

Obtaining Biodiesel from Recycled Oils from Food Establishments: A Sustainable Alternative to the Use of Fossil Fuels

Katty Valdez – Valencia¹; Ronald Huamán – Aguilar²; Gladys S. Licapa – Redolfo³; Rut K. Fajardo – Flores⁴; Gary Christiam Farfán Chilicaus⁵; Aldo Roger Castillo Chung⁶; Rolando Licapa – Redolfo⁷

^{1,2}Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Perú, katpilval2@gmail.com ; ronaldhuamanaguilar@gmail.com

^{3,4}Universidad Privada del Norte, Perú, gladys.licapa@upn.edu.pe; N00022890@upn.pe

^{5,6}Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, gfarfanc@unitru.edu.pe; alrocas@unitru.edu.pe

⁷Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Perú, dinner.licapa@unsch.edu.pe

Abstract- The main objective of this study is to investigate the influence of the molar ratio of methanol and oil, as well as the percentage of sodium hydroxide, on the calorific value during the production of biodiesel from used oils obtained from restaurants in Cajamarca. To do this, the transesterification process, which was patented by a company in 1950 in the United States, will be used. The process will begin with a survey applied to each of the restaurants to determine the amount of used oil and establish a collection system. Then, transesterification will be carried out in a laboratory and the calorific value of the biodiesel will be evaluated using the Anderson Darling probability method. Finally, two independent categorical groups will be analyzed with the Kruskal-Wallis Test to determine any possible differences in calorific value between them. In general, this study is crucial to improve biodiesel production from used oils, reducing dependence on fossil fuels and contributing to a more sustainable future.

Keywords: Biodiesel, Transesterification, Calorific value, Recycled oil.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Obtención de Biodiésel de Aceites Reciclados Provenientes de Establecimientos de Comida: Una Alternativa Sustentable al Uso de Combustibles Fósiles

Katty Valdez – Valencia¹; Ronald Huamán – Aguilar²; Gladys S. Licapa – Redolfo³; Rut K. Fajardo – Flores⁴; Gary Christiam Farfán Chilicaus⁵; Aldo Roger Castillo Chung⁶; Rolando Licapa – Redolfo⁷

^{1,2}Universidad Privada Antonio Guillermo Urré, Perú, katpilval2@gmail.com ; ronaldhuamanaguilar@gmail.com

^{3,4}Universidad Privada del Norte, Perú, gladys.licapa@upn.edu.pe; N00022890@upn.pe

^{5,6}Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, gfarfanc@unitru.edu.pe; alrocas@unitru.edu.pe

⁷Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Perú, dinner.licapa@unsch.edu.pe

Resumen– *Este estudio tiene como objetivo principal investigar la influencia de la proporción molar de metanol y aceite, así como del porcentaje de hidróxido de sodio, en el poder calorífico durante la producción de biodiésel a partir de aceites usados obtenidos en restaurantes, en la ciudad de Cajamarca. Para ello, se utilizará el proceso de transesterificación, que fue patentado por una empresa en 1950 en los Estados Unidos. El proceso comenzará con la aplicación de una encuesta a cada una de los restaurantes con el fin de determinar la cantidad de aceite usado y establecer un sistema de recolección. Luego, se llevará a cabo la transesterificación en un laboratorio, y se evaluará el poder calorífico del biodiésel utilizando el método probabilístico de Anderson Darling. Por último, dos grupos categóricos independientes se analizarán con la Prueba de Kruskal-Wallis para determinar cualquier posible diferencia en el poder calorífico entre ellos. En general, este estudio es fundamental para mejorar la producción de biodiésel a partir de aceites usados, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y contribuyendo a un futuro más sostenible.*

Palabras claves: *Biodiésel, Transesterificación, Poder calorífico, Aceite reciclado.*

I. Introducción

Los combustibles fósiles en todo el mundo se utilizan como fuente principal de energía, se

encuentran presentes en la naturaleza gracias a la acumulación de biomasa durante un periodo de millones de años. muchos países en gran medida dependen de exportaciones de petróleo y derivados para mantener su economía [1].

La desenfadada y rápida industrialización del mundo, ha provocado que las sociedades se vuelvan cada vez más dependientes de los recursos de combustibles fósiles, en la cual uno de los más importantes es el petróleo, el cual no puede satisfacer nuestras necesidades para siempre, debido a que es una fuente de energía no renovable [2]. Sin embargo, la gran dependencia del uso de combustibles fósiles ha generado dos grandes tipos de preocupaciones las cuales han dominado en diferentes momentos de la historia y en la actualidad, en primer lugar, los impactos ambientales vinculados, los efectos del cambio climático especialmente; en segundo lugar, el agotamiento de las reservas finitas de combustibles fósiles, cada preocupación prevalece en cualquier momento históricos diferentes, en cualquiera de estos casos, las emisiones de CO₂ y el uso desmedido de recursos limitados y no renovables son las dos caras de una misma moneda las cuales deben ser analizadas conjuntamente [3].

Las emisiones de CO₂ producto de la combustión de combustibles fósiles representa el 85% del total de emisiones, y el efecto invernadero el 50% de todos los gases de efecto invernadero, esto provoca un grave problema de efecto invernadero. Libera el 45% de

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

misiones de azufre, el 35% de partículas a la atmosfera lo cual provoca una grave contaminación por lo que se denomina lluvia acida, por tal motivo si la estructura energética no se puede reparar, la contaminación ambiental aumentaría. En la actualidad el desarrollo energético se enfrenta a los escasos recursos y la desmedida contaminación ambiental [4]. Como se sabe las consecuencias del cambio climático global en cualquier ámbito de la vida, el cambio es causado principalmente por la creciente concentración de gases de efecto invernadero en especial el CO₂, el metano y el óxido nitroso. Se estima que el cambio climático afectara en mayor medida a los países en desarrollo debido a su baja capacidad de adaptación. Se ha confirmado recientemente la importancia del uso de la energía en la emisión de gases de efecto invernadero, tal como en estados unidos, en el cual el uso de la energía tiene participación del 86% del total de producción de gases de efecto invernadero [5][6].

En la ciudad de Ibagué, Tolima (Colombia) se estudia la emisión de gases de efecto invernadero por el uso de combustibles fósiles, en la cual se obtiene que se emite cerca de 368Gg CO₂/año producto de la venta de combustibles fósiles, principalmente diésel y gasolina, lo cual corresponde a la emisión per cápita de unos 718 kg CO₂/año. Las acciones principales para mitigar estas cifras de emisiones tienen que estar encaminadas a reducir el uso de estos combustibles [6][7].

Estos datos evidencian el consumo excesivo y desmedido de combustibles fósiles, así como la manera en la que afecta al medio ambiente, además la crisis de los precios de estos combustibles a nivel internacional y las consecuentes repercusiones en la economía de los países en desarrollo, la búsqueda de alternativas capaces de reducir la dependencia de estos combustibles es una tarea importante y urgente. En los últimos años debido al déficit de estos hidrocarburos, el hombre ha buscado fuentes de energía alterna. Se han explorado con éxito hasta la fecha varias fuentes de energía alternativa renovable para disminuir el uso de combustibles fósiles con el propósito de reducir los efectos negativos producto de la emisión de gases liberados por el consumo de combustibles fósiles, según datos el 28% de la energía es consumida por el sector del transporte en todo el mundo y el 3% aproximadamente es la contribución de los biocombustibles [8]. una de las alternativas es el biodiesel. El biodiesel es un metil éster consistente en ácidos grasos de cadena larga procedentes de

grasas animales, residuos de grasa usados en restaurantes, de aceites vegetales comestibles o no comestibles (8). Se considera una fuente de energía limpia, debido a que puede brindar en cierta medida protección al medio ambiente al reducir la cantidad de gases de efecto invernadero indirectos y directos. Este combustible técnicamente factible y económicamente viable y racional ambientalmente, tiene muchas ventajas en relación al combustible diésel convencional el cual incluye reproducibilidad, no toxicidad, biodegradabilidad, mejor lubricidad, menos inflamabilidad y una naturaleza libre de benceno y azufre [9][10]. El biodiesel se obtiene de materias primas orgánicas por transesterificación [11]. A su vez se involucran varios métodos para la producción de biodiesel; transesterificación in situ, es un proceso de metanolisis directa en el cual el proceso de transesterificación y extracción se realiza en un solo paso donde el alcohol será el solvente y el reactivo para la extracción y transesterificación de aceite. Este proceso reduce el tiempo de procesamiento, la cantidad de energía, la cantidad de solvente y su costo de producción.

La transesterificación convencional es un proceso clave en la producción de biodiésel a partir de materias primas grasas o aceites. Durante la reacción, los ésteres metílicos o etílicos son formados a partir del éster triglicérido del aceite y el alcohol. Este proceso se realiza en presencia de un catalizador, que puede ser una base o un ácido fuertes [13]. El tipo de catalizador utilizado afecta la velocidad y la eficiencia de la reacción. Las bases fuertes son comúnmente utilizadas en la transesterificación convencional debido a su mayor eficiencia y menor costo en comparación con los ácidos fuertes. Sin embargo, los ácidos fuertes tienen la ventaja de ser más tolerantes a la presencia de impurezas en los reactivos, lo que puede ser importante en algunos casos. Es importante destacar que la transesterificación es una reacción reversible, por lo que es necesario controlar cuidadosamente las condiciones reactivas para obtener un rendimiento óptimo en la producción de biodiésel. Además, es necesario realizar una purificación adecuada del aceite antes de la reacción para evitar la presencia de impurezas que puedan afectar negativamente el rendimiento y la calidad. Evaluar diferentes aceites vegetales para obtener biocombustible, aumentar el rendimiento de las reacciones, reducir costos de producción y evitar materias primas las cuales se consideren alimentos y al mismo tiempo reducir la

contaminación ambiental, actualmente se ha convertido en una estrategia y en tendencia mundial para la producción de biodiesel [14]. Los aceites vegetales, los productos agrícolas como maíz, caña de azúcar se han convertido en materia prima para la obtención de biocombustible; sin embargo, existe una gran controversia debido al uso de fuentes que son destinadas a la producción de alimentos para la humanidad y animales [15]. Los aceites de cocina usados que se genera en pollerías, restaurantes y en hogares y en las industrias que procesan alimentos.

Según estudios realizados en Europa, muestran que la cantidad de aceite usado que se recolecta es de 400.000 toneladas por año, y se estima que esta cifra puede incrementarse hasta 700.000 toneladas, en Bogotá la totalidad de aceite usado que es producto de la cocina representa en la ciudad el 25% del aceite usado que se produce en toda la ciudad [16].

Se muestra que cada año se producen grandes cantidades de aceite de cocina usados, producto de procesamiento y preparación de alimentos, en la cual estos desechos producidos si no son dispuestos adecuadamente, pueden generar contaminación de suelos y del agua, pero a su vez pueden ser, una potencial fuente materia prima para la producción de biodiesel.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Tipo de investigación.

Se usa el método de tipo cuantitativo donde se necesita que entre los elementos de la investigación exista una relación y que se pueda delimitar y saber dónde se inicia el problema y cuál es su dirección. Usa la metodología descriptiva, analítica y experimental.

B. Diseño de investigación.

Diseño tipo experimental, se refiere a aquella en la cual el investigador manipula algunas condiciones, características o fenómenos del objeto o sujeto de estudio, tratando de causar algún cambio en dichas condiciones. Por lo general se plantea en los términos de la relación que existe entre dos o más variables (independiente y dependiente) y debe poder ser observada y probada en la realidad.

C. Ubicación y recolección de muestra de aceite usado

El material de estudio estaba constituido por aceite usado de la provincia de Cajamarca, los cuales se

detallan en la tabla 1 en los diferentes restaurantes de la ciudad de Cajamarca donde se recolecto el aceite usado.

D. Población:

TABLA I
POLLERÍAS DE LA PROVINCIA DE CAJAMARCA

| Ítem | Restaurantes |
|------|--------------------|
| 1 | La Cena |
| 2 | Medileny ChicKen |
| 3 | El Buen Sabor |
| 4 | Golden Chicken |
| 5 | Fogón Dorado |
| 6 | El Dorado |
| 7 | Prados Chicken. |
| 8 | Castope Chicken |
| 9 | La Gran estación |
| 10 | El Hawaiano |
| 11 | El Asador |
| 12 | El Chugurano |
| 13 | California Chicken |
| 14 | El Caporal |
| 15 | Donde Alfredo |

E. Muestra:

Para la recolección de aceite utilizado, se determinó primer lugar las restaurantes que cumplían con las condiciones para la recolección de acuerdo con resultados de nuestra encuesta. Lo indicado fue recoger de las 15 pollerías asignadas 1L de aceite usado equivalente a 1000ml, para luego obtener datos para hallar su poder calorífico, rendimiento térmico y temperatura del biodiésel.

F. Unidad de análisis

El aceite usado de los 15 restaurantes de la ciudad de Cajamarca, teniendo en cuenta que se realizarán en diferentes proporciones.

G. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Se utilizaron Encuestas donde se formularon 12 preguntas de carácter importante, para la selección de las pollerías a trabajar que de estas dependería las características, cantidad y necesidad de las variables que buscamos en el aceite usado para la obtención de biodiésel.

También hubo una recolección de aceite que se llevó a cabo mediante la implementación de un plan de recojo, teniendo en cuenta 15 restaurantes. Se

identifico cada área de generación del residuo (aceite) y cuál es el manejo desde su ingreso de este residuo hasta la disposición final. Luego se implementaron los planes de manejo del residuo y los planes de emergencias. Para ello se usó 3 pasos:

El primer paso es, la caracterización del aceite usado, luego de la recolección de aceite se procedió a un pre tratamiento físico, para la eliminación de sólidos suspendidos y algunas sustancias que afecten al proceso de transesterificación. Se realizó mediante las normas mexicanas.

Para la caracterización del aceite usado, en primer lugar, se pesa una cantidad de muestra en un crisol que tiene que estar tarado y aplicar un tratamiento térmico.

Para calcular la humedad:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \dots (1)$$

En segundo lugar, el contenido de jabón se realizó mediante la titulación química, solo aplicable para grasas vegetales y refinadas, para determinar el contenido de jabón de la muestra por su alcalinidad como oleato de sodio.

Ácidos Grasos Libres o índice de acidez, empieza agregando 75 ml de alcohol metílico a la muestra, de 7 g, seguidamente la muestra es sometida a un baño a vapor hasta llegar a la dilución completa, se agrega como indicador unas gotas a la fenolftaleína y finalmente titulando con hidróxido de sodio 0.25N.

Densidad relativa, se determina la masa a volúmenes iguales de agua y de aceite, mediante el picnómetro, a una temperatura de 20°C para aceites.

cálculo de la densidad relativa:

$$\delta = \frac{G_1}{G_2} \dots (2)$$

Índice de saponificación, se determina el índice de saponificación, que viene hacer la cantidad de hidróxido de potasio expresado en miligramos, necesario para saponificar un gramo de aceite o grasa.

Ecuación para hallar el índice de saponificación:

$$\frac{(B-M) \times (N)}{P} \times 56.1 \dots (3)$$

El segundo paso es la obtención del Biodiésel, donde, se verá la reacción del aceite usado de pollerías frente al metanol mediante un catalizador

como el Hidróxido de Sodio, el índice de ácidos grasos debe encontrarse por debajo de 1%, teniendo relación alcohol/ aceite (10:1, 8:1, 6:1, 4:1, 2:1) con concentración de catalizador al 1%, con una temperatura de 30° a 60°C dicho proceso se desarrolla durante 60 minutos.

EL tercer paso es la obtención del poder calorífico, el cálculo del poder calorífico aplicando la fórmula dada por James Prescott Joule que es la siguiente:

$$Pc = m * C_e * \Delta_t \dots (4)$$

H. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos se utilizó 4 técnicas:

La primera técnica en desarrollo es la encuesta, con este medio podremos verificar la caracterización, cantidad y necesidades en el aceite usado que fue recaudado en dichos lugares, que nos otorgarían para la realización del tratamiento por transesterificación, para la obtención de biodiésel.

La segunda técnica en desarrollo es la prueba de normalidad, esta determina si los datos no siguen una distribución normal, dicha prueba indica si se debe rechazar o no la hipótesis nula ya que los datos provienen de una población distribuida normalmente.

La tercera técnica en desarrollo es el Minitab versión 19, este ejecuta funciones estadísticas básicas y avanzadas. Acuerda de buena manera con Microsoft Excel con la capacidad de ejecución de análisis estadísticos.

La cuarta técnica en desarrollo es la Prueba de Kruskal-Wallis, es una prueba no paramétrica aplicable para más de dos grupos independientes, que determina si existen diferencias entre los mismos.

Es un método no paramétrico para probar si un grupo de datos proviene de la misma población intuitivamente, es idéntico al ANOVA con los datos reemplazados por categorías, Es una extensión de la prueba de la U de Mann-Whitney para tres o más grupos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Presentación, análisis e interpretación de resultados

TABLA II. CÁLCULO DE HUMEDAD.

| Cálculo De Humedad | | | |
|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Muestra | 1 | 2 | 3 |
| Peso crisol | 28.4635 | 30.4683 | 29.7864 |
| Peso muestra H° + crisol | 43.9048 | 45.7800 | 45.1921 |
| Peso muestra seca + crisol | 43.9034 | 45.7787 | 45.1905 |
| M1 | 15.4413 | 15.3117 | 15.4057 |
| M2 | 15.4399 | 15.3104 | 15.4041 |
| % de HUMEDAD | 0.0091% | 0.0085% | 0.0104% |

En la tabla 2, se observa los datos para la caracterización del aceite usado de las distintas pollerías para el cálculo de humedad.

TABLA III. CÁLCULO DE ÍNDICE DE ACIDEZ

| Índice De Acidez | | | |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| PRUEBA | 1 | 2 | 3 |
| Peso del Matraz | 135.1023 | 135.1023 | 135.1023 |
| Peso del Matraz + muestra | 142.1236 | 142.1498 | 142.1357 |
| Peso de la muestra (g) | 7.0213 | 7.047 | 7.0334 |
| Normalidad del NaOH | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| Vol. De gasto de NaOH | 0.7 | 0.8 | 0.8 |
| Meq. Ácido de Ref. (oleico) | 28.2 | 28.2 | 28.2 |
| % ÁCIDOS GRASOS | 0.703 | 0.800 | 0.802 |
| Factor Indicador a mg KOH | 1.99 | 1.99 | 1.99 |
| mg de KOH | 1.399 | 1.593 | 1.596 |

En la tabla 3, de datos para la caracterización del aceite usado de las distintas pollerías para el cálculo de índice de Acidez.

TABLA IV
DATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE
USADO, CÁLCULO DE DENSIDAD RELATIVA

| Cálculo Del Índice De Densidad Relativa | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|
| Prueba | 1 | 2 | 3 |
| Masa del Picnómetro | 33.3542 | 33.3542 | 33.3542 |
| Masa del Picnómetro + muestra | 41.5897 | 41.5848 | 41.5864 |
| Masa del Picnómetro + agua | 42.2996 | 42.2996 | 42.2996 |
| Masa neta del Aceite | 8.2355 | 8.2306 | 8.2322 |
| Masa neta del Agua | 8.9454 | 8.9454 | 8.9454 |
| Temperatura | 20°C | 20°C | 20°C |
| Densidad Relativa del Aceite | 0.9206 | 0.9201 | 0.9203 |

En la tabla 4 se presentan los datos para la caracterización del aceite usado de los distintos restaurantes para el cálculo de densidad relativa

TABLA V
CÁLCULO DE SAPONIFICACIÓN.

| Cálculo Del Índice De Saponificación | | | |
|--------------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| Prueba | 1 | 2 | 3 |
| [P] Peso de la muestra (g) | 5.1328 | 5.0487 | 5.0025 |
| [M] Volumen HCl titular muestra | 26.3 | 26.9 | 27.2 |
| [B] Volumen HCl titular blanco | 44.8 | 44.8 | 44.8 |
| [N] Normalidad de solución HCl | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Equivalente KOH | 56.1 | 56.1 | 56.1 |
| Índice de Saponificación | 101.100 | 99.450 | 98.687 |

En la tabla 5 se observan los datos para la caracterización del aceite usado de las distintas pollerías para el cálculo de saponificación.

TABLA VI
OBTENCIÓN DEL BIODIÉSEL

| Cálculo de volúmenes de muestras de solución | | | | |
|--|-----------------|----------------|--------------|---------------|
| concentraciones molares | vol. metanol | vol. aceite | peso NaOH | vol. total |
| 10:1 | 58.17 ml | 141.83 ml | 1.2876 g | 200.00 ml |
| 8:1 | 49.41 ml | 150.59 ml | 1.3671 g | 200.00 ml |
| 6:1 | 39.49 ml | 160.51 ml | 1.4571 g | 200.00 ml |
| 4:1 | 28.18 ml | 171.82 ml | 1.5597 g | 200.00 ml |
| 2:1 | 15.16 ml | 184.84 ml | 1.6780 g | 200.00 ml |

Datos para la obtención del biodiésel mediante el cálculo de volúmenes de muestras de solución se muestran en la tabla 6.

TABLA VII
PODER CALORÍFICO DEL BIODIÉSEL

| Biodiesel | | | | | | | | |
|-----------|----|------------------------|----------------|---------------------------------|------|------|-------------------------|---------------|
| Prop. Mol | N° | Masa Agua 1L=1000ml | Cap. Cal. 1 | T (Agua) T° Inicial T° Final | | V m³ | Poder Calor Kcal/ m³ | Rendimiento % |
| 10:1 | 1 | 1000 | 1 | 19.3 | 70.5 | 0.8 | 4100 | 60.28 |
| | 2 | 1000 | 1 | 19.4 | 70.6 | 0.8 | 4096 | 60.19 |
| | 3 | 1000 | 1 | 19.5 | 70.5 | 0.8 | 4080 | 60.51 |
| 8:1 | 4 | 1000 | 1 | 19.4 | 70.8 | 0.8 | 4109 | 65.51 |
| | 5 | 1000 | 1 | 19.5 | 70.7 | 0.8 | 4100 | 65.41 |
| | 6 | 1000 | 1 | 19.3 | 71.0 | 0.8 | 4137 | 65.52 |
| 6:1 | 7 | 1000 | 1 | 20.1 | 73.6 | 0.8 | 4278 | 72.23 |
| | 8 | 1000 | 1 | 20.0 | 74.0 | 0.8 | 4315 | 72.13 |
| | 9 | 1000 | 1 | 20.1 | 73.8 | 0.8 | 4290 | 72.57 |
| 4:1 | 10 | 1000 | 1 | 19.5 | 72.8 | 0.8 | 4264 | 72.16 |
| | 11 | 1000 | 1 | 19.4 | 72.6 | 0.8 | 4256 | 72.27 |
| | 12 | 1000 | 1 | 19.5 | 71.6 | 0.8 | 4168 | 72.06 |
| 2:1 | 13 | 1000 | 1 | 20.0 | 71.5 | 0.8 | 4121 | 71.94 |
| | 14 | 1000 | 1 | 20.0 | 71.4 | 0.8 | 4115 | 71.49 |
| | 15 | 1000 | 1 | 19.5 | 71.4 | 0.8 | 4147 | 71.63 |

Tabla de recolección de datos para la medición del poder calorífico del biodiésel. Analizamos la mejor relación molar, para encontrar el poder calorífico del biodiésel.

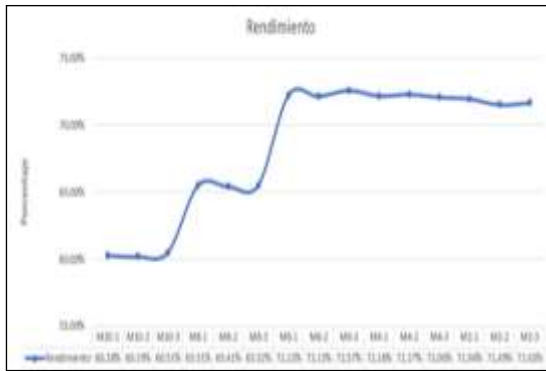


Fig. 1 Porcentaje de relación molar metanol/aceite, para obtener rendimiento del biodiésel.

Como se puede observar en la figura 1 identificamos que la proporción 6:1 es la mejor para obtener el poder calorífico de biodiésel. Con la obtención de los datos del rendimiento realizamos la siguiente figura 2.

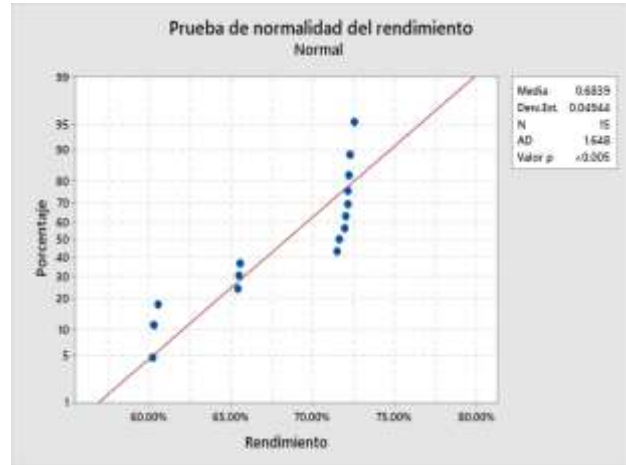


Fig. 2. Prueba de Normalidad de A.D del Rendimiento

Al obtener la gráfica de normalidad de Anderson Darling –Rendimiento (fig. 2), podemos observar que la dispersión de puntos no sigue una distribución adecuada viéndose alterada.

TABLA VIII. DATOS DE LA PRUEBA DE A.D DEL RENDIMIENTO

| |
|---|
| Prueba de Anderson Darling A-D = 1.648 |
| Hipótesis: H₀: Los datos siguen una distribución especificada H₁: Los datos no siguen una distribución especificada |
| Nivel de significancia: α = 0.05 |
| P = 0.005 |
| Decisión estadística: Se rechaza H₀ |

En la tabla 8, se presenta la prueba de Anderson Darling nos brindó un valor estadístico de 1.648 y este es mayor a 1 y una probabilidad asociada es de P=0.005 que es menor a su nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, porque los datos no siguen una distribución adecuada.

Como segundo paso analizamos el poder calorífico de acuerdo con la relación molar establecida que se muestra en la tabla 9 y tabla 10.

TABLA IX. DATOS DEL PODER CALORÍFICO

| Poder Calorífico | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|
| 10:1 | 8:1 | 6:1 | 4:1 | 2:1 |
| 41008 | 41096 | 42784 | 42644 | 41216 |
| 40960 | 41008 | 43152 | 42560 | 41152 |
| 40808 | 41376 | 42904 | 41680 | 41472 |

TABLA X
ORDENANDO LOS RANGOS SEGÚN EL MÉTODO DE
KRUSKAL-WALLIS

| Poder Calorífico | | | | |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 10:1 | 8:1 | 6:1 | 4:1 | 2:1 |
| 3 | 5 | 13 | 12 | 7 |
| 2 | 4 | 15 | 11 | 6 |
| 1 | 8 | 14 | 10 | 9 |
| 6 | 17 | 42 | 33 | 22 |

Hipótesis:

H_0 = No existen diferencias estadísticamente significativas entre las proporciones molares respecto al poder calorífico.

H_1 = Existen diferencias estadísticamente significativas entre las proporciones molares respecto al poder calorífico.

Aplicaremos la fórmula de Kruskal-Wallis

$$H = \left(\frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(n+1) \dots (5)$$

$$H = \left(\frac{12}{15(15+1)} \right) \left(\frac{6^2}{3} + \frac{17^2}{3} + \frac{42^2}{3} + \frac{33^2}{3} + \frac{22^2}{3} \right) - 3(15+1)$$

$$H = 13.033$$

Comparando con el valor resultante crítico de la tabla de distribución de Chi cuadrado = χ^2

Si: $H > \chi^2$ □ Se rechaza H_0

Entonces:

$$13.033 > 11.070 \dots (6)$$

Con un 95% de confianza se rechaza la hipótesis nula, es decir las poblaciones no son idénticas y si existe diferencias estadísticamente significativas.

Como tercer paso analizamos los datos de la temperatura y para ello se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis.

TABLA XI
ORDENANDO LOS RANGOS SEGÚN EL MÉTODO DE
KRUSKAL-WALLIS

| T° Inicial | T° Final |
|------------|----------|
| 1 | 17 |
| 3 | 18 |
| 6 | 16 |
| 5 | 20 |
| 8 | 19 |
| 2 | 21 |

| | |
|-----|-----|
| 14 | 28 |
| 13 | 30 |
| 15 | 29 |
| 9 | 27 |
| 4 | 26 |
| 7 | 25 |
| 11 | 24 |
| 12 | 23 |
| 10 | 22 |
| 120 | 345 |

Hipótesis:

H_0 = No existen diferencias estadísticamente significativas entre las temperaturas del aceite.

H_1 = Existen diferencias estadísticamente significativas entre las temperaturas del aceite.

Aplicaremos la fórmula de Kruskal-Wallis

$$H = \left(\frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(n+1) \dots (7)$$

$$H = \left(\frac{12}{30(30+1)} \right) \left(\frac{14400}{15} + \frac{119025}{15} \right) - 3(30+1)$$

$$H = 66.7742$$

Comparando con el valor resultante crítico de la tabla de distribución de Chi cuadrado = χ^2

Si: $H > \chi^2$ □ Se rechaza H_0

Entonces:

$$66.7742 > 3.841 \dots (8)$$

Con un 95% de confianza se rechaza la hipótesis nula, es decir las poblaciones no son idénticas y si existe diferencias estadísticamente significativas.

IV. CONCLUSIONES

Se logró se determinar e identificar la proporción de 6:1 que es la mejor para obtener el poder calorífico de biodiésel y el porcentaje de hidróxido de sodio para la obtención del biodiésel mediante los aceites usados de restaurantes; concluyéndose que es posible alcanzar una nueva manera de ayudar a reducir la contaminación mediante el consumo de aceite pudiendo reutilizar esto y llevarlo a una mejora global. Con un 95% de confianza se rechaza la hipótesis nula, es decir las poblaciones no son idénticas y si existe diferencias estadísticamente significativas logrando un aprovechamiento adecuado al aceite y evitar la contaminación con estos

desperdicios. Así mismo, realizar la caracterización del aceite usado nos dio parámetros físicos y químicos, dándonos datos óptimos, los que nos permitieron realizar un buen trabajo en el proceso de transesterificación para la obtención de Biodiésel y poder darle uso como combustible para vehículos aumentando su seguridad energética, mejorando la calidad del medio ambiente y aportando a una mejor calidad de vida.

REFERENCIAS

- [1] A. T. Ortega-Ramírez, D. G. Beltrán Rodríguez, N. L. Becerra Ospina, W. K. Lima e Silva, E. Campelo, and A. M. M. Da Silva Sousa, "Environmental aspects of natural resources and their relationship to the exploitation of fossil fuels: A reflection on sustainability | Aspectos ambientales de los recursos naturales y su relación con la explotación de combustibles fósiles: una reflexión," *Fuentes el Revent. Energ.*, vol. 20, no. 2, pp. 43–54, 2022, doi: 10.18273/revfue.v20n2-2022004.
- [2] B. Aghel, A. Gouran, and F. Nasirmanesh, "Transesterification of waste cooking oil using clinoptilolite/ industrial phosphoric waste as green and environmental catalysts," *Energy*, vol. 244, p. 123138, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.ENERGY.2022.123138.
- [3] S. S. Fernández and J. R. Jusmet, "Fossil fuel depletion and CO₂ emissions: Some possible future scenario emissions | Agotamiento de los combustibles fósiles y emisiones de CO₂: Algunos posibles escenarios futuros de emisiones," *Rev. Galega Econ.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–19, 2010.
- [4] J. Li, "Evaluation of dynamic growth trend of renewable energy based on mathematical model," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 48–56, 2023, doi: 10.1016/j.egyr.2022.11.139.
- [5] H. J. Andrade-Castañeda, C. C. Arteaga-Céspedes, and M. A. Segura-Madrugal, "Emission of greenhouse gases from the use of fossil fuels in Ibagué, Tolima (Colombia) | Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia)," *Corpoica Cienc. y Tecnol. Agropecu.*, vol. 18, no. 1, pp. 103–112, 2017, doi: 10.21930/rcta.vol18_num1_art:561.
- [6] H. J. Andrade-Castañeda, C. C. Arteaga-Céspedes, and M. A. Segura-Madrugal, "Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia)," *Cienc. y Tecnol. Agropecu.*, vol. 18, no. 1, pp. 103–112, Jan. 2017, doi: 10.21930/RCTA.VOL18_NUM1_ART:561.
- [7] H. J. Andrade and P. C. Zapata, "Mitigation of climate change of coffee production systems in Cundinamarca, Colombia," *Floresta e Ambient.*, vol. 26, no. 3, pp. 1–11, 2019, doi: 10.1590/2179-8087.012618.
- [8] E. Antonio, L. Cedeño, J. Rocha-Hoyos, P. S. Alvear, and J. Medrano Barboza, "Producción e impacto del biodiesel: una revisión," *INNOVA Res. J.*, vol. 2, no. 7, pp. 59–76, Jul. 2017, doi: 10.33890/innova.v2.n7.2017.229.
- [9] S. Hosseinpour, M. Aghbashlo, M. Tabatabaei, and E. Khalife, "Exact estimation of biodiesel cetane number (CN) from its fatty acid methyl esters (FAMES) profile using partial least square (PLS) adapted by artificial neural network (ANN)," *Energy Convers. Manag.*, vol. 124, pp. 389–398, Sep. 2016, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2016.07.027.
- [10] M. Aghbashlo, M. Tabatabaei, H. Rastegari, H. S. Ghaziaskar, and T. Roodbar Shojaei, "On the exergetic optimization of solketalacetin synthesis as a green fuel additive through ketalization of glycerol-derived monoacetin with acetone," *Renew. Energy*, vol. 126, pp. 242–253, Oct. 2018, doi: 10.1016/J.RENENE.2018.03.047.
- [11] I. Amalia Kartika, M. Yani, D. Ariono, P. Evon, and L. Rigal, "Biodiesel production from jatropha seeds: Solvent extraction and in situ transesterification in a single step," *Fuel*, vol. 106, pp. 111–117, Apr. 2013, doi: 10.1016/J.FUEL.2013.01.021.
- [12] S. K. Duran, "A review on oil extraction and biofuels production from various materials," *Mater. Today Proc.*, vol. 26, pp. 261–265, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.MATPR.2019.11.223.
- [13] E. De Posgrado, P. Por, : María, and E. F. Campos, "Evaluación del biodiesel de canola utilizando el método convencional de transesterificación básica homogénea y el método de irradiación ultrasónica," *Univ. Nac. Agrar. La Molina*, 2018, Accessed: Jan. 13, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3688>
- [14] L. López, J. Bocanegra, and D. Malagón-Romero, "Production of biodiesel from waste cooking oil by transesterification | Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado," *Ing. y Univ.*, vol. 19, no. 1, pp. 155–172, 2015, doi: 10.11144/javeriana.iyu19-1.odba.
- [15] E. A. Dávila *et al.*, "Production of biodiesel by esterification and transesterification from waste cooking oils," *Rev. la Fac. Agron.*, vol. 38, no. 1, pp. 105–127, 2021, doi: 10.47280/RevFacAgron (LUZ).v38.n1.06.
- [16] J. M. Díaz Camelo, "Exploración del proceso de tratamiento y limpieza de aceite usado de cocina para la producción de biodiesel," *instname Universidad los Andes*, 2005, Accessed: Jan. 14, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/22181>