriz es caro.

Previamente, al momento de lavar el biodiésel para su respectiva purificación, dentro de la planta propuesta, se realizará un tratamiento por electrocoagulación, para así, destinarlas como aguas de riego de plantas de tallo alto, como la palmera, pino, eucalipto, entre otros. Por ejemplo, en la Ref. [62] aplicó el mismo tratamiento, pero a diferencia de nuestro destinatario de aquellas aguas residuales tratadas, con sus resultados obtenidos, ellos lo aplicaron para que se pueda incorporar el agua después del tratamiento al sistema de obtención de biodiésel. Por otro lado, en la Ref. [63], aplican este mismo tratamiento, pero solo para que respete las normas vigentes establecidas en su país.





Fig. 6. Diseño en 3D de la planta de producción de biodiésel.

En cuanto al análisis económico, el costo de inversión para la propuesta de planta de producción de biodiésel en base a los costos de equipos, materiales y servicios, ajustados a la moneda peruana resultan S/ 93,040.00 soles. Aunado a esto, se describen ciertos costos que influirán en el resultado de VAN Y TIR; ejemplificando esto, en la Ref. [64], evidencia un “VAN” de S/. 34,897,4 49, y un costo inicial de 1’482,277.00. Esto comparando con nuestros resultados, se obtiene un valor mayor de “VAN” siendo S/. 7,302,671.85, y evidenciando un costo inicial casi similar al autor mencionado anteriormente de S/. 1,421,158.37. Por otra parte, existen casos como en la Ref. [65], que expresan el “TIR” económico y financiero, resultados entre 26% y 37% respectivamente. A diferencia de nuestro “TIR”, consideramos un valor general de 293.22%.

#### IV. CONCLUSIONES

La aplicación de estos aceites usados, garantiza la síntesis de biodiésel de manera eficiente; reflejando así, su beneficio y ayuda para controlar y disminuir eficientemente diversos tipos de contaminantes presentados por la mala disposición de esta materia altamente contaminada. En tal sentido, a pesar de las contras presentes, como costos de elaboración y complejidad durante la síntesis; implementar la obtención de dicha materia prima y su subproducto de manera económica en el mercado automotriz, puede ser muy útil en un futuro. Por una parte, el biodiésel como combustible para vehículos, aumentaría la seguridad energética, mejoraría la calidad del aire y el medio ambiente; por otra parte, la glicerina como abrillantador de llantas, sería eficiente y sencillo de aplicar. Dado que, será un claro ejemplo de cultura ambiental a poner en práctica, a fin de reutilizar dichos productos líquidos contaminados desechables. Por otro lado, para comparar con lo presentado en esta investigación, es recomendable que en futuras investigaciones se utilicen más tratamientos y se contrasten con diferentes catalizadores. Es así, que, de esta forma, se podrá concretar este biocombustible como principal y verificar su grado de contaminación con el producto final obtenido.

#### REFERENCIAS

- [1] I. González and J. González, “Aceites usados de cocina. Problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras,” Bilbao, 2017. Accessed: Sep. 05, 2022. [Online]. Available: <http://residusmunicipals.cat/uploads/activitats/docs/20170427092548.pdf>
- [2] L. Rani *et al.*, “A review on the frying process: Methods, models and their mechanism and application in the food industry,” *Food Research International*, vol. 172, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.FOODRES.2023.113176.
- [3] C. D. Ferreira and I. L. Nunes, “Oil nanoencapsulation: development, application, and incorporation into the food market,” *Nanoscale Res Lett*, vol. 14, no. 1, pp. 1–13, Jan. 2019, doi: 10.1186/S11671-018-2829-2/FIGURES/3.
- [4] S. Tuly, M. Saha, N. Mustafi, and M. Sarker, “Production and application of biodiesel from waste cooking oil,” *AIP Conf Proc*, vol. 1851, no. 1, Jun. 2017, doi: 10.1063/1.4984659.
- [5] G. De Feo, C. Ferrara, L. Giordano, and L. S. Ossò, “Assessment of Three Recycling Pathways for Waste Cooking Oil as Feedstock in the Production of Biodiesel, Biolubricant, and Biosurfactant: A Multi-Criteria Decision Analysis Approach,” *Recycling*, vol. 8, no. 4, p. 64, Aug. 2023, doi: 10.3390/RECYCLING8040064/S1.
- [6] K. Ganesan, K. Sukalingam, and B. Xu, “Impact of consumption of repeatedly heated cooking oils on the incidence of various cancers- A critical review,” *Crit Rev Food Sci Nutr*, vol. 59, no. 3, pp. 488–505, Feb. 2019, doi: 10.1080/10408398.2017.1379470.
- [7] V. D. Nimkande and A. Bafana, “A review on the utility of microbial lipases in wastewater treatment,” *Journal of Water Process Engineering*, vol. 46, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.JWPE.2022.102591.
- [8] B. Green, “De la sartén a la ducha: jabón hecho de aceite usado.” Accessed: Sep. 05, 2022. [Online]. Available: <https://b-green.pe/category/educacion-ambiental/>
- [9] Q. Xia *et al.*, “Review on contaminants in edible oil and analytical technologies,” *Oil Crop Science*, vol. 6, no. 1, pp. 23–27, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.OCSCL.2021.02.001.
- [10] S. Zio *et al.*, “The Oils Refining Process and Contaminants in Edible Oils: A Review,” *Journal of Food Technology Research*, vol. 7, no. 1, pp. 9–47, Feb. 2020, doi: 10.18488/JOURNAL.58.2020.71.9.47.
- [11] E. González *et al.*, “Producción de biodiésel por esterificación y transesterificación de aceites vegetales de cocina usados,” *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, vol. 38, no. 06, pp. 105–127, 2021, Accessed: Sep. 05, 2022. [Online]. Available: <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/34734/36649>
- [12] A. Villabona, R. Iriarte, and C. Tejada, “Alternativas para el aprovechamiento integral de residuos grasos de procesos de fritura,” *Teknos revista científica*, vol. 17, no. 1, pp. 21–29, Jul. 2017, doi: 10.25044/25392190.890.
- [13] J. R. Joshi, K. K. Bhandari, and J. V. Patel, “Waste cooking oil as a promising source for bio lubricants- A review,” *Journal of the Indian Chemical Society*, vol. 100, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.JICS.2022.100820.
- [14] A. Elkafoury and W. Azzam, “Utilize Xanthan gum for enhancing CBR value of used cooking oil-contaminated fine sand subgrade soil for pavement structures,” *Innovative Infrastructure Solutions*, vol. 6, no. 1, pp. 1–10, Mar. 2021, doi: 10.1007/S41062-020-00389-6/METRICS.
- [15] E. Mamani, “Obtención y caracterización de biodiésel a partir de desechos de aceite de la cocina del comedor universitario de la UNJBG, mediante transesterificación alcalina,” Tesis de doctorado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann De Tacna, Tacna, 2017. Accessed: Sep. 05, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1514>
- [16] T. A. Z. De Souza *et al.*, “Biodiesel in South American countries: A review on policies, stages of development and imminent competition with hydrotreated vegetable oil,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 153, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.RSER.2021.111755.
- [17] A. Ben Bacha, M. Alonazi, M. G. Alharbi, H. Horchani, and I. Ben Abdelmalek, “Biodiesel Production by Single and Mixed Immobilized

- Lipases Using Waste Cooking Oil," *Molecules*, vol. 27, no. 24, Dec. 2022, doi: 10.3390/MOLECULES27248736.
- [18] H. Caliskan, I. Yildiz, and K. Mori, "Production and Assessment of New Biofuels from Waste Cooking Oils as Sustainable Bioenergy Sources," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 1, p. 463, Dec. 2022, doi: 10.3390/EN16010463.
- [19] S. S. Wirawan, M. D. Solikhah, H. Setiaprada, and A. Sugiyono, "Biodiesel implementation in Indonesia: Experiences and future perspectives," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 189, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.RSER.2023.113911.
- [20] LaRioja, "Aceite usado de origen doméstico." Accessed: Sep. 05, 2022. [Online]. Available: <https://www.larioja.org/medio-ambiente/es/residuos/residuos-gestion-especial/aceite-usado-origen-domestico>
- [21] Sistema Metropolitano de Información Ambiental, "Iniciativa de reciclaje de aceite vegetal ha recolectado más de cuatro mil litros en Cercado de Lima." Accessed: Sep. 05, 2022. [Online]. Available: <https://smia.munlima.gob.pe/novedades/iniciativa-de-reciclaje-de-aceite-vegetal-ha-recolectado-mas-de-cuatro-mil-litros-en-cercado-de-lima>
- [22] Organización de los Estados Americanos, "Proyecto Piloto 'Recolección de Aceite Usado para producir Biodiesel, Disminuyendo la Contaminación del Agua Subterránea y Limpiando el Aire de la Ciudad,'" Guatemala, Jul. 2014. Accessed: Sep. 05, 2022. [Online]. Available: [http://www.oas.org/en/sedi/dsd/biodiversity/sustainable\\_cities/phaseii/shortlisted%20\(22\)/guafundacion%20solar\(energy%20biofuel\)/propuesta%20tecnica%20y%20financiera%20biodiesel%2028%2010%2014.pdf](http://www.oas.org/en/sedi/dsd/biodiversity/sustainable_cities/phaseii/shortlisted%20(22)/guafundacion%20solar(energy%20biofuel)/propuesta%20tecnica%20y%20financiera%20biodiesel%2028%2010%2014.pdf)
- [23] G. Baskar, G. Kalavathy, R. Aiswarya, and I. Abarnaebenezar, "Advances in bio-oil extraction from nonedible oil seeds and algal biomass," *Advances in Eco-Fuels for a Sustainable Environment*, pp. 187–210, Jan. 2018, doi: 10.1016/B978-0-08-102728-8.00007-3.
- [24] B. H. H. Goh *et al.*, "Progress in utilisation of waste cooking oil for sustainable biodiesel and biojet fuel production," *Energy Convers Manag*, vol. 223, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2020.113296.
- [25] M. Saad, B. Siyo, and H. Alrakkad, "Preparation and characterization of biodiesel from waste cooking oils using heterogeneous Catalyst (Cat.TS-7) based on natural zeolite," *Heliyon*, vol. 9, no. 6, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e15836.
- [26] D. Theilakarathne, K. A. V. Miyuranga, U. S. P. R. Arachchige, N. A. Weerasekara, and R. A. Jayasinghe, "Production of Biodiesel from Waste Cooking Oil in Laboratory Scale: A Review," *International Journal of Scientific Engineering and Science*, vol. 5, no. 6, pp. 28–34, 2021, Accessed: Nov. 21, 2023. [Online]. Available: <http://ijses.com/>
- [27] M. E. Kibar, L. Hilal, B. T. Çapa, B. Bahçivanlar, and B. Ben Abdeljelil, "Assessment of Homogeneous and Heterogeneous Catalysts in Transesterification Reaction: A Mini Review," *ChemBioEng Reviews*, vol. 10, no. 4, pp. 412–422, Aug. 2023, doi: 10.1002/CBEN.202200021.
- [28] Darwin, M. Thifal, M. Alwi, Z. Murizal, A. Pratama, and M. Rizal, "The synthesis of biodiesel from palm oil and waste cooking oil via electrolysis by various electrodes," *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 8, Dec. 2023, doi: 10.1016/J.CSCEE.2023.100512.
- [29] D. Murguía-Ortiz *et al.*, "Na-CaO/MgO dolomites used as heterogeneous catalysts in canola oil transesterification for biodiesel production," *Mater Lett*, vol. 291, May 2021, doi: 10.1016/J.MATLET.2021.129587.
- [30] W. C. Ulakpa, R. O. E. Ulakpa, M. C. Ekwunye, and T. C. Egbosiuba, "Transesterification of non-edible oil and effects of process parameters on biodiesel yield," *Cleaner Waste Systems*, vol. 3, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.CLWAS.2022.100047.
- [31] S. Z. Naji, C. T. Tye, and A. A. Abd, "State of the art of vegetable oil transformation into biofuels using catalytic cracking technology: Recent trends and future perspectives," *Process Biochemistry*, vol. 109, pp. 148–168, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.PROCBIO.2021.06.020.
- [32] G. M. Brito, M. B. Chicon, E. R. C. Coelho, D. N. Faria, and J. C. C. Freitas, "Eco-green biodiesel production from domestic waste cooking oil by transesterification using LiOH into basic catalysts mixtures," *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 12, no. 4, Jul. 2020, doi: 10.1063/5.0005625/284946.
- [33] H. Belkhdja, D. Bouhadi, B. Medjadel, and A. Brakna, "Physicochemical characterization and evaluation of the antioxidant activities of essential oil extracted from *Eucalyptus globulus*," *Eur J Biol Res*, vol. 11, no. 3, pp. 315–324, 2021, doi: 10.5281/ZENODO.5033546.
- [34] T. E. Odeto, J. O. Agu, and E. O. Ajala, "Biodiesel production from poultry wastes: Waste chicken fat and eggshell," *J Environ Chem Eng*, vol. 9, no. 4, Aug. 2021, doi: 10.1016/J.JECE.2021.105654.
- [35] M. Elkelay *et al.*, "Maximization of biodiesel production from sunflower and soybean oils and prediction of diesel engine performance and emission characteristics through response surface methodology," *Fuel*, vol. 266, Apr. 2020, doi: 10.1016/J.FUEL.2020.117072.
- [36] F. Ouanji, M. Kacimi, M. Ziyad, F. Puleo, and L. F. Liotta, "Production of biodiesel at small-scale (10 L) for local power generation," *Int J Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 13, pp. 8914–8921, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.IJHYDENE.2016.06.182.
- [37] K. Devaraj, Y. Mani, S. A. A. Raouf, A. Thanarasu, A. Dhanasekaran, and S. Subramanian, "Feasibility of biodiesel production from waste cooking oil: lab-scale to pilot-scale analysis," *Environ Sci Pollut Res Int*, vol. 27, no. 20, pp. 25828–25835, Jul. 2020, doi: 10.1007/S11356-020-09068-6.
- [38] L. Zavaleta and J. Suavo, "Obtención de biodiesel por transesterificación alcalina a partir de aceites vegetales residuales en Lima," *TECNIA*, vol. 26, no. 1, pp. 107–114, Jun. 2017, Accessed: Oct. 11, 2022. [Online]. Available: <http://www.portalrevistas.uni.edu.pe/index.php/tecnia/article/view/191>
- [39] M. I. Al-Hasan, "Biodiesel production from waste frying oil and its application to a diesel engine," *Vilnius Gediminas Technical University*, vol. 28, no. 3, pp. 276–289, Sep. 2013, doi: 10.3846/16484142.2013.830644.
- [40] F. Danane *et al.*, "Experimental optimization of Waste Cooking Oil ethanolysis for biodiesel production using Response Surface Methodology (RSM)," *Science and Technology for Energy Transition*, vol. 77, no. 14, pp. 1–10, 2022, doi: 10.2516/STET/2022014.
- [41] A. K. Sodhi, S. Tripathi, and K. Kundu, "Biodiesel production using waste cooking oil: a waste to energy conversion strategy," *Clean Technol Environ Policy*, vol. 19, no. 6, pp. 1799–1807, Apr. 2017, doi: 10.1007/S10098-017-1357-6.
- [42] J. Carlos *et al.*, "Clean Production of Biofuel from Waste Cooking Oil to Reduce Emissions, Fuel Cost, and Respiratory Disease Hospitalizations," *Sustainability*, vol. 13, no. 16, p. 9185, Aug. 2021, doi: 10.3390/SU13169185.
- [43] J. Salazar and F. Valle, "Optimización de la concentración de etanol e hidróxido de potasio en el rendimiento y características fisicoquímicas de biodiesel de aceite de cocina usado obtenido en un prototipo automatizado," Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, 2018.
- [44] B. Murcia, L. C. Chaves, W. Rodríguez, A. Murcia, and E. Alvarado, "Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina," *Rev Colomb Biotechnol*, vol. 15, no. 1, pp. 61–70, 2013, Accessed: Aug. 29, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4776363&info=resumen&idioma=ENG>
- [45] E. O. Babatunde *et al.*, "Valorization of restaurant waste oil and cow-bone doped siliceous termite hills towards biodiesel production: Kinetics and thermodynamics," *Sustain Chem Pharm*, vol. 30, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.SCP.2022.100895.
- [46] G. Pablo, "Producción de biodiesel por catálisis heterogénea: diseño y aplicación de catalizadores, orientados a su aplicación industrial en plantas modulares," Tesis de doctorado, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina, 2019. Accessed: Sep. 28, 2022. [Online]. Available: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/81184>
- [47] M. Mohadesi, B. Aghel, M. Maleki, and A. Ansari, "The use of KOH/Clinoptilolite catalyst in pilot of microreactor for biodiesel production from waste cooking oil," *Fuel*, vol. 263, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.FUEL.2019.116659.
- [48] J. M. Da Costa and L. R. P. De Andrade, "Transesterification of cotton oil with ethanol for biodiesel using a KF/bentonite solid catalyst," *Fuel*, vol. 293, Jun. 2021, doi: 10.1016/J.FUEL.2021.120446.
- [49] M. Racar, F. Faraguna, Z. Glasovac, and A. Jukić, "Experimental modeling and optimization of biodiesel production from waste cooking oil and ethanol using N,N',N"-tris(3-dimethylaminopropyl)-guanidine as

- catalyst,” *Renew Energy*, vol. 146, pp. 2374–2379, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.RENENE.2019.08.028.
- [50] A. Monika, S. Banga, and V. V. Pathak, “Biodiesel production from waste cooking oil: A comprehensive review on the application of heterogenous catalysts,” *Energy Nexus*, vol. 10, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.NEXUS.2023.100209.
- [51] A. D. Bonaccorso *et al.*, “Time-resolved in-situ x-ray diffraction study of CaO and CaO:Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub> composite catalysts for biodiesel production,” *Energy*, vol. 3, no. 3, Jun. 2021, doi: 10.1088/2515-7655/AC0413.
- [52] V. A. Ferraz de Campos, V. B. Silva, J. S. Cardoso, P. S. Brito, C. E. Tuna, and J. L. Silveira, “A review of waste management in Brazil and Portugal: Waste-to-energy as pathway for sustainable development,” *Renew Energy*, vol. 178, pp. 802–820, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.RENENE.2021.06.107.
- [53] P. P. Das and P. Mondal, “Membrane-assisted potable water reuses applications: benefits and drawbacks,” *Resource Recovery in Drinking Water Treatment*, pp. 289–309, Jan. 2023, doi: 10.1016/B978-0-323-99344-9.00014-1.
- [54] K. A. V. Miyuranga, U. S. P. R. Arachchige, R. A. Jayasinghe, and N. A. Weerasekara, “Pilot plant designing and implementation for biodiesel production,” *J. Res. Technol. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–10, 2022, Accessed: Dec. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.jrte.org/wp-content/uploads/2023/01/Pilot-plant-designing-and-implementation-for-biodiesel-production.pdf>
- [55] A. S. Adekunle *et al.*, “Biodiesel potential of used vegetable oils transesterified with biological catalysts,” *Energy Reports*, vol. 6, pp. 2861–2871, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.EGYR.2020.10.019.
- [56] E. Nasello, “Tratamiento de los Aceites Vegetales Usados y evaluación de su factibilidad técnica como materia prima en una planta de biodiesel en la ciudad de Tandil,” Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, 2019. Accessed: Nov. 02, 2022. [Online]. Available: <https://ridaa.unicen.edu.ar:8443/server/api/core/bitstreams/023fa6bb-1e8c-4a2a-aa51-8a993504658f/content>
- [57] S. Brahma *et al.*, “Biodiesel production from mixed oils: A sustainable approach towards industrial biofuel production,” *Chemical Engineering Journal Advances*, vol. 10, May 2022, doi: 10.1016/J.CEJA.2022.100284.
- [58] J. Cong, J. Young, B. Yoo, and J. Hee, “Effects of Engine Load and Ternary Mixture on Combustion and Emissions from a Diesel Engine Using Later Injection Timing,” *Sustainability*, vol. 15, no. 2, Jan. 2023, doi: 10.3390/SU15021391.
- [59] H. Mahmudul, F. Hagos, M. Mukhtar, R. Mamat, and A. Adam Abdullah, “Effect of Alcohol on Diesel Engine Combustion Operating with Biodiesel-Diesel Blend at Idling Conditions,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng.*, vol. 318, no. 1, Mar. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/318/1/012071.
- [60] B. Musthafa, B. Saravanan, M. A. Asokan, S. Devendiran, and K. Venkatesan, “Effect of ethanol, propanol and butanol on karanja biodiesel with vegetable oil fuelled in a single cylinder diesel engine,” *Egyptian Journal of Petroleum*, vol. 32, no. 2, pp. 35–40, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.EJPE.2023.05.001.
- [61] C. Vetancourt, “Abrillantador de neumáticos casero a base de glicerina,” *Revista Digital*, 2020, Accessed: Nov. 02, 2022. [Online]. Available: [https://issuu.com/cesarvetancourt10/docs/revista\\_digital\\_-\\_abrilantador\\_de\\_neumaticos](https://issuu.com/cesarvetancourt10/docs/revista_digital_-_abrilantador_de_neumaticos)
- [62] J. M. Álvarez, M. B. Arrieta, T. Arturi, and G. L. Bianchi, “Combined electrocoagulation and electrooxidation treatment system for real effluents from the fishing industry,” *Heliyon*, vol. 9, no. 4, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14906.
- [63] L. R. Firman, N. A. Ochoa, J. Marchese, and C. L. Pagliero, “Tratamiento de efluentes acuosos provenientes de la industria de biodiesel, utilizando tecnología de membranas,” *Matéria (Rio de Janeiro)*, vol. 23, no. 2, Jul. 2018, doi: 10.1590/S1517-707620180002.0418.
- [64] S. Campos and S. Salazar, “Diseño de una planta de producción de biodiesel a partir de las semillas de higuera en el valle Condebamba, Cajamarca,” Tesis de pregrado, Universidad Privada Del Norte, Cajamarca, 2013. Accessed: Nov. 20, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/196/Sandra%20Campos%20y%20Shirley%20Salazar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [65] E. Abad, A. Acosta, A. Burgos, B. Crisanto, J. Eyzaguirre, and 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,” Tesis de pregrado, Universidad De Piura, Piura, 2014. Accessed: Nov. 20, 2022. [Online]. Available: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1713>