



UNAP



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE FRITURA USADO
EN ESTABLECIMIENTOS DE COMIDA RÁPIDA EN IQUITOS.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR:

JOSÉ ANTHONY RIVAS MÉNDEZ

RUSBEL MICHAEL MATAMORROS HUAYRA

ASESOR (ES):

Ing. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ MSc.

Ing. ROSA ISABEL SOUZA NAJAR Mtro.

IQUITOS, PERÚ

2020



UNAP

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA
Facultad de Ingeniería Química



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 005-CGT-FIQ-UNAP

En Iquitos, a los veinte y ocho días del mes de octubre del dos mil veinte, a horas 12:00 a.m., se dio inicio a la sustentación virtual, pública de la Tesis titulada: **OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE FRITURA USADO EN ESTABLECIMIENTOS DE COMIDA RAPIDA EN IQUITOS**, aprobado con Resolución Decanal N° 122-2019-FIQ-UNAP, presentado por los Bachilleres: **JOSÉ ANTHONY RIVAS MÉNDEZ y RUSBEL MICHAEL MATAMORROS HUAYRA**, para optar el título profesional de **Ingeniero Químico**, que otorga la Universidad de acuerdo Ley y Estatuto.

El jurado calificador y dictaminador designado mediante R. D. N° 132-2020-FIQ-UNAP está integrado por:

- | | |
|--|------------|
| Ing. CARMEN PATRICIA CERDEÑA DEL ÁGUILA, Dra. | Presidente |
| Ing. JOSÉ MANUEL PERDIZ DAVILA, Mtro. | Miembro |
| Ing. KOSSETH MARIANELLA BARDALES GRANDEZ, MSc. | Miembro |

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: 3 a 5 favorablemente

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la tesis han sido: Aprobada con la calificación Buena (16). Estando los bachilleres aptos para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Químico** siendo las 1:11 pm se dio por terminado el acto de Sustentación

Ing. CARMEN PATRICIA CERDEÑA DEL ÁGUILA, Dra.
Presidente

Ing. JOSÉ MANUEL PERDIZ DÁVILA, Mtro.
Miembro

Ing. KOSSETH MARIANELLA BARDALES GRANDEZ, MSc.
Miembro

Ing. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, MSc.
Asesor

Ing. ROSA ISABEL SOUZA NAJAR, Mtro.
Asesora

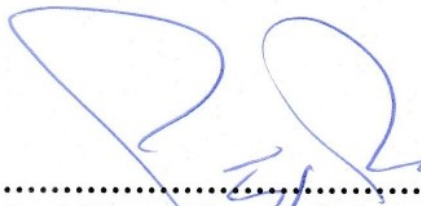
JURADO CALIFICADOR



.....
Ing. Carmen Patricia Cerdeña del Águila Dra.
CIP 44075
Presidente



.....
Ing. Kosseth Marianella Bardales Grández M. Sc.
CIP 105537
Miembro



.....
Ing. José Manuel Perdiz Dávila Mtro.
CIP 28256
Miembro

ASESORES



.....
Ing. Daniel Diomedes Carrasco Montañez Msc.
CIP 96801



.....
Ing. Rosa Isabel Souza Najar Mtro.
CIP 61519

Dedico esta tesis, al creador de todas las cosas, por darme fortaleza para culminar mis estudios, a mi madre Leni Méndez, a mi abuela Juana Lozano, a mi familia y amigos que contribuyeron para que este sueño se haga realidad.

JOSÉ ANTHONY RIVAS MÉNDEZ

Esta tesis la dedico, a dios que guía mi camino, a mis padres, Segundino Matamorros, Yessenia Huayra, mi esposa Vanesa Magno e hijos Genesis, María de Jesús y Rusbely quienes me motivan para lograr mis metas y sueños.

RUSBEL MICHAEL MATAMORROS HUAYRA

Agradecimientos:

Nuestro agradecimiento especial a la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana por brindarnos la oportunidad ser parte de ella y abrirnos sus puertas de su seno científico para poder estudiar la magnánima carrera de Ingeniería Química; así como también a mis formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarnos a llegar al punto en el que nos encontramos.

Sencillo no ha sido el proceso, pero gracias a las ganas de transmitirnos sus conocimientos y dedicación que los ha regido, hemos logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de nuestra tesis con éxito y obtener una afable titulación profesional.

Agradezco también a mis Asesores de Tesis a la Ing. Rosa Souza Najar Maestro y al Ing. Daniel Carrasco Montañez MSc, por la oportunidad de compartirnos sus conocimientos, así como también a su plena paciencia para guiarnos durante todo el desarrollo y culminación de la tesis.

Y para finalizar, nuestro agradecimiento de corazón a nuestras familias por estar siempre junto a nosotros en nuestros logros y frente a las adversidades que nos da la vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Páginas
Portada	i
Acta de sustentación	ii
Jurado Calificador	iii
Asesores	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas	ix
Resumen	x
Abstract	xi
Introducción	1
Capítulo I: Marco teórico	5
1.1 Antecedentes	5
1.2 Bases teóricas	9
1.2.1 Definición de biodiesel	9
1.2.2 Materias primas para la elaboración de biodiesel	10
1.2.3 Obtención de biodiesel	11
1.2.4 Método de transesterificación para la obtención de biodiesel	11
1.2.5 Parámetros que afectan la reacción de transesterificación	13
1.2.5.1 Pureza y calidad del aceite	13
1.2.5.2 Tipo y concentración del catalizador	13
1.2.5.3 Temperatura, tiempo de reacción y agitación	14
1.3 Definición de términos básicos	14
Capítulo II: Hipótesis y variables	16
2.1 Hipótesis	16
2.2 Variables	16
2.2.1 Variables independientes	16
2.2.2 Variable dependiente	16
Capítulo III: Metodología	17

3.1 Tipo y diseño	17
3.2 Diseño muestral	18
3.3 Procedimientos de recolección de datos	19
3.3.1 Etapa de campo	19
3.3.2 Etapa de laboratorio	20
3.4 Procesamiento y análisis de datos	26
3.5 Aspectos éticos	27
Capítulo IV: Resultados	28
Capítulo V: Discusión de resultados	33
Conclusiones	37
Recomendaciones	38
Bibliografía	39
Anexos	45
Anexo 1: Determinación del peso molecular del aceite fritura usado	45
Anexo 2: Cálculo de la cantidad de metanol requerido para la reacción de transesterificación por cada corrida	46
Anexo 3: Ilustraciones de los procedimientos realizados en el trabajo de tesis	47
Anexo 4: Resultados del informe de ensayo del aceite vegetal usado realizado en PETROPERU	49
Anexo 5: Resultados del Análisis de Biodiesel realizado en PETROPERU	50

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1. Niveles de los factores de estudio y de los parámetros intervinientes	17
Tabla 2. Matriz de planteamiento de experimentos	18
Tabla 3. Ubicación de establecimientos de comida rápida en la ciudad de Iquitos donde se realizó el muestreo.	19
Tabla 4. Cantidad de reactivos empleados por corrida.	25
Tabla 5. Características física y química del aceite de fritura usado.	28
Tabla 6. Promedio del rendimiento en biodiesel obtenido en los ensayos.	28
Tabla 7. Resultado del análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento de biodiesel versus los ensayos.	29
Tabla 8. Información de grupos utilizando la prueba de Tukey y 95% de confianza.	30
Tabla 9. Análisis de Varianza (Rendimiento vs RM, TR, CC).	30
Tabla 10. Resumen del modelo de regresión diseño factorial.	31
Tabla 11. Efectos y coeficientes codificados para Rendimiento del biodiesel para un $\alpha = 0,05$.	31
Tabla 12. Resultados del análisis del biodiesel obtenido en el ensayo 3 que presento mayor rendimiento	32

Resumen

En los últimos tiempos el biodiesel producido a partir de aceites de fritura usado está ganando una gran aceptación no solo porque es una materia prima de bajo costo que se genera diariamente en domicilios y establecimientos de comida, si no por los efectos negativos que vienen ocasionando en el medio ambiente por su inadecuada disposición final. El presente trabajo tuvo como objetivo obtener biodiesel a partir de los aceites de frituras usados generados en los establecimientos de comida rápida de la ciudad de Iquitos. Al aceite de frituras usado previamente se le realizó un pretratamiento que consistió en la decantación, filtración y secado para eliminar las impurezas, luego se le caracterizó mediante los parámetros de humedad, índice de acidez, densidad, viscosidad, índice de peróxido e índice de saponificación. Para la obtención del biodiesel se realizó una reacción de transesterificación alcalina usando el metanol como alcohol y como catalizador hidróxido de sodio (NaOH). Se aplicó un diseño experimental 2^3 , teniendo como variables estudiadas: relación molar aceite/metanol (1/6,1/9), tiempo de reacción (30 y 60 minutos) y concentración del catalizador (0,5% y 1%). Se encontró que la variable con mayor efecto en el rendimiento del biodiesel fue la concentración del catalizador obteniendo a baja concentración (0,5%) el mayor rendimiento (90,17%). El biodiesel obtenido presentó buenas características de densidad y viscosidad.

Palabras claves: Biodiesel, aceite de fritura usado, transesterificación.

Abstract

In recent times, biodiesel produced from used frying oils is gaining wide acceptance not only because it is a low-cost raw material that is generated daily in homes and food establishments, but also because of the negative effects that it has been causing in the environment due to its inadequate final disposal. The objective of this work was to obtain biodiesel from used fried oils generated in fast food establishments in the city of Iquitos. The previously used frying oil underwent a pretreatment that consisted of decantation, filtration and drying to eliminate impurities, then it was characterized by the parameters of humidity, acid index, density, viscosity, peroxide index and saponification index. . To obtain the biodiesel, an alkaline transesterification reaction was carried out using methanol as alcohol and sodium hydroxide (NaOH) as catalyst. An experimental design 2³ was applied, having as studied variables: oil / methanol molar ratio (1 / 6.1 / 9), reaction time (30 and 60 minutes) and catalyst concentration (0.5% and 1%). It was found that the variable with the greatest effect on the biodiesel yield was the catalyst concentration, obtaining the highest yield (90.17%) at a low concentration (0.5%). The biodiesel obtained presented good density and viscosity characteristics.

Keywords: Biodiesel, used frying oil, transesterification.

INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo económico, el aumento del poder adquisitivo de las personas y la falta de tiempo para la preparación y consumo de alimentos más elaborados, se le presenta la opción al consumo de comida rápida, dando origen a una gran cantidad aceites para freír usados, los que generalmente no se saben qué destino tienen [1].

Mundialmente los aceites de frituras usados, es una problemática ambiental debido a que estos residuos que se generan diariamente, tienen mala disposición final y son desechados en los suelos o en su mayoría por los drenajes de los sistemas de alcantarillados, ocasionado obstrucciones de los sistemas de tuberías, inundaciones y proliferación de cucarachas y ratas. Así mismo, el aceite usado arrojado por las alcantarillas forma parte de las aguas residuales domésticas e industriales dificultando el tratamiento de éstas, en los países que no cuentan con plantas de tratamientos de aguas residuales pueden provocar daños en los cuerpos de agua al ser poco degradables pueden formar películas que impidan el intercambio del oxígeno con el agua y el medio ambiente. Instituto Nacional de Tecnología Industrial s.f. [2].

Los residuos de aceite de cocina de las residencias, el comercio y la industria son un contaminante potencial cuando se descartan de manera inadecuada ya que un litro de aceite de cocina puede contaminar cerca de 20,000 litros de agua por lo que se necesitan alternativas que permitan su reciclaje, favoreciendo de esta manera un equilibrio entre las necesidades del medio ambiente, la economía y la sociedad. Pero, las decisiones de reciclaje de aceite de cocina al final de su ciclo de vida, todavía están dispersos y no tienen

cadenas organizadas para reemplazar estos productos en ciclos productivos en escalas competitivas [3].

El reciclaje de aceite de fritura usado ha adquirido una importante atención e a medida que la sociedad comienza a apreciar los aspectos ambientales, económicos y sociales. La reutilización del aceite de cocina no solo evita la mala disposición, también produce beneficios económicos y sociales al explotar este aceite como materia prima, con posibilidad de generar empleo e ingresos [4].

Diversas investigación han demostrado que es factible la producción de nuevos combustibles a partir de desechos orgánicos, como es el aceite vegetal, y así mismo en ciudades que no existe un proceso adecuado de tratamiento o desecho de estos residuos, se puede considerar necesario el estudio de factibilidad de transformar, los restos de aceite vegetal provenientes en primer lugar de restaurantes o sitios de comida rápida, en biocombustibles, en este caso específico biodiesel, aplicable a maquinaria pesada [5].

El biodiesel es un sustituto del petrodiesel, combustible no tóxico, biodegradable libre de azufre y benceno, no altera la concentración atmosférica de gases que causan el efecto invernadero. Se puede obtener a partir de recursos renovables, como aceites vegetales y grasas animales, algas y aceites vegetales reciclados de la industria alimentaria [6].

Los aceites vegetales, son extraídos de semillas oleaginosas tradicionales especialmente girasol, soya, colza y palma africana. Sin embargo, cualquier sustancia que contenga esteres de ácidos grasos (triglicéridos) puede

utilizarse para la producción de biodiesel como aceites de fritura usados, sebos y otras grasas animales [7].

Para lograr buenos resultados de conversión de grasas y aceites residuales en biodiesel es necesario determinar las características físicas y químicas de estos aceites ya que esta información sirve para establecer condiciones óptimas si se desea establecer un proceso productivo a partir de esta materia prima [8].

Pero la opción de elaborarlo a partir del aceite de fritura usado, recobra importancia por los problemas ambientales que este residuo produce y el alto costo de la producción empleando aceites vegetales como materias primas.

La ciudad de Iquitos no es ajena a este problema, debido a que no cuenta con un plan de gestión para la disposición de los aceites de frituras generados en viviendas y establecimientos gastronómicos por lo que la mala disposición de estos residuos podría estar produciendo alteraciones en los suelos y cuerpos de aguas circundantes al ser desechados por alcantarillas y o tirados en los suelos sin ningún tratamiento.

El presente estudio es importante debido a que en la ciudad de Iquitos los aceites de fritura usado que se generan en los establecimientos de comida rápida no tienen una adecuada disposición final, siendo desechados en los drenajes y terminando en los cuerpos de aguas circundantes a la ciudad debido a que no se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales. Por lo que estos aceites se podrían recolectar y convertir en biodiesel. Así mismo el trabajo proporcionándonos información relevante que nos permitirán en un futuro plantear un estudio para la instalación de una planta de biodiesel a partir de aceites usados en la ciudad de Iquitos. La misma que podría

contribuir, promover actividad económica y reducir la dependencia de combustibles fósiles.

Por todo lo indicado anteriormente, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general obtener biodiesel a partir de los aceites de frituras usados generados en los establecimientos de comida rápida de la ciudad de Iquitos.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

El empleo de aceites de frituras usados para obtener biodiesel es materia de estudio mundialmente, no solo porque es un residuo o debido a que se le considera un potencial de materia prima de bajo costo, sino principalmente a la reducción en los efectos de la degradación ambiental como resultado del inadecuado manejo de este residuo. [9]

Actualmente existen estudios tanto a nivel mundial, continental, nacional para obtener biodiesel empleando como materia prima aceites de cocina usado, buscando minimizar los impactos ambientales que generan el uso de combustibles fósiles, así como buscar materias primas que hagan viable y sustentable la obtención de biodiesel.

En el 2015 en Colombia, se desarrolló una investigación del tipo experimental, donde se evaluó la obtención de biodiesel a partir de aceite de cocina usado, empleando la catálisis alcalina con hidróxido de sodio y potasio. Evaluaron tres relaciones molares de metanol: aceite, 6:1, 9:1 y 12:1, dos catalizadores KOH y NaOH y dos porcentajes de catalizador 1 % y 2 %; mediante un diseño factorial. Manteniendo la temperatura en 60 °C, y el tiempo de reacción, en 2 horas. El trabajo concluyó que las mejores condiciones para el uso de NaOH y KOH como catalizadores fue al 1 % y la relación molar alcohol: aceite 12:1. En estas condiciones obtuvieron conversiones del 64,1%, un rendimiento de 98% y un porcentaje de metilésteres de 99,1%

cuando el catalizador fue NaOH. Con KOH la conversión fue 63,2 %; el rendimiento, 88 %, y el porcentaje de metil ester, 98,4 %, concluyendo que los aceites usados producen un alto rendimiento en biodiesel [10].

En el 2015 en Brasil, se realizó un trabajo cuyo objetivo fue estudiar la influencia de las variables de temperatura, masa del catalizador y razón molar alcohol: aceite en la producción de biodiesel a partir de aceites residuales. Los aceites residuales fueron colectados en las residencias del Municipio de Palotina Paraná, Brasil los cuales posteriormente fueron filtrados para eliminar la materia particulada y caracterizados mediante su índice de acidez. Para la obtención del biodiesel realizaron la reacción de transesterificación homogénea alcalina empleando como catalizador el NaOH, 40 ml de aceite residual, agitación magnética 30 Rpm y tiempo de reacción 60 minutos. Concluyeron, que la producción de biodiesel a partir de aceites usados puede verse directamente afectada por la masa catalítica utilizada, relación molar alcohol / aceite y temperatura de reacción de transesterificación alcalina que interfiere directamente con el volumen final de la mezcla de éster producido. Siendo la masa del catalizador una interferencia más significativa [11].

Por otro lado, en el 2015, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas México. Se desarrolló una investigación para determinar la cantidad de grasas y aceites (GAR) generada por la industria restaurantes y determinar sus propiedades físicas y químicas para la obtención de biodiesel. Las muestras representativas de GAR provenientes de cada tipo de restaurante fueron caracterizadas en términos de viscosidad,

estabilidad oxidativa, contenido de ácidos grasos libres (AGL), índice de acidez (IA), índice de saponificación, contenido de humedad y composición de ácidos grasos. El análisis indicó que todas, excepto las GAR generadas por restaurantes de comida rápida, cumplen con los niveles de e Índice de acidez (inferior 2 mg KOH/gr) y AGL (inferior a 1%), recomendados para la producción de biodiesel mediante una transesterificación alcalina [8].

A nivel nacional también encontramos algunos estudios de los aceites usados de frituras para convertirlos en biodiesel:

En año 2011 en la Universidad Nacional de Trujillo, se realizó un estudio en la cual se evaluó la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal usado en frituras, mediante una reacción de transesterificación de metanol usando hidróxido de sodio como catalizador. Caracterizó el aceite vegetal usado en frituras obteniendo la acidez 0,560 mg KOH/g de aceite, 4,1 meq O₂/Kg de aceite. La mayor conversión que obtuvo fue de 87.55% para una relación molar metanol: aceite 6:1, tiempo de reacción 50 minutos y catalizador 0,5%p/p. El estudio concluyó que el aceite vegetal usado en frituras es una alternativa como materia prima para la producción de biodiesel [12].

El 2017 en la ciudad de Tacna, se realizó un trabajo de investigación con el objetivo de caracterizar parámetros básicos del aceite usado del comedor universitario de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann y la obtención de biodiesel partiendo del mismo, mediante el proceso de transesterificación alcalina. Los resultados de la caracterización del aceite de cocina usado dieron una densidad de

0,935 g/ml y una viscosidad de 57 cp a temperaturas de 20 y 24 °C respectivamente. La eficiencia de obtención de biodiesel fue del 77%, los resultados de la caracterización del biodiesel obtenido fueron de una densidad de 0,899 g/ml a 20°C una viscosidad dinámica de 9,5 cp a 24 °C, una viscosidad cinemática de 6,04 mm²/s a 40 °C y un índice de refracción de 1,459 a 23,5 °C [13].

En el 2017, se investigó el aprovechamiento de los aceites vegetales usados provenientes del comedor universitario de la Universidad Nacional de Trujillo en la elaboración de biodiesel mediante una transesterificación alcalina. Se colectó un promedio de 13,280 Kg de aceite vegetal usado por semana, se realizó un pretratamiento al aceite lo cual consistió en la separación de sólidos, secado eliminación de ácidos grasos libres. Posteriormente se caracterizó el aceite vegetal mediante su índice de acidez cuyo valor fue de 0,6% y su índice de peróxido 4,97 meq O₂/Kg. En el reactor de biodiesel se transesterificaron 2 bath de 40 L de aceite a 60°C por cada tipo de catalizador (NaOH y KOH). Se utilizó el criterio de la cantidad de glicerol producido para conocer la mejor producción de biodiesel a nivel de tiempo. Para el caso de NaOH, la mayor producción de glicerol se obtuvo a los 150 minutos de reacción con un rendimiento del 12,6%, sin embargo, para la reacción catalizada con KOH, el tiempo óptimo fue de 75 minutos y el rendimiento de 14,6%. Este último catalizador por lo tanto logra una mayor transformación de triglicéridos a metilésteres y glicerol. Evaluando los rendimientos de producción de biodiesel respecto al aceite usado original, se obtuvo 96,9% (catalizado con NaOH) y 94,4% (catalizado con KOH). Las propiedades combustibles

medidas en el biodiesel producido fueron comparadas con los estándares ASTM 6751-03 (B100) encontrándose que: el punto de inflamación, índice de cetano, porcentaje de cenizas, viscosidad cinemática e índice de acidez, cumplen con la norma técnica; mientras que el porcentaje de agua y sedimentos (para el producido con NaOH), y porcentaje de carbón Conradson (para ambos catalizadores), no cumplen con lo establecido en las normas [14].

En el 2018 se realizó una investigación que tuvo como objetivo producir biodiesel a partir de aceite doméstico residual, que fue colectado de diversos sitios como domicilios, pollerías y del comedor universitario de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Al aceite colectado se le realizó un pre tratamiento que consistió en reposo, decantación y calentamiento. Inicialmente al aceite colectado se le determinó su índice de acidez (0.3976 mg de NaOH/g de aceite). La reacción de transesterificación se desarrolló en un rango de temperatura de 45°C a 65°C y 40 mililitros de metanol, obteniéndose un mayor rendimiento de 86 % a una temperatura de 55°C [15].

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Definición de biodiesel

Define el biodiesel como ésteres mono alquílicos de cadena larga de ácidos grasos (FAME). Se encuentra en estado líquido y se obtiene a partir de recursos renovables como aceites vegetales de soja, colza/canola, girasol, palma y otros, como grasas animales y aceites usados, a través de un proceso denominado transesterificación [16]

1.2.2 Materias primas para la elaboración de Biodiesel

Las materias primas más utilizadas para la fabricación de biodiesel deben ser aquella que contenga un alto índice de triglicéridos como: aceites vegetales de girasol, palma, soja, aceite de frituras usado, grasa animal (sebo).

- Aceites vegetales. Químicamente son ésteres de tres ácidos grasos (triglicéridos) y glicerol, Son líquidos a temperatura ambiente y contienen mayor porcentaje de ácidos grasos insaturados [17].

Las materias primas convencionales más utilizadas han sido los aceites de semillas oleaginosas como el girasol, la colza (Europa), la soja (Estados Unidos), y el coco (Filipinas); y los aceites de frutos oleaginosos como la palma utilizados en Malasia e Indonesia [18].

- Aceites de fritura usados. Son residuos de triglicéridos provenientes de procesos de frituras, se caracterizan por una variación significativa en la cantidad de agua, materiales sólidos, compuestos polares y ácidos grasos libres, con respecto al aceite vegetal de origen y de las condiciones operacionales a las cuales fueron sometidas [19].

El aceite usado es una alternativa con mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más barata para la producción de este combustible. La utilización de aceites usados contribuye a una buena gestión y uso del residuo.

- Grasas animales
Las grasas animales en especial el sebo de vaca, también puede

utilizarse para la producción de biodiesel [18].

1.2.3 Obtención del biodiesel

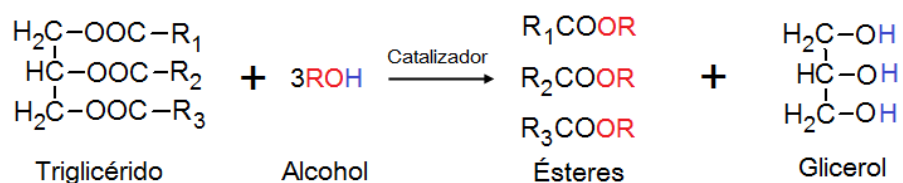
Existen diferentes métodos para la producción de biodiésel dependiendo del tipo de materia prima, el tipo de catalizador a utilizar (catalizador ácido o básico). También se utilizan resinas de intercambio iónico, las lipasas (enzimas) y fluidos supercríticos. Una de las ventajas de este combustible es que las materias primas utilizadas para su producción son naturales y renovables. Generalmente se utilizan aceites de origen vegetal y animal [20].

Entre los métodos más utilizados para la obtención de biodiesel se encuentran transesterificación básica. En la ecuación 1 se ilustra el método básico de transesterificación.

1.2.4 Método de transesterificación para la obtención de biodiesel

La transesterificación o alcoholisis denominada así por utilizar un alcohol de cadena corta como: metanol o etanol, se refiere al desplazamiento del radical del alcohol por otro proveniente de un éster suministrado por los triglicéridos de grasas animales o vegetales, en un proceso similar a la hidrólisis, a excepción de que se utiliza alcohol en lugar de agua. Este proceso es ampliamente utilizado para reducir la alta viscosidad de los triglicéridos. En la ecuación 1: Se presenta la reacción general de la transesterificación.

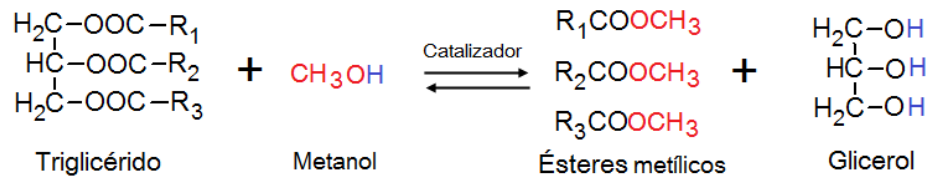
Ecuación 1: Reacción general de transesterificación



Para la transesterificación se puede usar metanol o etanol. Si se usa

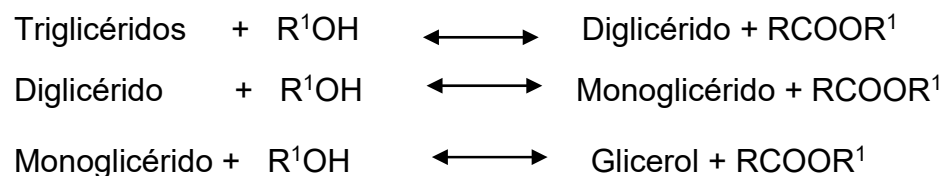
metanol el proceso se llama metanolisis (ver ecuación 2), y si se utiliza etanol se llama etanolisis.

Ecuación 2: Reacción general para la metanolisis de triglicéridos



Ambos procesos pueden ser catalizados por un ácido o una base. Los álcalis más utilizados son el hidróxido sodio, hidróxido potasio, y carbonatos. Los catalizadores ácidos habituales utilizados son: ácido sulfúrico, ácidos sulfónicos, ácido clorhídrico. Después de la transesterificación de los triglicéridos, los productos son una mezcla de ésteres, glicerol, alcohol, catalizador y tri-, di- y monoglicéridos que luego son separados [21]. La capa de glicerina se asienta en el fondo del recipiente de reacción. La formación de diglicéridos y monoglicéridos son un paso intermedio en el proceso. En la ilustración 3 se describe el mecanismo de reacción de transesterificación.

Ecuación 3: Reacción general de los productos intermedios formados en la reacción de transesterificación



Las etapas son reversibles y un pequeño exceso de alcohol se utiliza para cambiar el equilibrio hacia la formación de ésteres [21].

1.2.5 Parámetros que afectan la reacción de transesterificación

1.2.5.1 Pureza y calidad del aceite

Para la obtención de biodiesel de buena calidad es necesario que el aceite empleado sea lo más refinado posible, debe estar, exento de material sólido libre y en suspensión, además debe poseer bajo contenido de ácidos grasos en especial cuando se emplean catalizadores homogéneos, ya que el exceso de estos ácidos puede reflejarse en la baja eficiencia de la reacción. Adicionalmente el contenido de gomas y material insaponificable debe ser bajo [22]

La calidad del aceite, se puede estimar con los siguientes parámetros: índice de acidez y contenido de agua, índice de peróxido, índice de yodo, material insaponificable, contenido de fósforo y cantidad de insolubles. Relación molar entre el alcohol y el aceite.

1.2.5.2 Tipo y concentración del catalizador

La utilización de catalizador aumenta la velocidad de reacción y el rendimiento en biodiesel. Si no se empleara catalizador, la temperatura de reacción debería estar por encima de 250°C. La naturaleza del catalizador es primordial, pues determina los límites de composición con respecto a la materia prima. Adicionalmente, las condiciones y operaciones de separación posteriores a la reacción son determinadas por el catalizador usado.

La cantidad de catalizador varía dependiendo del tipo de catalizador que se emplee. Para catalizadores básicos se reportan

valores desde 0,3 a 2% con respecto a la cantidad de aceite empleado [22].

1.2.5.3 Temperatura, tiempo de reacción y agitación.

La transesterificación puede ocurrir a diferentes temperaturas dependiendo del aceite que se emplee. A medida que la temperatura aumenta, también lo hace el rendimiento de la reacción, sin embargo, después de un determinado tiempo la diferencia entre temperaturas no afecta de manera considerable el rendimiento. Por lo general la reacción de transesterificación se lleva a cabo cerca del punto de ebullición del alcohol (60°C-70°C), sin embargo, esta reacción ha sido estudiada con temperaturas que varían desde 25°C hasta 250 °C [22]

1.3 Definición de términos

- Índice de acidez. Ácido graso libre es cualquier ácido graso no unido al glicerol o a alguna otra molécula en un aceite o grasa. El índice de acidez, representa el contenido de ácidos grasos libres (AGL) y mide el grado de hidrólisis se produce debido a la hidrólisis que ha sufrido el triglicérido. [23]

Mide el número de miligramos de hidróxido potásico necesarios para neutralizar los ácidos libres contenidos en 1 g de materia grasa International [24].

- Índice de peróxido. El índice de peróxido mide el grado de oxidación primaria que ha sufrido la grasa o aceite. Los peróxidos son los productos de descomposición primaria de la oxidación de los aceites y grasas, cualquiera sea su composición. Se forman en los

puntos de instauración de las cadenas de carbonos den los ácidos grasos [24].

- Índice de yodo. El índice de yodo es el número de miliequivalentes o partes de yodo absorbido por 100 partes de peso de sustancia, este parámetro da una idea del número de instauraciones de los ácidos grasos en el aceite [24].
- Índice de saponificación un aceite es el número de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) necesarios para saponificar un gramo de aceite completamente [26].
- Insolubles. Los insolubles representan el contenido de impurezas en el aceite. [24].
- Viscosidad cinemática. Es la resistencia al flujo de un fluido bajo gravedad. [16]
- Densidad. Es la masa de líquido por unidad de volumen a 15°C y 101.325 kPa con la unidad estándar de medición de kilogramo por metro cúbico. [16]
- FAME. Ester metílico de ácidos grasos [16]

CAPITULO II: HIPOTESIS Y VARIABLES

2.1 Hipótesis.

El rendimiento en la obtención de biodiesel a partir del aceite de fritura usado, difiere cuando en el proceso de transesterificación se modifica los valores de los parámetros, relación molar metanol/aceite de 6 a 9, concentraciones de hidróxido de sodio de 0,5% a 1,0% y el tiempo de reacción de 30 min. a 60 min.

2.2 Variables.

2.2.1 Variables independientes:

X_1 = Relación molar metanol/aceite

X_2 = Concentración de NaOH

X_3 = Tiempo de reacción

2.2.2 Variable dependiente:

Y_1 = Rendimiento en biodiesel

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño

El trabajo de investigación realizado es del tipo descriptivo-experimental. Es descriptivo porque se recolectaron información referente a las características físicas químicas del aceite de fritura usado generadas en los establecimientos de comida rápida en Iquitos, y es experimental porque se manipularon las condiciones de operación para la obtención de biodiesel: relación molar alcohol/aceite, tiempo de reacción y concentración del catalizador. En la tabla 1, se muestra los factores y sus dos niveles escogidos. El diseño experimental empleado es del tipo factorial 2^3 (tres factores a dos niveles) dando 8 posibles combinaciones entre los factores y los niveles, por lo que se tuvo que realizar para el estudio 8 ensayos con tres replicas cada uno.

Tabla 1. Niveles de los factores de estudio y de los parámetros intervinientes.

Factores	Símbolo	Niveles	Unidades
Relación molar metanol/aceite	RM	6 – 9	mol/mol
Tiempo de reacción	TR	30-60	minutos
Cantidad de catalizador	CC	0,5-1,0	porcentaje NaOH

Factores intervinientes:

Temperatura de reacción : 60°C
Agitación : 150 rpm

Para determinar las diferentes combinaciones entre los factores y sus niveles se usó los modelos de Algoritmo de signos, algoritmo de Yates.

En la tabla 2 se representan las combinaciones arrojadas para el diseño del experimento.

Tabla 2. Matriz de planteamiento de experimentos

Corrida	RM	TR	CC
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	-	-	+
5	+	+	-
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Donde:

(-) : Representa los niveles más bajos de los factores en estudio.

(+) : Indica los niveles más altos de los factores en estudio.

3.2 Diseño muestral

- **Población de estudio.**

La población de estudio del presente trabajo de investigación fue el aceite de fritura usado generado en establecimientos de comida rápida de la ciudad de Iquitos.

- **Tamaño de la muestra.**

Estuvo constituida por 2500 mL de aceite de fritura usado recolectados en los establecimientos de comida rápida de la ciudad de Iquitos.

- **Muestreo o selección de la muestra.**

El muestreo se realizó tomando 2500 mL de la mezcla homogénea de todos los aceites de fritura usado, colectados en los establecimientos de comidas rápidas.

- **Criterios de selección.**

Se tuvo en cuenta que el aceite de fritura usado provenga de los establecimientos de comida rápida de la ciudad de Iquitos, que tengan el mayor tiempo de funcionamiento y generen mayor cantidad de residuo de aceite de fritura.

3.3 Procedimientos de recolección de datos.

Las técnicas e instrumentos para la recolección de los datos fueron divididas en dos etapas:

3.3.1 Etapa de campo

Técnica:

A. Identificación del lugar del muestreo.

Se recorrió por las calles de la ciudad de Iquitos para ubicar los establecimientos de comida rápida existentes. Luego se socializó con los propietarios de los negocios, explicándoles la finalidad del estudio y solicitándoles su colaboración para la recolectar las muestras de aceites de frituras usados que generan. Se seleccionaron 10 puestos de expendio para el muestreo. Los mismos que se detallan en la tabla 3.

Tabla 3. Ubicación de establecimientos de comida rápida en la ciudad de Iquitos donde se realizó el muestreo.

Nº	Nombre Establecimiento	Ubicación
01	Tottes Burger	Condamine 375
02	Rianchama	Plaza 28 Julio
03	Chatos Burger	Samanes Ocampo/ Nauta
04	Pichilines	Bolognesi/Libertad
05	Chelitas Burger	Bolognesi 614
06	El Huimshito	Leticia 498
07	Rolus Burger	Urb. Próceres MZ4 Lt 11
08	Delicias de Rashell	Freyre/Nauta
09	Moore Burger	Moore 1535
10	Hot Hamburguesas	Los Ángeles 453

B. Recolección de la muestra.

Se le entregó a cada propietario del establecimiento un recipiente plástico de botella reciclada de 600 mL, para que ellos puedan juntar una muestra de los aceites de frituras usados. La colecta se realizó durante cuatro semanas y llevadas al Laboratorio Análisis Industriales de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, para su acondicionamiento y posterior uso. Como se ilustra en el anexo 3 fig.1.

3.3.2 Etapa de Laboratorio:

Técnica:

A. Acondicionamiento de la muestra

En el laboratorio a las muestras colectadas de aceite de frituras usados se les realizó un tratamiento que consistió en la decantación, filtración, secado y almacenado, para su posterior caracterización físico química y finalmente su conversión a biodiesel. En la figura 2 del anexo 3, se muestran las imágenes del procedimiento.

B. Caracterización del aceite de fritura usado:

La caracterización del aceite de fritura usado se realizó teniendo en cuenta que será usado como materia prima para elaborar biodiesel. Y los parámetros evaluados se determinaron de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas (NTP), sobre aceites y grasas comestibles [25], y Métodos Estandarizados de Análisis (ASTM) [16]. Las pruebas se realizaron en el laboratorio de Análisis Industriales de la Facultad de Ingeniería Química y en el laboratorio de Petro

Perú-IQUITOS, los mismos que se detallan a continuación:

a. **Humedad y materiales volátiles.** [25]

Pesamos 10 g de grasa en una cápsula de porcelana y se secó en una estufa a temperatura de (100-105°C). Se sacó de la estufa y se colocó en un desecador para que se enfríe y luego se pesó, se repite este procedimiento hasta obtener dos pesadas iguales.

Cálculo:

$$\%H = \frac{w_i - w_f}{w_i} \times 100$$

W_i = Peso inicial

W_f = Peso final (materia seca)

b. **Índice de acidez.** [25]

Pesamos 5 g del aceite en un Erlenmeyer de 250 mL, añadimos 50 mL de una mezcla etanol - éter etílico (1:2), luego agregamos 3 gotas de indicador de fenolftaleína y valoramos con una solución etanólica de hidróxido de potasio (KOH) 0,1N, hasta el viraje del indicador.

Calculo:

$$\text{Índice de Acidez} = \frac{56,1 V N}{P}$$

V = Volumen en mL de solución etanólica de KOH utilizada

N = Normalidad exacta de la solución KOH utilizada.

P = Peso en gramos de la muestra de aceite utilizada.

c. **Índice de Peróxido.** [25]

Pesamos 5 g de aceite en un Erlenmeyer de 250 mL y añadimos 30 mL de una solución de ácido acético-cloroformo (3:2), luego agitamos hasta que la muestra se disuelva. Agregamos 0,5 mL de solución saturada de yoduro de potasio (KI) y dejamos en reposo por exactamente 5 minutos. Seguidamente adicionamos 50 mL de agua destilada y valoramos la solución con tiosulfato de sodio 0,1N, hasta observar un color amarillo de la solución. Finalmente agregamos 0,5 mL de solución de almidón y continuamos la valoración hasta que desaparezca completamente el color.

Cálculo:

El índice de peróxido se expresó en mili-equivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra, y se calculó utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Índice de peróxido} = \frac{1000 V N}{P}$$

V = Volumen de tiosulfato, en mL, consumido en la valoración.

N = Normalidad de la solución de tiosulfato.

P = Peso, en gramos, de la muestra del aceite.

d. **Viscosidad cinemática.** [16]

Este método especifica un procedimiento para la determinación de la viscosidad cinemática, v , de productos de petróleo, transparentes y opacos, midiendo el tiempo en el que un

volumen de líquido fluye por gravedad a través de un viscosímetro de vidrio calibrado.

e. **Índice de Saponificación.** [25]

Pesamos en un matraz de vidrio 2 g de aceite, agregamos 25 mL de solución etanólica de hidróxido de potasio (KOH) 0,5 N. Adaptamos el reflujo, al matraz y llevamos a ebullición, durante 60 minutos, agitando por rotación de cuando en cuando. Retiramos de la fuente de calor. Agregamos 4 ó 5 gotas de fenolftaleína, y valorar en caliente la solución jabonosa con una solución de ácido clorhídrico 0,5 N.

Repetimos el procedimiento con una muestra en blanco.

Cálculos:

Se calcula mediante la siguiente ecuación y se los resultados se expresan en miligramos de KOH por gramos de grasa.

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{56,1 \text{ N} (V - V')}{P}$$

V = Volumen en mL de solución de HCl 0,5 N utilizados en la prueba en blanco.

V''= Volumen en mL de solución HCL 0,5 N utilizados en la muestra.

N = Normalidad exacta de la solución de ácido clorhídrico utilizado

P = Peso en gramos del aceite.

C. Obtención del biodiesel

La obtención del biodiesel se realizó a nivel laboratorio mediante la reacción de transesterificación alcalina directa empleado para aceites con porcentaje de ácidos grasos libres menores que 1% [10].

a. Preparación del metóxido de sodio

Para la preparación del metóxido se pesó previamente el metanol considerando la relación molar (6/1 y 9/1) y el hidróxido de sodio (NaOH) empleado como catalizador. La cantidad de NaOH pesado fue de 0,5% y 1,0% con respecto al peso del aceite. Las soluciones de metóxido de sodio se prepararon en vasos de Erlenmeyer donde se mezcló el metanol con el NaOH, agitando constantemente hasta disolver totalmente el NaOH. Las soluciones preparadas se guardaron para su posterior uso.

b. Reacción de transesterificación.

Se realizó en un reactor batch, el cual consta de un balón esférico de tres bocas pírrex de 500 mL, con tapa, agitador magnético, condensador de doble tubo y termómetro de mercurio de 0°C – 200°C, todo esto inmerso en un baño maría con temperatura controlada, como se observa en la figura 3 del anexo 3.

Para la reacción, se pesó 50 g de aceite y se introdujo en el balón esférico, luego se ajustó el calentamiento del baño maría hasta que el aceite en el interior del balón se mantenga a una temperatura de 60°C, seguidamente se añadió la solución de

metóxido de sodio, y se agito la mezcla durante el tiempo estimado para cada corrida.

Se realizaron 8 ensayos por triplicado de acuerdo al diseño experimental, las cantidades de los reactivos utilizados en cada uno de estos, se muestran en la tabla 4, y sus cálculos respectivos se encuentran en los anexos 1 y 2.

Tabla 4. Cantidad de reactivos empleados por corrida.

	(RM)	(TR)	(CC)	Peso aceite fritura usado	Peso alcohol Metílico	Peso catalizador (NaOH)
	mol/mol	(min)	(%)	(g)	(g)	(g)
1	6/1	30	0,5	50	16,11	0,25
2	9/1	30	0,5	50	24,17	0,25
3	6/1	60	0,5	50	16,11	0,25
4	6/1	30	1,0	50	16,11	0,50
5	9/1	60	0,5	50	24,17	0,25
6	9/1	30	1,0	50	24,17	0,5
7	6/1	60	1,0	50	16,11	0,5
8	9/1	60	1,0	50	24,17	0,5

c. Decantación.

Terminada la reacción de transesterificación se vertió la mezcla en un embudo de separación y se dejó reposar durante 24 horas, observándose la separación de dos fases, en la parte superior el biodiesel y la inferior la glicerina, como se puede observar en la

fig. 5 del anexo 3.

d. Purificación

La purificación del biodiesel se realizó según lo indicado por [13] mediante lavados sucesivos con agua destilada para eliminar exceso de catalizador (NaOH), metanol glicerina y cantidades de jabón formados. Posteriormente se realizó el secado mediante calentamiento a 90 °C hasta evaporar el contenido de agua. Como se observa en las figuras 5 y 6 del anexo 3.

D. Pruebas de la calidad del biodiesel.

Las siguientes pruebas de calidad del biodiesel, se realizaron en los laboratorios de PETROLEOS DEL PERU PETRO PERU S.A.

- a. Densidad. ASTM D1298
- b. Viscosidad ASTM D 445
- c. FAME. ASTM D 7371

3.4 Procesamiento y análisis de los datos.

Los resultados obtenidos se representan mediante estadística descriptiva, usando tablas, además se evaluó los promedios del rendimiento en biodiesel obtenidos en los ensayos mediante el ANOVA y prueba Tukey, para observar si existen diferencia significativa en los tratamientos aplicados. Así también se evaluó el diseño factorial 2³ empleado para observar de qué manera las variables en estudio influyen en el rendimiento del biodiesel. El paquete estadístico utilizado fue el MINITAB 17.

3.5 Aspectos éticos

El trabajo no se realizará experimentos con seres humanos ni animales por lo que no se considera este punto (Guía para elaborar el plan de tesis y trabajos de investigación en la UNAP 2018).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Caracterización Física y química del aceite de fritura usado.

Tabla 5. Características física y química del aceite de fritura usado.

Determinaciones	Promedio	DS
Humedad (%)	0,36	0,057
Densidad 15.6°C (g/ml)	0,92*	0,026
Viscosidad 40°C cinemática (mm ² /s)	35,87*	1,260
Índice de Acidez (mg de KOH/ g aceite)	1,93	0,281
Ácidos Grasos Libres (% Ac. Oleico)	0,97	0,141
Índice de Peróxido (mEq O ₂ /Kg aceite)	5,96	0,893
Índice de Saponificación (mg KOH/g aceite)	282,00	1,732
Peso Molecular (g/mol)	596,42	---

*Informe de ensayo PETROPERU (Anexo 4).

4.2 Obtención de biodiesel a partir de aceite usado.

4.2.1 Rendimiento de biodiesel obtenidos en los ensayos.

Tabla 6. Promedio del rendimiento en biodiesel obtenido en los ensayos.

Ensayos	(RM) (mol/mol)	(TR) (min)	(CC) (%)	Rendimiento (%)	DS
1	6/1	30	0,5	84,79	0,75
2	9/1	30	0,5	66,37	1,16
3	6/1	60	0,5	90,12	0,99
4	6/1	30	1,0	39,95	1,43
5	9/1	60	0,5	74,12	0,61
6	9/1	30	1,0	73,64	0,82
7	6/1	60	1,0	71,86	0,96
8	9/1	60	1,0	50,10	0,96

4.2.2 Análisis de los valores medios de rendimiento de biodiesel obtenido en los ensayos.

Prueba de normalidad:

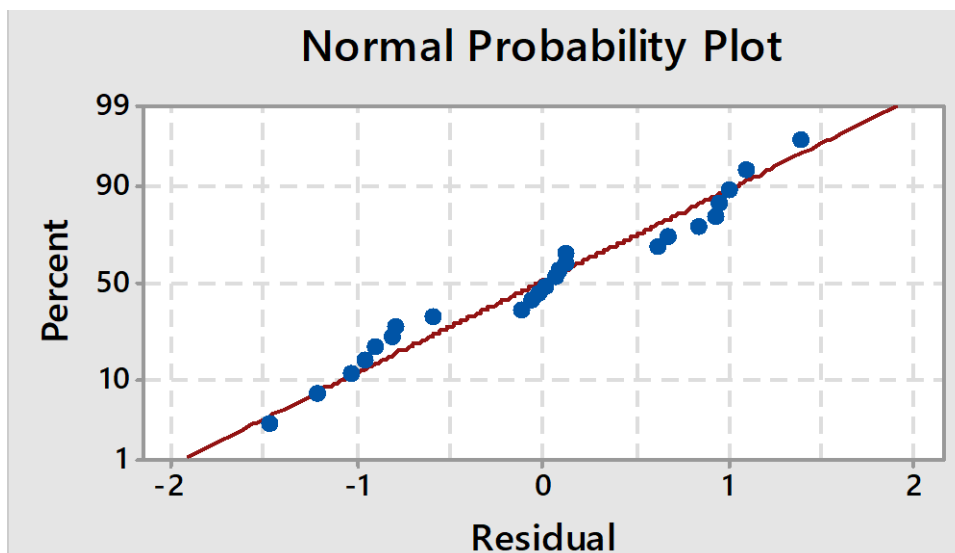


Figura 7. Prueba de normalidad de Pareto, de los rendimientos de biodiesel versus los ensayos.

Análisis de Varianza (ANOVA):

Ho: Todas las medias son iguales

Ha: Al menos una de las medias es diferente

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Tabla 7. Resultado del análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento de biodiesel versus los ensayos.

Fuente	GL	SC	CM	F valor	P valor
Ensayos	7	5870,43	838,634	857,15	0,000
Error	16	15,64	0,978		
Total	23	5886,08			

$P < \text{nivel de significancia} \rightarrow \text{Rechazar } H_0$

$0,000 < 0,05 \text{ Si } \rightarrow \text{rechazamos } H_0$

Prueba de Tukey.

Tabla 8. Información de grupos utilizando la prueba de Tukey y 95% de confianza.

Ensayos	N	Media				
3	3	90,12	A			
1	3	84,79		B		
5	3	74,12			C	
6	3	73,64			C	
7	3	71,86			C	
2	3	66,37				D
8	3	50,10				E
4	3	39,95				F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.2.3 Análisis del diseño experimental (Factorial 2³) del rendimiento biodiesel versus RM; TR, CC.

Análisis de Varianza (Rendimiento vs RM, TR, CC):

Tabla 9. Análisis de Varianza (Rendimiento vs RM, TR, CC).

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	5870,43	838,63	857,87	0,000
Linear	3	2750,97	916,99	938,02	0,000
MR	1	190,46	190,46	194,83	0,000
TR	1	171,90	171,90	175,84	0,000
CC	1	2388,61	2388,61	2443,40	0,000
2-Way Interactions	3	1865,64	621,88	636,14	0,000
RM*TR	1	1052,71	1052,71	1076,86	0,000
RM*CC	1	804,46	804,46	822,91	0,000
TR*CC	1	8,46	8,46	8,65	0,010
3-Way Interactions	1	1253,83	1253,83	1282,58	0,000
RM*TR*CC	1	1253,83	1253,83	1282,58	0,000
Error	16	15,64	0,98		
Total	23	5886,08			

Tabla 10. Resumen del modelo de regresión diseño factorial.

S	R- cuadrado	R - cuad (a justado)	R-Cuad (pred)
0,9887	99,73%	99,97%	99,40%

Tabla 11. Efectos y coeficientes codificados para Rendimiento del biodiesel para un $\alpha = 0,05$.

Termino	Efecto	Coef	SE Coef	T	P
Contraste		66,83	0,04905	1362,54	0,000
RM	- 5,63	- 2,32	0,04905	- 47,25	0,000
TR	5,35	- 10,69	0,04905	- 217,85	0,000
CC	- 19,95	- 5,41	0,04905	- 110,30	0,000
RM*TR	-13,24	- 0,64	0,04905	- 13,10	0,000
RM*CC	11,5	2,59	0,04905	52,75	0,000
TR*CC	- 1,18	- 2,10	0,04905	- 42,92	0,000
RM*TR*CC	- 14,45	- 1,06	0,04905	- 21,56	0,000

Ecuación de regresión: Rendimiento biodiesel vs RM, TR, CC :

$$\text{Rendimiento} = 68,872 - 2,817\text{RM} + 2,676\text{TR} - 9,976\text{CC} - 6,623\text{RM*TR} + 5,790\text{RM*CC} - 0,594\text{TR*CC} - 7,228\text{RM*TR*CC}$$

4.3 Calidad del biodiesel obtenido del aceite de fritura usado

Tabla 12. Calidad del biodiesel obtenido del aceite de fritura usado con el mayor rendimiento. Con la finalidad de contar con información de la calidad del biodiesel obtenido se determinó los siguientes parámetros los cuales fueron realizados en los laboratorios de PETROLEOS DEL PERU PETRO PERU S.A.

Tabla 12. Resultados del análisis del biodiesel obtenido en el ensayo 3 que presento mayor rendimiento.

Parámetros	Ensayo 3 *	NPT** (B100) 321.125.2008	Norma ASTM D6751
Densidad (g/cm ³) 60°F	0,8418	D1298 0,860- 0,900
Viscosidad Cinemática (cSt) 40 °C	4,708	1,9-6,0	D445 1,9-6,0
Contenido de Esteres metílicos de ácidos graso (FAME) % V	90,95	96,5	D7371

*Informe de ensayo PETROPERU (Anexo 5)

**N.T.P 321.125.2008 Norma Técnica Peruana

CAPITULO V: DISCUSION DE RESULTADOS

El valor promedio de ácidos grasos libres en el aceite de fritura usado, obtenido en el presente trabajo fue de 0,97% como se observa en la tabla 5 valor muy cercano al (0,98%) [10] y menor al 1% indicado por [26-14] como límite para usar aceites vegetales usados en la producción de biodiesel mediante transesterificación alcalina directa, ya que valores mayores a 1% pueden producir jabones.

Los valores de viscosidad determinados para el aceite de fritura usado fueron de 35,87 mm²/s valor por debajo de lo obtenido por [10] de 131,5934 mm²/s 40 °C y a la normativa (50 mm²/s).

El índice de peróxido (5,96 mEq O₂/kg) del aceite de fritura usado es cercano a la norma para un aceite virgen (< 5), lo cual indica que el aceite no ha sufrido una oxidación significativa durante el proceso de fritura.

En la tabla 6, se indican los resultados de los rendimientos de cada tratamiento observándose que el mayor rendimiento es del tratamiento 3 con un valor de 90,12%., teniendo como relación molar metano/aceite 6/1, tiempo de reacción 60 minutos y 0,5% cantidad de catalizador, valor superior al 87,55%, obtenido por [12] cuando trabajo con un tiempo de reacción de 50 minutos siendo las demás condiciones iguales al ensayo 3. Se considera un valor normal ya que [27] indica “que rendimientos de 85% al 90% son considerados normales y por encima de este rango son considerados altos y por debajo de este rango son considerados bajos”

La cantidad de catalizador es un parámetro que influye en el rendimiento del final del biodiesel, debido a que a menor porcentaje de catalizador usado en el proceso de transesterificación mayor es el rendimiento en biodiesel alcanzado. Esto se puede comprobar en la tabla 6 si se comparan las corridas 3 y 7 que presentan porcentajes de rendimiento de 90,12% y 71,86% y las concentraciones de catalizador son 0,5% y 1% respectivamente, empleando las mismas condiciones de en el proceso de transesterificación. Esto puede deberse a la presencia de una reacción de saponificación que se produce durante el proceso [28].

Con respecto al tiempo de reacción, variable también estudiada en el presente,[26] indica que la tasa de rendimiento se incrementa con el tiempo, lo que se observa en la tabla 6, en las corridas 1 y 7 teniendo rendimientos de 84,79% y 90,12% con tiempos de reacción de 30 y 60 minutos respectivamente, siendo las demás consideraciones de operación iguales.

En cuanto a la relación molar alcohol/ aceite se observa en la tabla 6 que en la corrida 3 se emplea la relación 6/1 obteniéndose un rendimiento de 90,12%, y en la corrida 5 cuando la relación alcohol/ aceite sube 9/1 el rendimiento baja a 74,12% teniendo las otras condiciones iguales. Por su parte [29] obtuvo rendimientos superiores al 93% empleando una relación de 6/1 y [30] obtuvo un rendimiento óptimo de 73% a una relación de 6/1, indicando que relaciones mayores disminuyen el rendimiento, manifestando que esto podría suceder debido a que relaciones molares mayores (9/1) tardan más tiempo en llegar a una conversión cercana al equilibrio de la reacción de transesterificación.

En la tabla 7 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para los valores del rendimiento de los biodiesel obtenidos en cada ensayo muestran p valor menor que el nivel de confianza ($p < 0.05$), este valor indica que al menos uno de los valores medios del rendimiento en biodiesel obtenidos en los ensayos presenta una diferencia estadística significativa con respecto a los demás.

En la tabla 8, se puede observar los resultados del análisis de las medias de los rendimientos de cada tratamiento mediante la prueba de Tukey indica que las medias que no comparten una letra presentan diferencia estadística significativa. Observándose que el ensayo 3 es diferente a los demás y presenta el mejor rendimiento.

En la tabla 11 se analizan los efectos de cada una de las variables y sus combinaciones. Se observa que cuando se incrementa la relación molar (RM) de 6/1 a 9/1 disminuye el rendimiento del biodiesel, lo mismo ocurre con el incremento del catalizador de 0,5% a 1%. Mientras que al incrementar el tiempo de reacción de 30 minutos a 60 minutos se observa aumento en el rendimiento del biodiesel.

Así mismo la tabla 11 muestra el análisis de la interacción de los factores. Como se puede observar la RM tiene un efecto de disminuir el rendimiento del biodiesel cuando el tiempo de reacción pasa de 30 minutos a 60 minutos.

Por otro lado, la interacción entre RM*TR*CC indica que el efecto que produce la RM es disminuir el rendimiento del biodiesel cuando el TR cambia de 30 minutos a 60 minutos y la CC cambia de 0,5% a 1%.

Las propiedades físico químicas analizadas al biodiesel obtenido (tabla 12) comparadas con las especificaciones técnicas ASTM 6751-03 (B100), indican

que la densidad (0,8418 g/ cm³) está por debajo del rango de la norma, la viscosidad cinemática (4,7080 cSt) valor menor a lo obtenido por Medina 2015 de 20,65 cSt, pero valor que está dentro del rango de la norma ASTM. La viscosidad se relaciona con la cantidad de triglicéridos no convertidos. Con respecto a la cantidad de esteres metílicos de ácidos grasos (FAME) obtenidos en el presente trabajo (90,95%) no cumple con la norma técnica peruana (NTP) de 96,5%.

CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación demostró que es posible obtener biodiesel a partir de aceite de fritura usado con un contenido de ácidos grasos libres menor de 1% colectados en establecimientos de comida rápida en la ciudad de Iquitos.

Es necesario conocer parámetros de índice de acidez y humedad del aceite a emplear en el proceso, para determinar el tipo de catalizador en la transesterificación.

En el tratamiento 3 se obtuvo el mayor rendimiento en biodiesel de 90,12% empleando 0,5% p/p de catalizador NaOH, tiempo de reacción 60 minutos y una relación molar de metanol: aceite de 6/1 a una temperatura de 60°C y 150 rpm de agitación.

El rendimiento del biodiesel obtenido mediante la reacción de transesterificación alcalina a partir de aceite de fritura usado es afectado por la concentración del catalizador y relación molar metanol/aceite, ya que cuando estos factores aumentan el rendimiento disminuye.

El biodiesel obtenido a partir de aceite de fritura usado, cumple con las especificaciones técnicas de la norma internacional ASTM 6751 (B100) con respecto a la viscosidad cinemática. Pero no cumple con la norma técnica peruana (NTP) con respecto a la cantidad de esteres metílicos de ácidos grasos (FAME) de 96.5% ya que en el en el presente trabajo se obtuvo (90.95%).

RECOMENDACIONES

Realizar estudios similares del proceso de transesterificación con tiempos mayores, ya el tiempo es uno de los factores que influyen en el rendimiento de biodiesel.

Evitar que el tiempo de reposo para la separación del biodiesel obtenido y la glicerina exceda el tiempo establecido ya que estos pueden volver a mezclarse.

Evaluar el empleo del biodiesel obtenido a partir de aceites de fritura usados en motores Diesel.

Realizar investigaciones para dar valor agregado a la glicerina obtenida como subproducto y de esta manera minimizar los costos de producción.

Realizar estudios de investigación para determinar la cantidad de aceite de fritura usado generado en este sector y posterior estudio de factibilidad económica para la elaboración de biodiesel.

Realizar estudios cromatográficos con la finalidad de determinar la cantidad de triglicéridos presentes en el aceite de fritura usado que fueron transformados en metilésteres.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bacchi, Tobías. *Utilização de óleo de fritura descartado para a produção de biodiesel*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul -UFRGS. Escola de Engenharia. EEN99004 – Projeto em Energia III. Engenharia de Energia 2014/2.
- [2] Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI s.f.). *Gestión ambiental de aceites de fritura usados*, recolección y reciclado del aceite de fritura usado.
- [3] Carvalho, A et al. 2018. Analysis of the costs and logistics of biodiesel production from used cooking oil in the metropolitan region of Campinas (Brazil) por *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (88): 373-379. 2018.
Doi.org/10.1016/j.rser.02.028.
- [4] Silva, M. et al. 2017. Experiencias de reciclaje de residuos de aceite de cocina en todo el mundo: un análisis preliminar de las redes emergentes en la Región Metropolitana de São Paulo, Brasil por. *Revista Internacional y Política Energética*, 13 (3): 189-206.2017.
DOI: 10.1504 / IJETP.2017.084490.
- [5] Bonilla, S. Acosta, J. MIÑO, G. Análisis de los factores que influyen en el proceso de transesterificación para la producción de biodiesel a partir de aceites de cocina usados.”, *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, [en línea] diciembre 2017. [Fecha de consulta: 15 de enero 2020].

Disponible:

<http://www.eumed.net/coursecon/ecolat/ec/2017/produccion-biodiesel.html>.

INSSN:1696-8352, diciembre 2017.

- [6] EPA. A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions. Draft Technical Report. EPA420-P-02-001, Assessment and Standards Division, Office of Transportation and Air Quality, U. S. Environmental Protection Agency, 2002.
- [7] Avellaneda, F.A. *Producción y caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo de un reactor helicoidal*. Tesis Doctoral, Universitat Roviral Virgili, 2010.
- [8] Tacias Pascacio, V, Rosales Quintero, A y Torrestiana, Beatriz. 2016. Evaluación y Caracterización de Grasas y Aceites Residuales de cocina para la producción de Biodiesel: Un Caso de Estudio. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, ,32(3),303-313.
DOI: 10.20937/RICA.2016.32.03.05
- [9] Barbosa GN, Pasqualetto, A. Aproveitamento do Óleo Residual de Fritura na Produção de Biodiesel [En línea]. Goiânia: Universidade Católica de Goiás. 2007, pp. 01 – 18. Consultado 13 noviembre 2019.
Disponible en:
<http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/APROVEITAMENTO%20DE%20%C3%93LEO%20RESIDUAL%20DE%20FRITURA%20NA%20PRODU%20%C3%87%>

C3%83O%20DE%20BIODIESEL.pdf.

- [10] López, L, Bocanegra J. y Malagón-Romero, D. “Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado”, Ing. Univ., vol. 19, no. 1, pp. 155-172, 172. 2015.

DOI: 10.11144/Javeriana.iyu19-1.sprq

- [11] Oliveira, C, Sayuri, C. Teleken, J., Thompson, R., Berté, E., y Cremone, P. Efeitos DAS CONDIÇÕES REACIONAIS DE TRANSESTERIFICAÇÃO ALCALINA A PARTIR DE ÓLEOS RESIDUAIS. *Revista Tecnológica*. 2015.

DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/revtecnol.v24i1.28742>. Maringá, v. 24, p. 119-129, 2015

- [12] Rodríguez, K. y Villanueva, L. *Producción de Biodiesel a partir de Aceite Vegetal usado en Fritura por medio de la Transesterificación de Metanol*. Tesis para optar el título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional de Trujillo. 2011. [Consultado 12 de julio del 2019] disponible en: **URI:** <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3356>.

- [13] Mamani, E. Avendaño, E. y Quispe, O. *Obtención y caracterización de biodiesel a partir de desechos de aceite de la cocina del comedor universitario de la UNJBG, mediante transesterificación alcalina*. (Informe de Investigación Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna. 2017. Recuperado de http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/1514/proi_n_016_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [14] Castillo, B. “Aprovechamiento de los Desechos de Aceite Vegetal Generados por el Comedor Universitario de la U.N.T. Para la Producción de Biodiesel”. Tesis para Optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de Trujillo, 2017.
- [15] FALCÓN, I. y GUERRERO, T. 2016. Obtención de biodiesel a partir de aceite domestico residual. *Investigación y Amazonía*, 6 (1): 37-44.
ISSN: 2224-445X
- [16] Annual Book of ASTM STANDARDS. (1983). Petroleum Products Hambook and Lubricants, Edit. Staff Easton MD, USA, 1000 p.
- [17] Canakci, M. Van Gerpen, J. 2001. Biodiesel Production from Oils and Fats with high Free Fatty Acids. Iowa. USA; *American Society of Agricultura Engineers*. Vol 44 (6) 1424-1436.
- [18] Querini, C. Biodiesel: producción y control de calidad. 2018Recuperado de http://www.acsoja.org.ar/images/cms/contenidos/439_b.pdf
- [19] Neuza, Jorge. et al. 2005. Alterações físico-químicas dos óleos de girassol, milho e soja em frituras. *Química Nova*, v. 28, n. 6, p. 947 – 951, 2005.
- [20] Sagarpa. Bioenergéticos.2018recuperado de <http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/biodiesel/balance-ecologico.html>
- [21] Parawira, W. Production from *Jatropha curcas*. *Revista Scientific Research and Essays*, 2010.5(S/N),1796-1808.[20 de enero del 2020]

Deisponible:http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092009000300003&lng=en&nrm=iso. ISSN 0120-5609

- [22] Cerdeira, S. Biodiesel en el laboratorio. 2018
http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelpdf
- [23] Lawson, H. *Aceite y Grasas alimentarios. Tecnología, utilización y Nutrición*. Ed. Acribia: 2002.
- [24] Mundi-Prensa Libros, S.A. *Métodos Oficiales de Análisis de Alimentos*.Castello,37. 28001 Madrid. 1994
- [25] Norma Técnica Peruana. NTP209.001.1983: Definiciones y Requisitos Generales para un aceite comestible. Lima; 2000
- [26] Freedman, B., Butterfield, RO y Pryde, EH Cinética de transesterificación del aceite de soja 1. *J Am Oil Chem Soc*.1986. **63**, 1375-1380. <https://doi.org/10.1007/BF02679606>
- [27] Fukuda, H., A. Kondo y H. Noda. 2001. Biodiesel fuel production by transesterification. *Journal of Bioscience and bioengineering* Vol. 92 No. 5: 406-416.
- [28] S. Keera, S. El Sabagh y A. Taman, 2011. Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuelusing alkaline catalyst., *Fuel*, vol. 90, pp. 42-47,
- [29] Medina, M, Ospino, Y, y Tejada, L. 2015.Esterificación y Transesterificación de Aceites Residuales para obtener Biodiesel. *Revista Luna Azul*. 2015; 40: 25-34. DOI: 10.17151/luaz.2015.40.3. No. 40, enero - junio 2015 Universidad Caldas.

[30] Alva, M. y Cipra P. g Estudio comparativo de los biodiesel, obtenidos a partir de metanol y etanol y su adaptación a escala piloto. Universidad Nacional de Trujillo, 2015[Consultado 12 de julio del 2019] disponible en:

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNIT_2a5e33ebef1ddaf1ff75f62969a1f7b8/Details

ANEXOS

ANEXO 1: Determinación del peso molecular del aceite fritura usado.

El índice de Saponificación (I. S). Es el peso en miligramos de potasa caustica (KOH) necesaria para saponificar 1 gramo de grasa.

La saponificación consiste en la reacción de una grasa con un álcali, estequiométricamente se cumple:



En la tabla 7, se tiene que el índice de saponificación del aceite de fritura usado es 282 mg KOH/ g de aceite, por lo que se necesitó 282 mg (0.280 g) de KOH para saponificar 1g de aceite.

$$\eta_{\text{KOH}} = \frac{0.282}{56.11} = 0.005025842096 \text{ mol gramo}$$

Por la estequiometria tenemos:

1mol de aceite3mol de KOH

X..... 0.005025842096 mol gramo

X = 0.001675280699 mol gramo de aceite.

Determinando el peso molecular del aceite de fritura usado

$$\eta_{\text{aceite}} = \frac{1}{\square}$$

PM = 596.91

ANEXO 2: Cálculo de la cantidad de metanol requerido para la reacción de transesterificación por cada corrida.

Se realizaron los cálculos tomando en consideración el peso moléculas del aceite vegetal usado (596.91 g/mol) determinado con el valor del índice de saponificación y la relación estequiométrica planteada para la transesterificación que indica que por cada mol de aceite se requiere: 6 y 9 moles de metanol.

Relación molar aceite: metanol 1:6

Masa del aceite frito usado	=	50.00 g.
PM	=	596.91 mol gramo
η (aceite): 1 mol	=	0.0838 moles
PM (Metanol)	=	32.04 mol gramo
η (Metanol requerido): 6	=	0.502 moles
masa (Metanol requerido)	=	16.11 g.

Relación molar aceite :metanol 1:9

Masa del aceite	=	50.00 g.
PM (AVU)	=	596.91 mol gramo
η (aceite):	=	0.0838 moles
PM (Metanol)	=	32.04 mol gramo
η (Metanol requerido): 9	=	0.754 moles
masa (Metanol requerido)	=	24.17 g.

ANEXO 3: Ilustraciones de los procedimientos realizados en el trabajo de tesis

Fig 1. Recolección de muestras de aceite de fritura.



Figura 2: Decantación, filtración y secado del aceite de fritura usado.



Figura 3: Reactor Batch usado en la reacción de transesterificación



Figura 4. Decantación y separación de fases biodiesel glicerina.

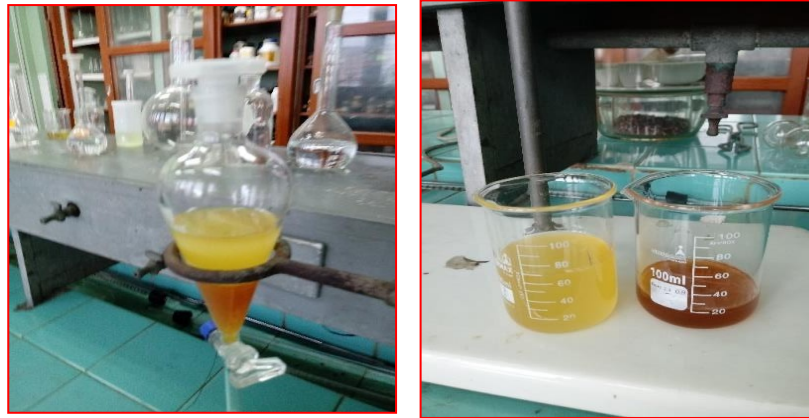


Figura 5. Lavado y secado del biodiesel



Figura 6. Biodiesel Purificado



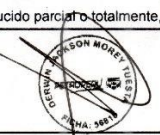
Anexo 4: Resultados del informe de ensayo del aceite vegetal usado realizado en PETROPERU

PETRÓLEOS DEL PERÚ - PETROPERÚ S.A.



INFORME DE ENSAYO PRODUCTO: ACEITE VEGETAL USADO

REPORTE N°: RFIQ-LAB-000337-2019

REFINERÍA REFINERÍA IQUITOS		FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA 25/04/2019		FECHA DE REPORTE 25/04/2019	
PRODUCTO ACEITE VEGETAL USADO		MUESTRA N° ÚNICA		TESISTA	
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA LABORATORIO TESISTA		VOLUMEN CERTIFICADO 100 ML		LABORATORIO PETROPERU - REFINERÍA IQUITOS	
PROPIEDADES		MÉTODO ASTM/OTRO	RESULTADOS	ESPECIFICACIÓN	
				MÍNIMO	MÁXIMO
Color ASTM		D6045	1.5		3.0
VOLATILIDAD					
Gravedad API a 15.6 °C		D1298	22.0		Reportar
Densidad a 60 °F		D1298	57.494 lb/pie3		Reportar
Densidad a 15.6 °C		D1298	0.9218 Kg/Lt		
Punto Inicial de Ebullición					Reportar
5 % Vol. Recuperado					Reportar
10% Vol. Recuperado					Reportar
20% Vol. Recuperado					Reportar
50% Vol. Recuperado					Reportar
90% Vol. Recuperado					Reportar
95% Vol. Recuperado					Reportar
Punto Final de Ebullición					Reportar
Recuperado, % Vol.					Reportar
Residuo, % Vol.					Reportar
Pérdida, % Vol.					Reportar
FLUIDEZ					
Viscosidad Cinemática a 40 °C, cSt		D445	35.876		Reportar
Capilar 100-403A (Factor:0.01651)					Reportar
EQUIPO					
Viscosímetro "PRECISIÓN INDUSTRIAS"					Reportar
TIEMPO CRONOMETRADO					
1° 36.13 minutos					Reportar
2° 36.14 minutos					
3° 36.13 minutos					Reportar
TIEMPO PROMEDIO					
36.13 minutos					Reportar
CONTAMINANTES					
Agua y Sedimentos, % Vol.		D1796			Reportar
ESTABILIDAD A LA OXIDACION					
Estabilidad a la Oxidación, método acelerado, mg/100 ml		D2274			Reportar
OBSERVACIONES					
1. Los resultados emitidos en el Informe de Ensayo sólo son validos para la muestra analizada.					
2. La muestra ha sido tomada por la Tesista					
3. Este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización de PETROPERÚ.					
ELABORADO POR:			APROBADO POR:		
			Copia: Original firmado por: BILLY DÁVILA SALAS Ficha N° 56255		



Sub Gerencia Refinación Selva
 Av. La Marina 465 - Iquitos
 Central telefónica: (511) 614-5000
 Portal empresarial: www.petroperu.com.pe

Anexo 5: Resultados del Análisis de Biodiesel realizado en PETROPERU

PETRÓLEOS DEL PERÚ - PETROPERÚ S.A.



INFORME DE ENSAYO PRODUCTO: BIODIESEL

REPORTE N°: RFIQ-LAB-000402-2019

REFINERÍA REFINERÍA IQUITOS	FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA 12/09/2019	FECHA DE REPORTE 12/09/2019		
PRODUCTO BIODIESEL	MUESTRA N° ÚNICA	TESISTA		
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA LABORATORIO TESISTA	VOLUMEN CERTIFICADO 100 ML	LABORATORIO PETROPERU - REFINERÍA IQUITOS		
PROPIEDADES	MÉTODO ASTM/OTRO	RESULTADOS	ESPECIFICACIÓN	
			MINIMO	MÁXIMO
Color ASTM	D6045	1.5		3.0
VOLATILIDAD				
Gravedad API a 15.6 °C	D1298	36.6	Reportar	
Densidad a 60 °F	D1298	0.8418 Kg/Lt	Reportar	
DESTILACIÓN				
Punto Inicial de Ebullición			Reportar	
5 % Vol. Recuperado			Reportar	
10% Vol. Recuperado			Reportar	
20% Vol. Recuperado			Reportar	
50% Vol. Recuperado			Reportar	
90% Vol. Recuperado			Reportar	
95% Vol. Recuperado			Reportar	
Punto Final de Ebullición			Reportar	
Recuperado, % Vol.			Reportar	
Residuo, % Vol.			Reportar	
Pérdida, % Vol.			Reportar	
FLUIDEZ				
Viscosidad Cinemática a 40 °C, cSt	D445	4.708	Reportar	
Capilar 100-405A (Factor:0.01618)			Reportar	
EQUIPO				
Viscosímetro "PRECISIÓN INDUSTRIAS"			Reportar	
TIEMPO CRONOMETRADO				
1° 4.51 minutos			Reportar	
2° 4.51 minutos			Reportar	
3° 4.50 minutos			Reportar	
TIEMPO PROMEDIO				
4.51 minutos			Reportar	
FAME				
Fame, % Vol.	D7371	90.95	Reportar	
ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN				
Estabilidad a la Oxidación, método acelerado, mg/100 ml	D2274		Reportar	
OBSERVACIONES				
1. Los resultados emitidos en el Informe de Ensayo sólo son validos para la muestra analizada.				
2. La muestra ha sido tomada por la Tesista				
3. Este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización de PETROPERÚ.				
ELABORADO POR:		 APROBADO POR: Copia: Original firmado por: BILLY DÁVILA SALAS Ficha N° 56255		



Sub Gerencia Refinación Selva
Av. La Marina 465 - Iquitos
Central telefónica: (511) 614-5000
Buzón comercial: 0800 800000