



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

Obtención de biodiésel a partir de aceites usados de cocina, utilizando un catalizador de ceniza de cacao CCN-51.

**MORA CASTRO ANGIE GABRIELA
INGENIERA QUIMICA**

**UREÑA CHONILLO DAVIS ALEJANDRO
INGENIERO QUIMICO**

**MACHALA
2022**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

**Obtención de biodiésel a partir de aceites usados de cocina,
utilizando un catalizador de ceniza de cacao CCN-51.**

**MORA CASTRO ANGIE GABRIELA
INGENIERA QUIMICA**

**UREÑA CHONILLO DAVIS ALEJANDRO
INGENIERO QUIMICO**

**MACHALA
2022**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**Obtención de biodiésel a partir de aceites usados de cocina,
utilizando un catalizador de ceniza de cacao CCN-51.**

**MORA CASTRO ANGIE GABRIELA
INGENIERA QUIMICA**

**UREÑA CHONILLO DAVIS ALEJANDRO
INGENIERO QUIMICO**

PESANTEZ FREDIS FRANCO

**MACHALA
2022**

Obtención de biodiésel a partir de aceite usado de cocina, utilizando un catalizador de ceniza de cacao CCN-51

por Angie Gabriela Mora Castro - Davis Alejandro Ureña Chonillo

Fecha de entrega: 13-mar-2023 09:56a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2036204938

Nombre del archivo: Documento_limpio.docx (1.72M)

Total de palabras: 7966

Total de caracteres: 45055

Obtención de biodiésel a partir de aceite usado de cocina, utilizando un catalizador de ceniza de cacao CCN-51

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.espe.edu.ec

Fuente de Internet

2%

2

pt.scribd.com

Fuente de Internet

<1%

3

Antonio García Barberá. "Study of the Degradation of New Lubricant Oil Formulations with the Design and Demands of Current and Future Engines", Universitat Politecnica de Valencia, 2022

Publicación

<1%

4

agrocienza-colpos.mx

Fuente de Internet

<1%

5

1library.co

Fuente de Internet

<1%

6

doku.pub

Fuente de Internet

<1%

7

www.nutricionhospitalaria.org

Fuente de Internet

<1%

8	oaji.net Fuente de Internet	<1 %
9	repositoriodspace.unipamplona.edu.co Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.upeu.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Universidad San Francisco de Quito Trabajo del estudiante	<1 %
12	link.springer.com Fuente de Internet	<1 %
13	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad Cooperativa de Colombia Trabajo del estudiante	<1 %
15	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
16	Submitted to Universidad Santiago de Cali Trabajo del estudiante	<1 %
17	www.mdpi.com Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad de Costa Rica Trabajo del estudiante	<1 %

19 Submitted to Universidad de Las Palmas de Gran Canaria <1 %
Trabajo del estudiante

20 repositorioacademico.upc.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

21 rraae.cedia.edu.ec <1 %
Fuente de Internet

22 www.scribd.com <1 %
Fuente de Internet

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 15 words

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, MORA CASTRO ANGIE GABRIELA y UREÑA CHONILLO DAVIS ALEJANDRO, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Obtención de biodiésel a partir de aceites usados de cocina, utilizando un catalizador de ceniza de cacao CCN-51., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

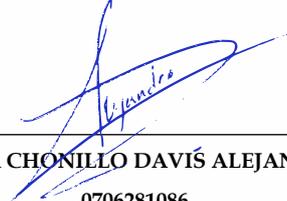
Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



MORA CASTRO ANGIE GABRIELA

0750418642



UREÑA CHONILLO DAVIS ALEJANDRO

0706281086

UNIVERSITAS
MAGISTRORUM
ET SCHOLARIUM

DEDICATORIA

A mi madre, Shirley Chonillo, quien nunca dejó de creer en mí y, a pesar de la distancia, siempre estuvo a mi lado. A mi padre, Darío Ureña, por toda la confianza depositada en mí. Los admiro mucho, me llena de orgullo tenerlos como padres. A mis padres y hermanos, los amo.

- *Davis Ureña*

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, Jhoan Mora y Gabriela Castro por ser pilar principal en mi formación y estar incondicionalmente en cada paso de mi vida. A mis hermanos, abuelos y tíos que siempre han creído en mí, brindándome su aliento para alcanzar mis objetivos. A Joseph que me ha acompañado durante toda mi formación universitaria, su apoyo y respaldo han sido clave para lograr esta meta.

- *Angie Mora*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero reconocer el valioso apoyo y dedicación de aquellos que me acompañaron en este camino. En especial, agradezco a los docentes que han influido en mi formación académica, como al ingeniero Byron Lapo, quien guio y asesoró el desarrollo de este trabajo académico. También, agradezco al doctor Fredis Pesantez, quien nos acompañó en todo el proceso académico, al ingeniero Sebastián Ponce, docente de la Universidad San Francisco de Quito, que nos brindó su mano amiga, y al doctor Hugo Romero, quienes, con su experiencia y conocimientos, fueron excelentes docentes y profesionales que me guiaron en esta importante etapa académica.

Por último, quiero expresar mi gratitud a todos aquellos compañeros que se convirtieron en amigos a lo largo de mi carrera universitaria con la siguiente frase "*Chi trova un amico, trova un tesoro*", agradezco especialmente a Andrés Castillo, Hoover Sanmartín y Nathaly Medina por el apoyo incondicional que me brindaron en el desarrollo de esta tesis. Sin duda, su valiosa colaboración contribuyó significativamente al éxito de este trabajo.

- *Davis Ureña*

Agradezco a Dios por darme salud, fortaleza y perseverancia durante mis años de estudio para lograr mis objetivos y poder culminar con éxito esta etapa. Gracias a los docentes Ing. Byron Lapo, Dr. Fredis Pesantez y Dr. Hugo Romero que sumaron de manera significativa al desarrollo de este trabajo académico y brindaron una valiosa aportación con sus conocimientos, al Ingeniero Sebastián Ponce de la Universidad San Francisco de Quito, por ofrecer su sincero apoyo en base a su experiencia. También quiero agradecer a todos los compañeros y amigos que a lo largo de este camino se convirtieron en familia, y fueron el mejor reflejo de compañerismo al apoyar incondicionalmente unos a otros para llegar juntos a culminar esta etapa. Finalmente agradezco a Andrés Castillo por colaborar en este trabajo de titulación con su guía y conocimientos.

- *Angie Mora*

RESUMEN

Los biocombustibles han ganado atención a nivel global en la industria, debido a su capacidad de ofrecer una alternativa sustentable y sostenible al desarrollo energético. El biodiésel es una fuente de energía renovable, brinda la oportunidad de mejorar aspectos económicos de la producción, como también generar empleo en los campos. En este sentido se encuentra la importancia de usar un catalizador heterogéneo adecuado, ya que presentan diferentes ventajas como el bajo coste, baja contaminación, la propiedad de ser reutilizados y sobre todo la capacidad de alcanzar una eficiencia mayor al 95% en la producción de biodiésel, al disminuir la energía de activación y acelerar el proceso de conversión. La cáscara de cacao es un desecho poco aprovechado y proveniente del procesamiento de granos de cacao. En este estudio se utilizó la cáscara de cacao como catalizador para la obtención de carbonato de potasio y por consiguiente la producción de un combustible alternativo. La cáscara de la mazorca de cacao se trituró y se tamizó para obtener una granulometría media de 0,8 mm, luego fue incinerada en una mufla a 700 °C durante 4 horas, hasta convertirse en ceniza. Se realizó la extracción de los cristales de carbonatos de potasio, mediante el lavado de 250 g de ceniza en 1 litro de agua destilada con agitación constante durante 1 hora. A continuación, se realizó el proceso de filtrado y este se evaporó a 140 °C durante 3 horas para obtener los cristales de carbonato de potasio, mismos que hicieron la función de catalizador. En la síntesis de biodiésel, se mantuvo constante una relación molar metanol-aceite de 6:1, una temperatura de la mezcla de reacción de 60 °C y un tiempo de reacción de 1 h. La velocidad de agitación se fijó en 250 rpm mientras se estudió el efecto de la concentración de catalizador en el rendimiento de producción de biodiésel, empleando tres concentraciones diferentes de 1%, 2% y 3%, manteniendo las mismas condiciones de proceso. Según el análisis fisicoquímico de la muestra de aceite usado, cumple con las características adecuadas para ser empleado en el proceso de transesterificación, tales como el 0,62 % de ácidos grasos libres. Basado en los resultados de FTIR, se encontró que la ceniza de la cáscara de cacao era adecuada como potencial catalizador para la transesterificación de aceite obtenido de residuos de cocina por la presencia de K-O, como un indicativo de la presencia de carbonatos de potasio, lo que lo hace activo al catalizador. Así, también se observó la transformación de los grupos éster de la muestra de aceite usado en ésteres metílicos (CO-O-CH_3) del biodiésel producido. En último término, se obtuvo biodiésel a partir de aceites residuales de cocina, empleando un catalizador de ceniza de cacao y se determinó que la concentración óptima de catalizador para obtener el mayor rendimiento (99 %) fue del 2

%. De esta forma, se logró obtener biodiésel que cumple con las especificaciones adecuadas, de una manera sustentable y sostenible.

Palabras claves: biodiésel, aceite de cocina, transesterificación, catalizador orgánico, cáscara de cacao, carbonato de potasio.

ABSTRACT

The production of biofuels has gained increasing interest among industrial companies worldwide as a sustainable and environmentally friendly alternative to fossil fuels. Biodiesel, a renewable energy source, offers the opportunity to improve production economics and generate employment. To achieve high production efficiency, it is important to use a suitable heterogeneous catalyst that can reduce activation energy and accelerate the conversion process. Cocoa shell, a little-used waste from cocoa bean processing, can be utilized as a catalyst for biodiesel production from waste cooking oil. In this study, cocoa husks were crushed and sieved to obtain an average particle size of 0.8 mm, then incinerated at 700 °C for 4 hours until they turned into ash. The potassium carbonate crystals were extracted by washing 250 g of ash with 1 liter of distilled water and constant stirring for 1 hour. The filtering process was carried out, and the ash was evaporated to obtain potassium carbonate crystals, which were used as the catalyst.

To produce biodiesel, a methanol-oil molar ratio of 6:1 was maintained, and the reaction temperature was set at 60 °C. The reaction time and stirring speed were kept constant at 1 hour and 250 rpm, respectively. The impact of catalyst concentration on the biodiesel production yield was studied using three different concentrations of 1 %, 2 % and 3 %, while keeping the process conditions constant. The used oil sample met the characteristics suitable for use in the transesterification process, such as 0.62 % free fatty acids. Based on the FTIR results, cocoa shell ash was found to be a potential catalyst for the transesterification of oil obtained from kitchen waste due to the presence of K-O, indicating the presence of potassium carbonates, which made the catalyst active. The transformation of the ester groups of the waste oil sample into methyl esters (CO-O-CH₃) of the biodiesel produced was observed.

Finally, biodiesel was produced from used cooking oils using a cocoa ash catalyst, and the best percentage yield (99 %) was obtained at a catalyst concentration of 2 %. The resulting biodiesel had the appropriate characteristics of a sustainable and renewable fuel source.

Keywords: biodiesel, cooking oil, transesterification, organic catalyst, cocoa husk, potassium carbonate.

CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	6
CONTENIDO	7
LISTA DE TABLAS	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE ANEXOS	12
INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVOS	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos	15
1. MARCO REFERENCIAL	16
1.1 Aceites	16
1.1.1 Generalidades	16
1.1.2 Aceite Vegetal	16
1.1.3 Aceites comestibles	16
1.1.4 Clasificación de los aceites	16
1.1.5 Características químicas de los aceites	17
1.1.6 Almacenamiento y conservación del aceite	17
1.1.7 Aceite comestible usado	18
1.1.8 Caracterización de grasas y aceites utilizados para producir biocombustibles	18
1.2 Catalizador	19
1.2.1 Generalidades de un catalizador	19
1.2.2 Características del cacao como catalizador	20
1.3 Biocombustible	20
1.3.1 Ventajas del biocombustible	20
1.3.2 Biodiésel	21
1.3.2.1 Propiedades del biodiésel	21
1.3.2.2 Características técnicas del biodiésel y diésel	21

1.3.3	Reacción de Síntesis	24
1.3.4	Esterificación	24
1.3.5	Transesterificación	24
1.3.6	Materias Primas	26
2.	METODOLOGÍA	27
2.1	Reactivos, equipos y materiales	27
2.1.1	Reactivos	27
2.1.2	Equipos	27
2.1.3	Materiales	27
2.2	Muestreo de la materia prima	27
2.3	Preparación del catalizador	28
2.4	Montaje experimental	28
2.5	Diseño experimental	28
2.6	Análisis fisicoquímicos	29
2.6.1	Determinación de ácidos grasos libres	29
2.6.2	Caracterización del aceite de cocina usado	29
2.6.2.1	Determinación de la viscosidad del aceite vegetal usado	30
2.6.2.2	Determinación del índice de yodo del aceite vegetal usado	30
2.6.2.3	Determinación de la insaturación de las grasas en el aceite vegetal usado	32
2.6.2.4	Determinación de la humedad en el aceite vegetal residual	33
2.6.2.5	Determinación de la acidez del aceite vegetal residual	34
2.6.2.6	Determinación del punto de fusión en el aceite vegetal usado	35
2.6.3	Caracterización del catalizador de cacao	35
2.6.4	Determinación del rendimiento del biodiesel	36
2.6.5	Caracterización de Biodiesel	36
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.1	Caracterización del aceite vegetal de cocina residual	38
3.2	Comparativa del catalizador de carbonato de potasio (K_2CO_3) obtenido de la cáscara de cacao versus un catalizador comercial de grado analítico	39
3.3	Análisis FTIR del biodiésel obtenido con catalizador comercial de carbonato de potasio (K_2CO_3) de grado analítico	40
3.4	Análisis FTIR del biodiésel con biocatalizador de carbonato de potasio (K_2CO_3) obtenido de la cáscara de cacao	41

3.5	Determinación del rendimiento del biodiésel producido	42
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
4.1	CONCLUSIONES	44
4.2	RECOMENDACIONES	45
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
6.	ANEXOS	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Índice de yodo de los aceites vegetales según su clasificación	17
Tabla 2. Caracterización de materia prima	19
Tabla 3. Requisitos del diésel premium	22
Tabla 4. Requisitos del Biodiésel	23
Tabla 5. Determinación de la densidad del aceite vegetal usado	30
Tabla 6. Determinación del índice de yodo del aceite vegetal usado	31
Tabla 7. Determinación del índice de saponificación en el aceite vegetal usado	32
Tabla 8. Determinación de la humedad del aceite vegetal usado	33
Tabla 9. Determinación de la acidez del aceite vegetal usado	34
Tabla 10. Determinación del punto de fusión en el aceite vegetal usado	35
Tabla 11. Características del biodiesel acorde a la norma ASTM para biodiésel D6751-09	37
Tabla 12. Características fisicoquímicas del aceite de cocina usado	38
Tabla 13. Análisis del Rendimiento de biodiésel producido con biocatalizador de cacao y catalizador comercial	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso catalítico de transesterificación en la producción de biodiesel a partir de aceites o grasas en reacción con un alcohol de cadena corta	24
Figura 2. Transesterificación: reacciones independientes y reacción global como suma de las reacciones independientes	25
Figura 3. Espectro del polvo y ceniza provenientes de la cáscara de cacao	39
Figura 4. Comparación de los espectros de un catalizador comercial y el catalizador obtenido de la cáscara de cacao	40
Figura 5. Análisis FTIR del biodiésel obtenido con catalizador comercial de carbonato de potasio (K_2CO_3) de grado analítico	41
Figura 6. Análisis FTIR del biodiésel con carbonato de potasio (K_2CO_3) obtenido de la cáscara de cacao	42

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Cáscaras de cacao recolectadas	51
Anexo 2. Cáscaras de cacao trituradas	51
Anexo 3. Pesado del polvo de cáscaras de cacao obtenido	52
Anexo 4. Ingreso del polvo de cáscara de cacao a la mufla	52
Anexo 5. Conversión del polvo de cáscara de cacao a ceniza	53
Anexo 6. Filtrado del catalizador contenido en la solución	53
Anexo 7. Solución previa al secado para la obtención de carbonato de potasio	54
Anexo 8. Catalizador de carbonato de potasio obtenido del proceso de secado	54
Anexo 9. Remoción de impurezas y humedad del aceite de cocina usado	55
Anexo 10. Elaboración de biodiésel	55
Anexo 11. Separación del biodiésel del glicerol	56

INTRODUCCIÓN

Debido a la escasez de combustibles fósiles de varios países, la producción de biocombustibles ha despertado el interés por desarrollar nuevas alternativas con material inorgánico u orgánico considerado desecho, enfocado hacia la reducción de los gases tóxicos en el ambiente.

En la actualidad, el biodiésel se ha adoptado como combustible alternativo en múltiples países a nivel mundial. En Europa, países como Alemania y Austria han logrado implementar con éxito la utilización de biodiésel puro (B100), mientras que en Francia se emplean mezclas de biodiésel en bajas proporciones (5%). En Estados Unidos, se comercializan mezclas de biodiésel, mientras que en Japón se ha manifestado un gran interés por la producción y el uso de este biocombustible. En la región latinoamericana países como Brasil, Ecuador y Argentina presentan un gran interés por el uso de combustibles alternativos.¹

La República del Ecuador ocupa el tercer lugar en Sudamérica en cuanto a producción de biocombustibles se refiere. Dicha producción se lleva a cabo mediante la empresa procesadora de aceites y grasas LA FABRIL, con sede en Manta, que se posiciona como uno de los principales exportadores de este tipo de productos.²

Los aceites vegetales usados son residuos que pueden formar películas sobre la superficie del agua lo que impide su oxigenación e impiden la correcta depuración. Cuando no hay una remoción total de estos aceites vegetales usados, el agua residual al volver al medio ambiente genera la contaminación de ríos, mar y los acuíferos. Así es como interfieren en la naturaleza y degradan el entorno. Así mismo permiten la proliferación de microorganismos que pueden ser nocivos para la salud. Adicionalmente, la reutilización prolongada de los aceites vegetales produce elementos que pueden llegar a ser cancerígenos como los radicales libres y acrilamidas.³

En la provincia de El Oro, actualmente no se ha implementado un programa para la recolección de aceites usados, lo que provoca un aumento de la contaminación del agua debido a su vertido en el sistema de drenaje y alcantarillado de las ciudades, así como en el suelo cuando se dispone de manera incorrecta en la basura. Los residuos generados carecen de valor agregado, pero pueden ser transformados en un biocombustible de alta calidad mediante procesos de transesterificación, lo que representa una alternativa energética sostenible para reemplazar los combustibles fósiles. Esta opción es especialmente relevante dada la actual escasez de petróleo y sus derivados en el mercado.⁴

En la provincia de El Oro, existe un alto potencial de biomasa proveniente de cultivos que no está siendo aprovechada. A pesar de esto, se han identificado tres tipos de biomasa con mayor presencia en la provincia, los residuos sólidos urbanos, aguas residuales y residuos agrícolas. De todos ellos, los aceites usados representan una oportunidad para la producción de biocombustibles.

Ante la problemática expuesta, la producción de biodiesel a partir de aceites usados es una solución viable que puede generar impacto económico y social. La investigación se centra en encontrar la metodología óptima para la conversión de aceites usados en biodiesel, utilizando un catalizador basado en la cáscara de cacao. La producción de biodiesel a partir de residuos oleosos, además de ser una alternativa sustentable, puede mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y contribuir a la preservación del medio ambiente y la salud pública.

OBJETIVOS

Objetivo General

Obtener biodiésel a partir de aceites residuales de cocina para disminuir la contaminación que produce este residuo, utilizando un catalizador de ceniza de cacao proveniente de los desechos de la cáscara de cacao.

Objetivos Específicos

- Caracterizar el aceite comestible usado mediante los parámetros establecidos en las normas INEN.
- Caracterizar el catalizador obtenido por medio de espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier para detectar la presencia de grupos funcionales en la estructura molecular del catalizador.
- Caracterizar el biodiésel obtenido a partir de aceite de cocina usado mediante la técnica de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) para evaluar la eficacia de la conversión y la calidad del producto.
- Evaluar el rendimiento del biodiesel obtenido a partir del uso de un catalizador de carbonato de potasio obtenido a partir de ceniza de cáscaras de cacao en comparación con el rendimiento obtenido utilizando un catalizador comercial de carbonato de potasio.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Aceites

1.1.1 Generalidades. El aceite es una mezcla de ésteres de glicerol, conocidos como triglicéridos, que contienen carotenoides y vitamina E de manera natural. Debido a su combinación de ácidos grasos insaturados y saturados y su rica calidad nutricional, se aplica ampliamente en la industria alimentaria, y se utiliza para la fabricación de combustibles, cosméticos, detergentes, fármacos, plásticos y otras aplicaciones en el desarrollo industrial. En consecuencia, sus propiedades lo convierten en una materia prima muy deseable.⁵

1.1.2 Aceite Vegetal. Los aceites vegetales se han usado desde tiempos ancestrales por la humanidad y su consumo ha incrementado en las últimas décadas, siendo parte importante de nuestra dieta. La composición de los aceites vegetales varía en gran medida según su origen, que puede ser una especie vegetal, semilla, planta o fruto. Esta variabilidad se refleja en la proporción de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, en particular los ácidos grasos omega-6 y omega-3. Los aceites vegetales se pueden obtener de diversas fuentes, como la aceituna, soja, palma, girasol, maíz, nuez, almendra, colza, entre otros.⁶

1.1.3 Aceites comestibles. Los aceites vegetales se usan principalmente como aderezos de ensaladas, y fabricación de otros derivados como la margarina, pan y pastas para untar. La fabricación y consumo de este producto ha crecido sustancialmente durante los últimos años. En el ámbito de los aceites comestibles, se encuentra una amplia gama con notables variaciones en su composición química, en especial en su contenido de compuestos no glicósidos tales como fenoles, esteroides, tocoferoles y escualeno, que además se caracterizan por su alto valor nutricional. Debido a su amplia demanda, se prevé que la producción de aceites comestibles continúe incrementando, siendo los aceites de soja y palma los líderes en el mercado con una participación cercana al 63 % de la producción mundial de aceites vegetales.⁷

1.1.4 Clasificación de los aceites. En la industria alimentaria se pueden distinguir dos tipos de aceites: los aceites vírgenes y los refinados. Los aceites vírgenes son aquellos obtenidos por medios mecánicos y/o físicos, sin procesos químicos que alteren su calidad. Este tipo de aceite conserva sus propiedades nutricionales, sanitarias y

organolépticas, lo que lo hace altamente valorado tanto por la industria como por los consumidores finales. Además, su uso en la elaboración de alimentos es una práctica común debido a su alta calidad y a los beneficios que aporta a la salud.⁸

Por otro lado, se encuentran los aceites refinados, que han aumentado considerablemente su producción en los últimos años. Inicialmente, se promocionaron estos productos como saludables y reemplazantes de grasas animales, no obstante, con el transcurso del tiempo y los progresos científicos, se ha comprobado que su consumo está relacionado con algunas patologías.⁹

1.1.5 Características químicas de los aceites. En general, los aceites vegetales contienen una combinación de triglicéridos (aproximadamente el 95 % en peso) y ácidos grasos libres (en torno al 5 % en peso), así como otros componentes en menor cantidad, como esteroides y ceras.¹⁰ El glicerol constituye el enlace de hasta 3 ácidos grasos libres, la molécula se denomina triacilglicérido o triacilglicerol.¹¹ A continuación, en la Tabla 1 se describe una de las propiedades características como lo es el índice de yodo en diferentes tipos de aceites vegetales.

Tabla 1. Índice de yodo de los aceites vegetales según su clasificación

Aceites	Nombres	Índice de Yodo
Saturados	Láuricos	5 – 50
	Palmíticos	
	Esteáricos	
Monoinsaturados	Oleicos	50 – 100
Bi-insaturados	Linoleicos	100 – 150
Tri-insaturados	–	> 150

Fuente: Legaz, 2011.¹²

1.1.6 Almacenamiento y conservación del aceite. El aceite vegetal es fácil de almacenar, transportar y utilizar. Los aceites refinados con un alto contenido de grasas monoinsaturadas pueden ser almacenados por hasta un año, mientras que aquellos ricos en grasas poliinsaturadas pueden conservarse alrededor de seis meses. En el caso de los aceites de oliva refinados, pueden ser almacenados durante varios años. Sin embargo, se conoce que los aceites deben estar alejados del calor, la luz y la exposición al oxígeno, para evitar que pierda sus propiedades organolépticas, las mismas que nos pueden servir para darle otro uso industrial. Lo óptimo y recomendable es mantener los aceites en un lugar fresco y seco.¹²

1.1.7 Aceite comestible usado. A través de una investigación, se ha calculado que, en el territorio ecuatoriano, el 54 % de la población elimina el aceite usado en la basura, mientras que el 24 % lo descarga directamente al agua o por las tuberías, el 21 % lo utiliza como alimento para animales y solo el 1 % lo entrega a un gestor o lo deposita en contenedores especiales.¹³

El inadecuado manejo de los residuos de aceites usados constituye un serio problema ambiental. Dado que el aceite es menos denso que el agua, su disposición a través de los ductos de agua puede dar lugar a la formación de grandes membranas delgadas que impiden la oxigenación del agua y como consecuencia, afectan la vida de las especies acuáticas. Además, la reutilización de los aceites aumenta su grado de oxidación y enranciamiento, lo que conduce a la producción de radicales libres y, en algunos casos, a la formación de ácidos grasos trans. La ingestión excesiva y prolongada de estos compuestos puede provocar disfunciones hepáticas, cardíacas y del sistema reproductor, cáncer, envejecimiento celular, afecciones inmunitarias, artritis y cataratas, entre otras.¹⁴

Con el fin de abordar el manejo inadecuado de los residuos de aceite de cocina, se sugiere el uso de métodos de gestión de residuos como la colocación en contenedores no reciclables y herméticos, seguido de la disposición adecuada en un vertedero sanitario o punto limpio autorizado.¹² Como alternativa a la disposición, los aceites usados pueden ser reutilizados como materia prima en la producción de surfactantes, lubricantes, combustibles (especialmente diésel), detergentes, productos fitosanitarios, jabones, cosméticos y velas mediante procesos de refinación y transformación específicos.¹⁵

1.1.8 Caracterización de grasas y aceites utilizados para producir biocombustibles. La identificación de las propiedades fisicoquímicas de los aceites y grasas utilizados en la preparación de alimentos es un paso crítico para determinar su idoneidad como materia prima en la producción de biodiésel. En la tabla 2, se presentan las características de diferentes tipos de aceites y grasas empleados en la cocción de alimentos, tales como la densidad, el índice de acidez, el índice de yodo y el punto de humo. La evaluación de estos parámetros es esencial para garantizar la calidad de los combustibles producidos a partir de estos aceites y grasas.¹⁶

Tabla 2. Caracterización de materia prima

Grasas y aceites	Índice de humedad	Índice de Acidez	Índice de Saponificación	Índice de Yodo	Índice de Peróxido
Grasa de pollo	1,5	1,5	-	-	5,0
Aceite vegetal de desecho (10 veces máx.)	0,1046	9,193	201,5	107,76	-
Aceite vegetal usado (6 veces máx.)	0,0899	1,87	185,6	99,585	-
Aceite vegetal fresco (0 veces máx.)	0,1526	1,07	160,1	93,95	-
Aceite vegetal usado (pescadería)	0,08	0,49	40,39	98,85	11,30
Manteca de cerdo	0,24	0,54	16	127,53	19
Manteca de cerdo y aceite usado 50/50	0,11	0,38	19,63	105	14,12
Manteca de cerdo y aceite usado 80/20	0,18	0,44	16	109,76	18
Manteca de cerdo y aceite usado 20/80	0,10	0,16	20	99	12,87

Fuente: Ramírez, 2018.¹⁷

1.2 Catalizador

1.2.1 Generalidades de un catalizador. Actualmente existen diversas investigaciones donde se presenta la síntesis y uso de catalizadores heterogéneos provenientes de diferentes tipos de aceites, de primera y segunda generación para la producción de biodiesel.

En una investigación previa, se evaluaron diversos catalizadores tales como hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de potasio (KOH), ácidos y fluidos supercríticos, con el objetivo de obtener una óptima producción de biodiésel. Los resultados indicaron que el uso de NaOH y KOH permitió un mejor rendimiento en términos de consumo energético.

Además, se encontró que el NaOH es una alternativa más favorable debido a su menor potencial de calentamiento global y consumo acumulativo de energía en comparación con el KOH.¹⁸

1.2.2 Características del cacao como catalizador. La cáscara del cacao como carbón activado tiene el potencial de disminuir los niveles de ácido graso libre en los desechos de aceite de cocina. Los poros en la superficie del carbón activado de la cáscara de la mazorca de cacao con activador HCl 2 M comienza a formarse a los 350 °C temperatura de carbonización y logra disminuir los ácidos grasos libres en el aceite de cocina usado hasta el 86,7 %. La utilización de la cáscara del cacao como catalizador en el proceso de transesterificación de aceite de cocina usado para producir biodiésel ha sido objeto de investigación. En este sentido, se ha evaluado la efectividad del carbonato de potasio (K_2CO_3) obtenido a partir de la cáscara del cacao como catalizador. Los resultados obtenidos indican que el catalizador de K_2CO_3 obtenido de la cáscara del cacao permite obtener un mayor rendimiento de biodiésel en comparación con los catalizadores comerciales de K_2CO_3 y KOH. Este hecho pone de manifiesto el potencial de la cáscara del cacao como fuente de materiales para la síntesis de catalizadores en la producción de biodiésel.¹⁹

1.3 Biocombustible

1.3.1 Ventajas del biocombustible. Los biocombustibles presentan una serie de ventajas en comparación con los combustibles derivados del petróleo. Una de las más importantes es que tienen menos efectos negativos en el medio ambiente, ya que producen reducidas emisiones de gases corrosivos y de efecto invernadero. Además, los biocombustibles son biodegradables, lo que significa que no contaminan el medio ambiente. Esta es una alternativa sostenible que proviene de fuentes renovables y reduce significativamente la emisión de gases de efecto invernadero que contribuyen a la contaminación atmosférica. Otra ventaja es que los biocombustibles permiten mayor competitividad entre los productores en comparación con las fuentes tradicionales. Esto se debe a que la producción de biocombustibles puede ser más barata y sostenible a largo plazo. Además, los biocombustibles tienen bajo o nulo deterioro ambiental, lo que significa que no dañan los ecosistemas naturales. Esto es importante para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. Por último, los biocombustibles también permiten reducir excedentes agrícolas, ya que muchos de ellos se producen a partir de cultivos. De esta manera, se pueden aprovechar los excedentes de producción de alimentos para producir energía renovable y sostenible.²⁰

1.3.2 Biodiésel. El biodiésel es un biocombustible que se obtiene a partir de la transesterificación de aceites vegetales y grasas animales. Es una alternativa sostenible al diésel fósil, ya que se produce a partir de recursos renovables y puede reducir la emisión de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles.²¹ Este biocombustible sintético es producido a través de procesos de esterificación y transesterificación industrial utilizando lípidos naturales, incluyendo aceites vegetales y grasas animales, tanto nuevos como usados.²²

El biodiésel es una alternativa al uso de combustibles fósiles en la industria del transporte. Puede combinarse con el gasóleo en diferentes proporciones, lo que se conoce como mezclas. Estas mezclas se identifican con códigos específicos, como B100, que se refiere a la utilización exclusiva de biodiésel en la mezcla, o B5, B15, B30 o B50, donde el número indica el porcentaje por volumen de biodiésel en la mezcla.¹²

1.3.2.1 Propiedades del biodiésel. El biodiésel posee una apariencia de color amarillo a café claro, es biodegradable y no tóxico.²³ Entre otras características, se origina de diferentes aceites y azúcares de primera generación, así como de hierbas u otras materias naturales conocidas como de segunda generación.²⁴ De acuerdo con esto, ciertas propiedades pueden variar dependiendo de su origen.

En comparación con el diésel convencional, el biodiésel produce emisiones reducidas de gases de efecto invernadero, tales como los óxidos de azufre (SOx), dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO). Esto se debe a su composición química, que contiene menor cantidad de azufre y es capaz de oxidarse con mayor eficiencia en el motor, lo que reduce la cantidad de gases emitidos a la atmósfera. Estas ventajas hacen que el biodiésel sea una opción atractiva y sostenible para la industria del transporte.²⁵

1.3.2.2 Características técnicas del biodiésel y diésel. Conforme a lo dispuesto por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1489:2012 referente a los productos derivados del petróleo, en particular el combustible diésel, se definen los criterios que han de cumplir los diésel premium. La Tabla 3 que se muestra a continuación describe las características principales que este tipo de combustible debe poseer para estar en conformidad con la normativa correspondiente.²⁶

Tabla 3. Requisitos del diésel premium

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51,0	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
ϕ Contenido de agua y sedimento	%	-	0,05	NTE INEN 1494
W contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1491
W contenido de cenizas	%	-	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	2,0	5,0	NTE INEN 810
Contenido de azufre	ppm	-	500	ASTM 4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	-	No.3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45,0	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiesel, ϕ Biodiesel*	%	5	10	EN 14078

*Se debe considerar este parámetro siempre y cuando el diésel esté adicionado con biodiesel.

Fuente: INEN, «Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1489:2012 Productos derivados del petróleo. Diésel. Requisitos». 2012.

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2482:2009 Biodiésel establece en la Tabla 4 las especificaciones técnicas necesarias que deben cumplir los biocombustibles (B100) para su comercialización. El cumplimiento de estas especificaciones es esencial para garantizar un rendimiento adecuado del biocombustible y su compatibilidad con los motores diésel convencionales.

Tabla 4. Requisitos del Biodiésel

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Métodos de ensayo
Densidad a 15 °C	kg/m ³	860	900	ASTM D 1298
Punto de inflamación	°C	120	--	ASTM D 93
φ Agua y sedimento	%	---	0,05	ASTM D 2709
Contenido de agua	mg/kg	---	500	ASTM D 95
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	3,5	5	ASTM D 445
Cenizas sulfatadas	%(m/m)	---	0,02	ASTM D 874
Contenido de azufre	mg/kg	---	10	ASTM D 5453
Carbón residual	%	---	0,05	ASTM D 4530
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	---	3	ASTM D 130
Número de cetano	-	49	---	ASTM D 613
Temperatura de destilación al 90 % recuperado	°C	---	360	ASTM D 1160
W Glicerina libre	%	---	0,02	ASTM D 6584
W Glicerina total	%	---	0,25	ASTM D 6584
W Contenido de ésteres	%	96,5	---	EN 14103
Índice de yodo	g yodo/100 g	---	120	EN 14111
W Contenido de metanol/etanol	%	---	0,2	EN 14110
Contenido de fósforo	mg/kg	---	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na+K)	mg/kg	---	5	EN 14538
Contenido de metales alcalinos (Ca+Mg)	mg/kg	---	5	EN 14538
Número de acidez	mg KOH/g	---	0,5	ASTM D 664
Estabilidad a la oxidación	HORAS	6		EN 15751
Contaminación total	mg/kg		REPORTAR	EN 12662
Contenido de mono glicéridos	%(m/m)		0,4	ASTM D 6584
Contenido de diglicéridos	%(m/m)		0,1	ASTM D 6584
Contenido de triglicéridos	%(m/m)		0,1	ASTM D 6584
Contenido de éster metílico de ácido linolénico	% en masa		12	EN 14103
Punto de nube	°C	REPORTAR		ASTM D 2500
Punto de fluidez	°C	REPORTAR		ASTM D 97
Temperatura de obturación del filtro frío (CFPP)	°C	REPORTAR		ASTM D 6371

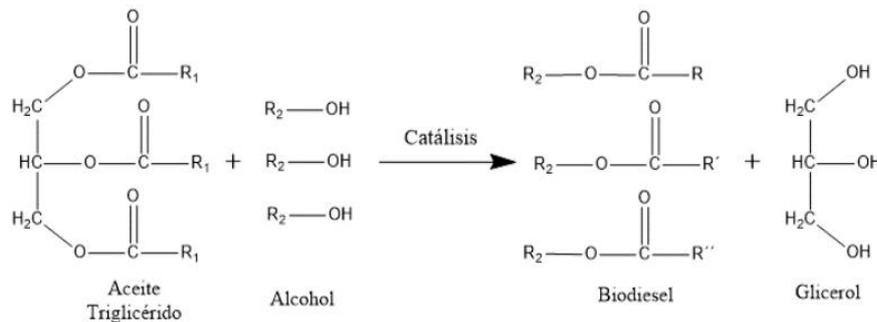
NOTA 1. Debe ser determinado en 100% de la muestra

NOTA 2. Incluye ésteres grasos de cadena media y cadena larga

Fuente: INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2482:2009 Biodiesel. Requisitos. 2009.

1.3.3 *Reacción de Síntesis.* La obtención de biodiesel mediante la transesterificación de aceites o grasas es un método convencional que se lleva a cabo en presencia de un catalizador, normalmente NaOH, y un alcohol de cadena corta, como el metanol. La Figura 1 ilustra el proceso. Los aceites de origen vegetal como el girasol, la soja, la palma, entre otros, se utilizan comúnmente como materia prima en la producción de biodiesel.²⁷

Figura 1. Proceso catalítico de transesterificación en la producción de biodiesel a partir de aceites o grasas en reacción con un alcohol de cadena corta



Fuente: Adaptado de Avagyan and Singh (2019)

1.3.4 *Esterificación.* En la esterificación, el carbonilo del ácido carboxílico se protona inicialmente con un catalizador ácido. Con más carga positiva de carbono carbonilo, la reacción nucleofílica del alcohol se lleva a cabo más fácilmente con la generación de intermediarios. Entonces el protón se transfiere con H₂O eliminación, después de eso, el protón finalmente se elimina con formación de éster. Este proceso es similar al de la transesterificación catalizada por catalizador ácido.²⁸

La esterificación de ácidos grasos libres de aceite, comúnmente se realiza en un recipiente de 250 ml. que contiene 50 ml de ácidos grasos libres, metanol y biocatalizador (2 % p/v). La reacción se optimiza por temperatura (30–50 °C) relación molar de metanol a ácidos grasos (1:1 a 5:1), y velocidad de agitación (100 a 300 rpm).²⁹

1.3.5 *Transesterificación.* En la producción de biodiésel, la reacción de transesterificación es un proceso clave en el cual se rompe una molécula de aceite para producir una molécula de éster y una molécula de alcohol en presencia de un catalizador. Como resultado, se obtienen metil ésteres (biodiesel) y glicerina. Existen diversas opciones para la producción de ésteres, siendo la reacción de transesterificación con alcohol (usualmente etanol o metanol) en presencia de un catalizador alcalino (usualmente NaOH o KOH) a partir de aceites vegetales la más

1.3.6 *Materias Primas*. En cuanto a la ampliación de la diversificación de las materias primas para la producción de biodiésel, se ha explorado el uso de diversas fuentes renovables, incluyendo grasas animales, aceites de desecho comestibles y aceites derivados de cultivos como ricino, palma aceitera, girasol, babasú, maní, jatrofa, nueces souari, maripa palmas, soja y semilla de algodón. Además, se ha investigado el uso de otras fuentes emergentes como microalgas, crambe, rábanos y guacamayos. Sin embargo, para lograr la sostenibilidad ambiental en la producción de biodiésel, se ha propuesto el uso de aceites comestibles ya utilizados en restaurantes y hogares, lo que implica un bajo costo de materia prima y un enfoque en la reutilización de residuos para reducir la contaminación ambiental.³⁰

2. METODOLOGÍA

2.1 Reactivos, equipos y materiales

2.1.1 *Reactivos*

- Carbonato de potasio
- Metanol
- Agua destilada
- Fenolftaleína

2.1.2 *Equipos*

- Plancha de calentamiento con agitación magnética
- Estufa
- Cocineta
- Mufla

2.1.3 *Materiales*

- Matraz Erlenmeyer
- Pipetas
- Varilla de agitación
- Decantador
- Balón volumétrico
- Bureta
- Probeta
- Vaso de precipitación

2.2 Muestreo de la materia prima

Se obtuvo el aceite de cocina residual utilizado para la producción de biodiesel a partir de la recolección de residuos de restaurantes de comidas rápidas en la ciudad de Machala. Por otro lado, las cáscaras de cacao recolectadas en una finca cacaotera ubicada en las afueras de la ciudad de Machala se utilizaron para la elaboración del biocatalizador.

2.3 Preparación del catalizador

Se empleó un equipo de secado para la eliminación de la humedad en las cáscaras de cacao, posteriormente se procedió a su trituración para obtener un polvo fino. Este material fue sometido a un proceso de calcinación en un horno tipo mufla, manteniendo una temperatura de 700 °C durante 4 horas, logrando la obtención de ceniza. Se llevó a cabo la extracción de los cristales de carbonato de potasio, mediante la agitación de 250 g de ceniza con 1 litro de agua destilada durante una hora. Luego, se realizó un proceso de filtración para separar los cristales de carbonato de potasio de la ceniza contenida en la solución acuosa. El filtrado se sometió a un proceso de evaporación a 140 °C durante 3 horas para obtener los cristales de carbonato de potasio. Finalmente, los cristales fueron lavados con agua destilada hasta obtener un color blanco.

2.4 Montaje experimental

Para la síntesis de biodiesel, se utilizó el aceite residual recolectado el cual fue sometido a reacciones de transesterificación. La reacción se llevó a cabo empleando metanol de grado analítico como reactivo y cristales de carbonato de potasio obtenidos a partir de la ceniza de cáscara de cacao como catalizador. La reacción se realizó en un vaso de precipitación colocado en una plancha de calentamiento con agitación magnética para simular un efecto similar al de un reactor de doble camisa, donde se controló la temperatura y la agitación para optimizar el proceso.

Antes de la reacción de transesterificación, se llevó a cabo la precalentamiento del aceite para facilitar la mezcla de las dos fases (oleína y estearina) que se encuentran separadas a temperatura ambiente. Posteriormente, se procedió a la adición del aceite de cocina usado, metanol y catalizador en el reactor de vidrio. La relación molar metanol-aceite se mantuvo en 6:1 y la temperatura de reacción se fijó en 60 °C. El tiempo de reacción se estableció en 1 hora, y la velocidad de agitación se mantuvo constante en 250 rpm. Después de la reacción, se separaron el biodiesel crudo y el glicerol utilizando un embudo, y se cuantificaron las cantidades de cada fase a las 24 horas. Este mismo proceso se realizó con el uso de un catalizador comercial de carbonato de potasio para comparar los resultados obtenidos.

2.5 Diseño experimental

Se llevó a cabo un diseño experimental monofactorial para evaluar los efectos de la concentración de catalizador de cristales de cáscara de cacao (variable independiente) en la reacción de transesterificación del aceite de cocina usado. Este diseño fue seleccionado para la evaluación, análisis e interpretación de los datos experimentales, con el fin de determinar la significancia de la variable independiente en la reacción.

Donde hemos establecido estudiar el rendimiento de biodiesel a partir del aceite de cocina usado. El proceso de transesterificación se realizó en tres concentraciones diferentes de catalizador de 1 %, 2 % y 3 % en peso, además, se experimentó con las mismas variables usando catalizador comercial, con el fin de comparar y definir el mejor rendimiento.

2.6 Análisis fisicoquímicos

2.6.1 Determinación de ácidos grasos libres. La medición de la cantidad de ácidos grasos libres presentes en el aceite se llevó a cabo siguiendo los procedimientos estipulados por la normativa NTE INEN 210, la cual tiene como objetivo establecer el índice de acidez en aceites y grasas vegetales.

2.6.2 Caracterización del aceite de cocina usado. La caracterización del aceite de cocina usado se realizó mediante la aplicación de los procedimientos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 35 y 38, los cuales permiten determinar las propiedades fisicoquímicas relevantes para su uso como materia prima en la producción de biodiesel.

Las propiedades fisicoquímicas del aceite obtenido se determinaron según las normas ASTM para el valor de acidez, el valor de pH, la viscosidad y la densidad. A continuación, en la Tabla 5 se describen los materiales, la técnica y los cálculos utilizados para determinar la densidad del aceite de cocina usado.

Tabla 5. Determinación de la densidad del aceite vegetal usado

Materiales	Técnica	Cálculo
✓ Balón volumétrico de 25 ml	✓ Tomar 25 ml de muestra en un vaso precipitado	$d = \frac{P2 - P1}{Vp}$
✓ Vaso precipitado de 50 ml	✓ Colocar el balón volumétrico vacío en la balanza y anotar su peso (P1)	Donde: d = densidad (g/ml)
✓ Balanza analítica	✓ Añadir la muestra de aceite a la probeta	P1 = probeta vacía (g) P2 = probeta con muestra (g)
	✓ Colocar la probeta con muestra en la balanza y anotar su peso (P2)	Vp = volumen de la probeta (ml)
	✓ Realizar la diferencia de pesos y dividir por la capacidad de la probeta.	

Fuente: Elaboración propia

2.6.2.1 *Determinación de la viscosidad del aceite vegetal usado.* Se determinó la viscosidad con un viscosímetro giratorio marca Fungilab ViscoLead modelo ONE R + PPR, empleando el husillo L1 a 50 RPM, v : 38,6 %, obteniendo así una viscosidad dinámica de 46,3 $mPa \cdot s$. La viscosidad del aceite vegetal se obtuvo a una temperatura de 40 °C.³²

2.6.2.2 *Determinación del índice de yodo del aceite vegetal usado.* El índice de yodo es una medida importante de la insaturación de los ácidos grasos presentes en una muestra de aceite y se calcula a través de un procedimiento estandarizado. En este estudio, se realizó la determinación del índice de yodo siguiendo el procedimiento descrito en la Tabla 6.³³

Tabla 6. Determinación del índice de yodo del aceite vegetal usado

Materiales	Técnica	Cálculo
✓ Aceite	✓ Pesar entre 0,1 a 0,2 gramos.	$IV = \frac{V}{M}$
✓ Cloroformo	✓ Añadir 10 ml de una solución de cloroformo/metanol (3:1) al matraz.	Donde: V: ml de solución de tiosulfato de sodio utilizado en la titulación x 0,1 N.
✓ Metanol	✓ Añadir 0,5 ml de una solución de yodo en cloroformo al matraz.	M: peso de la muestra de aceite en gramos
✓ Solución de yodo	✓ Tapar el matraz y agitarlo durante 30 seg a una velocidad moderada.	
✓ Matraz con tapón	✓ Añadir 10 ml de una solución de hidróxido de potasio al 10 % al matraz y agitar de nuevo durante 30 seg a velocidad moderada.	
✓ Hidróxido de potasio	✓ Dejar reposar el matraz a temperatura ambiente durante 30 minutos.	
✓ Agua destilada	✓ Añadir 50 ml de agua destilada al matraz y agitar suavemente para disolver la solución.	
✓ Tiosulfato de sodio	✓ Titular la solución con una solución de tiosulfato de sodio al 0,1 N hasta que se alcance el punto final.	
	✓ Anotar la cantidad de solución de tiosulfato de sodio utilizada en la titulación.	

Fuente: Elaboración propia

2.6.2.3 *Determinación de la insaturación de las grasas en el aceite vegetal usado.* El índice de saponificación corresponde a la cantidad de hidróxido de potasio necesaria para saponificar una cantidad específica de grasa o aceite. La metodología utilizada para la obtención de la medida de insaturación de las grasas se encuentra detallada en la Tabla 7 del presente estudio.³⁴

Tabla 7. Determinación del índice de saponificación en el aceite vegetal usado

Materiales	Técnica	Cálculo
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aceite ✓ Hidróxido de potasio ✓ Hidróxido de sodio ✓ Varilla de vidrio ✓ Agua destilada ✓ Matraz ✓ Ácido clorhídrico 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pesar alrededor de 2-5 g en un matraz seco y limpio. ✓ Añadir 25 ml de una solución de hidróxido de potasio o hidróxido de sodio al 0,5 N al matraz. ✓ Calentar la mezcla suavemente en un baño de agua caliente durante una hora, agitando periódicamente con una varilla de vidrio. ✓ Una vez que la saponificación ha terminado, añadir 50 ml de agua destilada al matraz y agitar suavemente para disolver la solución. ✓ Titular la solución con una solución de ácido clorhídrico al 0,5 N. ✓ Anotar la cantidad de solución de ácido clorhídrico utilizada en la titulación. 	$IS = \frac{V}{M}$ <p>IS: Índice de saponificación. V: ml de solución de ácido clorhídrico utilizado en la titulación x 0,5 N. M: Peso de la muestra de aceite en gramos.</p>

Fuente: Elaboración propia

2.6.2.4 *Determinación de la humedad en el aceite vegetal residual.* La determinación de la humedad del aceite de cocina se puede realizar mediante un análisis gravimétrico como se describe en la Tabla 8.

Tabla 8. Determinación de la humedad del aceite vegetal usado

Materiales	Técnica	Cálculo
✓ Papel filtro	✓ Pesar el papel filtro seco	$\%H = \frac{(M - n)}{M} * 100$
✓ Embudo	✓ Tomar 10 ml de aceite usado y filtrarlo.	
✓ Vaso precipitación	✓ Pesar el papel del filtrado (muestra)	Donde:
✓ Balanza analítica	✓ El papel del filtrado se procede a ingresar a la estufa a una temperatura de 110 °C por un tiempo de 30 a 45 min	M= peso de la muestra (g)
✓ Estufa	✓ Sacar el papel de la estufa y ponerlo en el desecador por unos 5 min.	n= peso de la muestra seca (g)
✓ Pinzas	✓ Sacar del desecador y pesar el papel.	
✓ Crisoles		
✓ Cronometro		
✓ Desecador		

Fuente: Elaboración propia

2.6.2.5 *Determinación de la acidez del aceite vegetal residual.* La determinación de la acidez del aceite vegetal usado se detalla a continuación en la Tabla 9.

Tabla 9. Determinación de la acidez del aceite vegetal usado

Materiales	Técnica	Cálculo
✓ Balanza analítica	✓ Se realiza una	$\%AGL = \frac{V_{NaOH} * N * 28.2}{P}$
✓ Erlenmeyer de 250 ml	valoración acido-base.	
✓ Vasos de precipitación	✓ Como reactivo	Donde: V= volumen de la disolución de NaOH utilizada (ml). N= normalidad de la solución utilizada. P= peso del aceite (g)
✓ Bureta, soporte y pinza	valorante se usa una disolución de NaOH 0.1 N y fenolftaleína como indicador	
✓ Pipetas	✓ Pesar con una aproximación de 0,01 g 10 g de aceite en un Erlenmeyer, previamente tarado.	
✓ Probetas	✓ Añadir 5 ml de fenolftaleína. ✓ Cargar la bureta con la disolución de NaOH 0.1 N enrasar y comenzar la valoración, agitando hasta viraje	

Fuente: Elaboración propia

2.6.2.6 *Determinación del punto de fusión en el aceite vegetal usado.* El punto de fusión de un compuesto es el punto térmico , en donde, una sustancia en este caso el aceite vegetal pasa de estado sólido al líquido, manteniendo ambas fases en equilibrio. El punto de fusión de un compuesto está influenciado por la presión. En el presente estudio, el punto de fusión del aceite fue evaluado mediante una técnica descrita en la Tabla 10.

Tabla 10. Determinación del punto de fusión en el aceite vegetal usado

Materiales	Técnica	Consideraciones
✓ Aceite	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Preparar una cantidad de la muestra en un tubo capilar de vidrio limpio y seco. ✓ Sujetar el tubo capilar con la muestra en un soporte metálico. ✓ Insertar el extremo cerrado del tubo capilar en un horno y elevar gradualmente la temperatura. ✓ Observar la muestra en el tubo capilar mientras se calienta y se registra la temperatura en la que la sustancia comienza a derretirse y se transforma en líquido. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El tubo capilar debe estar completamente limpio y seco antes de insertar la muestra ✓ La tasa de aumento de la temperatura debe ser controlada cuidadosamente.
✓ Tubo capilar		
✓ Soporte metálico		
<hr/> <p>Fuente: Elaboración propia</p> <hr/>		

2.6.3 *Caracterización del catalizador de cacao.* La espectroscopía de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés) se posiciona como una técnica analítica crucial en la caracterización de catalizadores. Esta técnica se utiliza para identificar la presencia y cantidad de especies químicas adsorbidas en la superficie del catalizador, lo que permite la comprensión de su estructura y composición.³⁵

En la investigación de catalizadores, el análisis por espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) se emplea para caracterizar las bandas de absorción en la superficie del material, lo que permite identificar grupos funcionales específicos en la estructura molecular del catalizador. Esto resulta crucial ya que los grupos funcionales en la superficie del catalizador son los sitios activos donde se producen las reacciones químicas. El FTIR es una técnica útil para determinar la cantidad y la distribución de los grupos funcionales presentes en el catalizador, lo que proporciona información sobre la actividad y selectividad del catalizador en las reacciones químicas de interés.

2.6.4 Determinación del rendimiento del biodiesel. Al concluir la separación de fases, se obtiene en el decantador la separación de biodiesel y glicerol, se conserva el biodiesel en otro recipiente para impedir la presencia de jabones en el producto final. Se evalúa el rendimiento de todos los combustibles producidos, tanto biodiesel con catalizador de cacao, como diésel con catalizador comercial, en sus diferentes concentraciones. El rendimiento de la producción de biodiesel se determinó mediante la siguiente ecuación.³⁶

$$\text{Rendimiento de Biodiesel (\%)} = \frac{\text{Biodiesel producido (ml)}}{\text{Aceite de cocina usado (ml)}} * 100$$

2.6.5 Caracterización de Biodiesel. En la Tabla 11 se presentan las propiedades del biodiesel obtenido, las cuales se han evaluado siguiendo la Norma ASTM D6751-09. Por otro lado, se ha utilizado un espectrómetro FTIR equipado con un accesorio ATR de punta de diamante para adquirir espectros infrarrojos de las muestras de biocarbón. La técnica de transformada de Fourier (FTIR) se empleó en el equipo Cary 630 FTIR de Agilent Technologies para identificar los grupos funcionales presentes en las muestras analizadas.

Tabla 11. Características del biodiesel acorde a la norma ASTM para biodiésel D6751-09

Propiedad	Límite		Unidad	Método de Prueba
	Min	Max		
Punto de inflamación	93		°C	D 93
Control de alcohol				
Debe cumplir con una de las siguientes:				
1. Contenido de metanol	130	0,2	masa % °C	en 14110 D93
2. Punto de inflamación				
Agua y sedimento		0,050	% volumen	D2705
Número ácido		0,50	mg KOH / g	D664
Ceniza sulfatada		0,020	% masa	D874
Corrosión lámina de cobre		No. 3		D130
Residuo de carbono		0,050	% masa	D4530
Viscosidad cinemática	1,9	6,0	mm ² /s	D445
Número de cetano	47			D613
Punto de turbidez		Reporte	°C	D2500
Filtrabilidad de impregnado en frío		360	segundos	Anexo A1
Estabilidad de oxidación	3		Horas	en 14112
Glicerina libre		0,020	% masa	D6584
Glicerina total		0,240	% masa	D6584
Sodio y potasio, combinados		5	ppm (µg/g)	en 14538
Calcio y magnesio, combinados		5	ppm (µg/g)	en 14538
Azufre*		0,0015005	% masa (ppm)	D5453
Contenido de fósforo		0,001	% masa	D4951
Temperatura destilación, Temperatura atmosférica equivalente, 90% recuperado		360	°C	D1160

* Diferentes límites de azufre para S15 (15 ppm azufre) y S500 (500 ppm azufre combustible).

Fuente: Norma ASTM para biodiésel D6751-09

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización del aceite vegetal de cocina residual

Los resultados de la caracterización del aceite vegetal usado se presentan en la Tabla 12. Se encontró que los valores de índice de yodo, índice de saponificación y humedad están dentro del rango reportado por otros autores para aceites vegetales usados hasta 10 veces. Cabe destacar que las propiedades de un aceite residual de cocina pueden variar significativamente según su origen y la cantidad de veces que haya sido utilizado. Es importante tener en cuenta estas variaciones al considerar el reciclaje de aceites usados en aplicaciones industriales y de consumo.^{17,37,38}

Tabla 12. Características fisicoquímicas del aceite de cocina usado

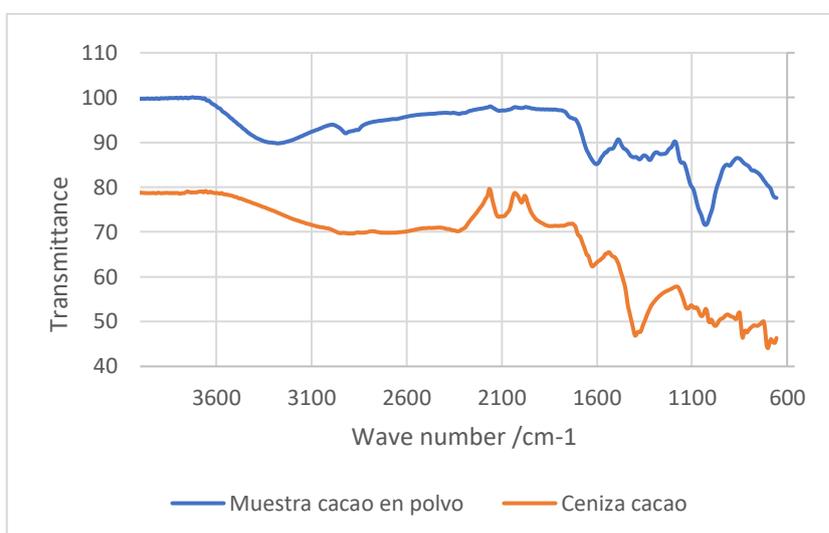
Determinación	Resultados	Unidades
Peso específico	0,9101	-
Densidad	0,9101	g/ml
Viscosidad	46,3	mPa·s
Índice de yodo	106,56	(%m/m)
Índice de saponificación	199,9	mg KOH/g
Humedad	3,6	% en peso
Porcentaje de Ácidos Grasos Libres	0,6204	%
Punto de fusión	33	°C

Fuente: Elaboración propia

3.2 Comparativa del catalizador de carbonato de potasio (K_2CO_3) obtenido de la cáscara de cacao versus un catalizador comercial de grado analítico

En la figura 3 se muestra claramente la producción de las cenizas a partir de la calcinación del cacao. La formación del pico en 1377 cm^{-1} y 834 cm^{-1} , indican la presencia de carbonatos, lo que coincide con los espectros de otras fuentes bibliográficas, donde se habla del carbonato de potasio como el principal activador de función catalítica.³⁹ Adicionalmente, vibraciones de tensión en el área de 879 cm^{-1} a 679 cm^{-1} pueden indicar la presencia de K-O.¹⁹ Que puede ser un indicativo de la presencia de carbonatos de potasio.

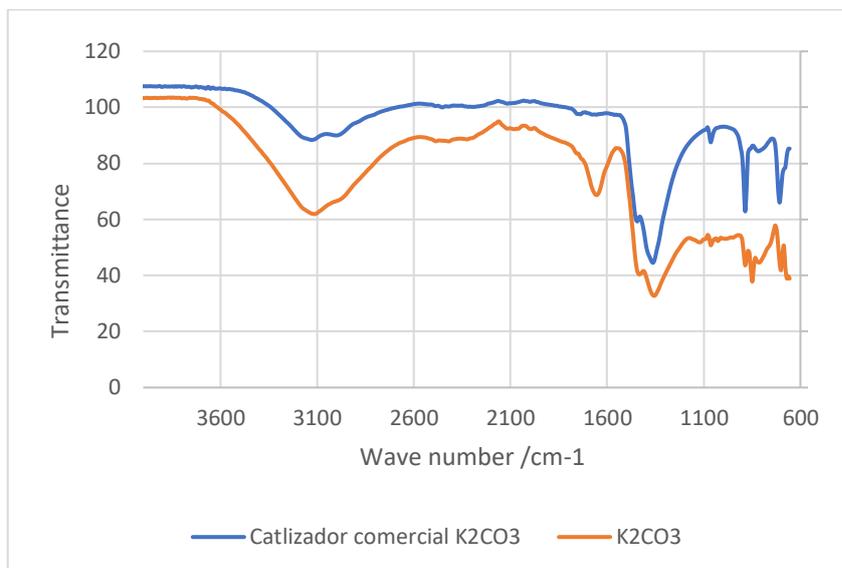
Figura 3. Espectro del polvo y ceniza provenientes de la cáscara de cacao



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4 se observa que ambas muestras cumplen con las características de un espectro para carbonato de potasio. El catalizador comercial es un carbonato de potasio de grado analítico y muestra similitud en el espectro con el catalizador obtenido a partir del polvo de cáscaras de cacao

Figura 4. Comparación de los espectros de un catalizador comercial y el catalizador obtenido de la cáscara de cacao

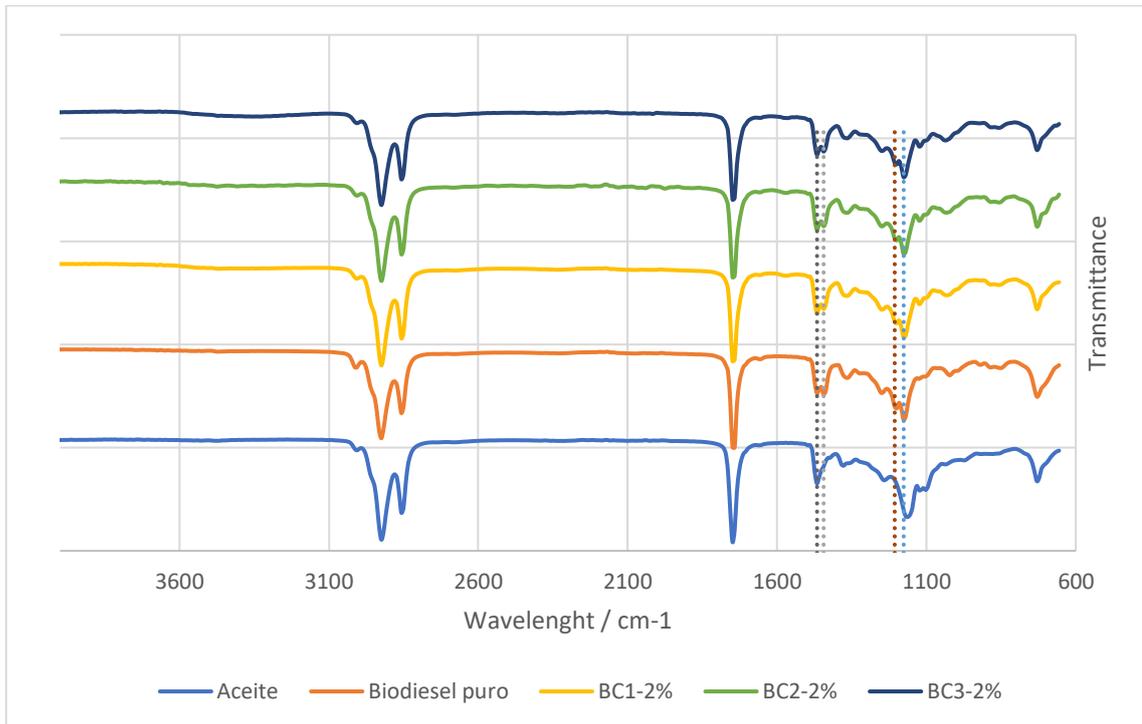


Fuente: Elaboración propia

3.3 Análisis FTIR del biodiésel obtenido con catalizador comercial de carbonato de potasio (K_2CO_3) de grado analítico

En la figura 5 todas las muestras 1, 2, 3 al 2% de catalizador cumplen con las características de un espectro de biodiésel. La región en el espectro entre 1500 y 900 cm^{-1} muestran las principales diferencias entre biodiésel y el aceite original. La descomposición del esqueleto de glicerol del aceite durante el proceso de transesterificación, la reducción del grupo CH_2-O- en el aceite y la formación del grupo funcional $-O-CH_3$ en ésteres metílicos de ácidos grasos se identificaron a partir de los cambios en el pico característico de 1176 a 1206 cm^{-1} en biodiésel confirmando la conversión. Además, los picos de 1444 a 1466 cm^{-1} también confirman la transformación de los grupos éster de la muestra de aceite usado en ésteres metílicos ($CO-O-CH_3$) del biodiésel producido. Investigaciones similares sobre FTIR en biodiésel confirman los resultados obtenidos en esta investigación, donde se muestra la desaparición del pico a 1206 cm^{-1} , mismo que indica la conversión de las grasas en biodiésel.⁴⁰

Figura 5. Análisis FTIR del biodiésel obtenido con catalizador comercial de carbonato de potasio (K_2CO_3) de grado analítico

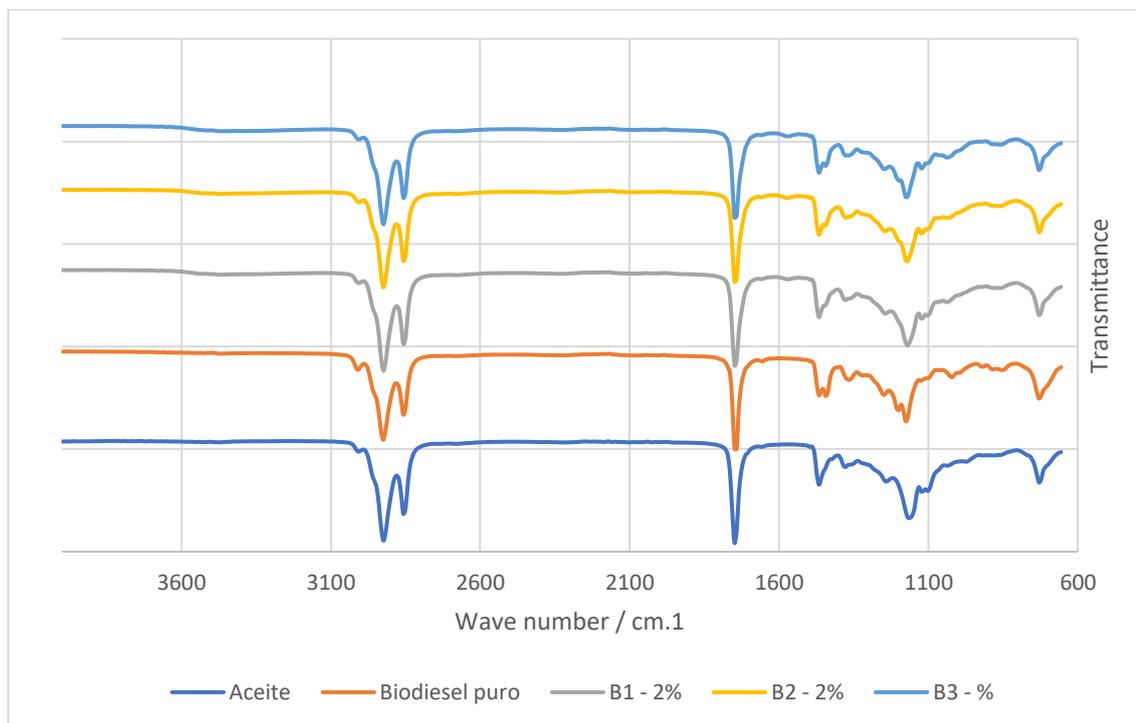


Fuente: Elaboración propia

3.4 Análisis FTIR del biodiésel con biocatalizador de carbonato de potasio (K_2CO_3) obtenido de la cáscara de cacao

En el caso de las muestras presentadas en la figura 6, si existe presencia de biodiesel. Cambios similares en el espectro del aceite se observan en las regiones mencionadas en el caso anterior. Sin embargo, estos picos no están totalmente formados, lo que puede significar que no existe un 100% de conversión. A pesar de eso, la muestra número 3, claramente muestra una mayor conversión de aceite hacia biodiesel, sin embargo, no se puede definir el porcentaje.

Figura 6. Análisis FTIR del biodiésel con carbonato de potasio (K_2CO_3) obtenido de la cáscara de cacao



Fuente: Elaboración propia

3.5 Determinación del rendimiento del biodiésel producido

A partir de un volumen inicial de 500 ml de aceite de cocina usado se pudo producir biodiesel, como se muestra en la tabla 13, a diferentes concentraciones de biocatalizador de cacao y catalizador comercial de carbonato de potasio. Se puede observar que el mejor rendimiento en las tres concentraciones lo obtuvimos usando biocatalizador de cacao, siendo que el rendimiento al 1 % de catalizador fue de 98,8 %, al 2 % fue de 99,6 % y al 3 % fue de 99,2 %. Sin embargo, haciendo una comparación entre las concentraciones de ambos catalizadores pudimos notar que la cantidad optima de catalizador a utilizar para tener mejores resultados es usando 2% de catalizador en ambos casos, es decir, tanto con biocatalizador de cacao, como catalizador comercial, puesto que, a dicha concentración encontramos los rendimientos más altos de producción de biodiesel, con biocatalizador de cacao 99,6 % y catalizador comercial de carbonato de potasio 97,8 %. Basándonos en el volumen de biodiesel producido, puede concluirse que el rendimiento de K_2CO_3 de la cáscara de cacao es más eficaz porque puede producir mayor cantidad de éster metílico de ácido graso (biodiesel) en comparación con el catalizador comercial. Esto está relacionado con la presencia de

elementos básicos activos de K_2O y Al, O, K . Dichos compuestos activos pueden ampliar la superficie activa para obtener más ésteres metílicos.¹⁹

Tabla 13. Análisis del Rendimiento de biodiésel producido con biocatalizador de cacao y catalizador comercial

Catalizador	Concentración (%)	Rendimiento (%)
Biocatalizador de cacao (cristales de K_2CO_3)	1	98,8
	2	99,6
	3	99,2
Catalizador comercial de K_2CO_3	1	94,6
	2	97,8
	3	96,2

Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

El aceite residual empleado en la producción de biodiesel cubrió las especificaciones de densidad, viscosidad, índice de yodo, índice de saponificación, contenido de humedad, punto de fusión y porcentaje de ácidos grasos libres, en conformidad con las normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), a fin de ser utilizado como materia prima en la síntesis de biodiesel.

Se encontró que la ceniza de la cáscara de cacao era adecuada como potencial catalizador para transesterificación de aceite obtenido de residuos de aceite de cocina. En el análisis FTIR se observó la presencia de K-O, como un indicativo de la presencia de carbonatos de potasio, lo que lo hace activo al catalizador.

La región en el espectro entre 1500 y 900 cm^{-1} mostraron las principales diferencias entre biodiesel y el aceite original. Además, los picos de 1444 a 1466 cm^{-1} también confirman la transformación de los grupos éster de la muestra de aceite usado en ésteres metílicos (CO-O-CH_3) del biodiésel producido.

Comparando los rendimientos de biodiesel obtenidos a partir de biocatalizador de ceniza de cacao versus el catalizador comercial de carbonato de potasio, se encontró que la cáscara de cacao tiene potencial para ser utilizada como catalizador de carbonato de potasio (K_2CO_3) en el proceso de producción de biodiesel a partir de aceite vegetal residual. El uso del catalizador K_2CO_3 de la cáscara de cacao en el proceso de transesterificación es capaz de dar como resultado mayores rendimientos de biodiesel (alrededor del 99 %) en comparación con el catalizador comercial de K_2CO_3 (alrededor del 97 %). Así mismo, se determinó que la concentración ideal de catalizador para obtener mayor rendimiento es al 2 % en ambos casos.

4.2 RECOMENDACIONES

- El aceite de cocina usado para el proceso no debe ser muy quemado para evitar sobrepasar los límites de acidez y como consecuencia su contenido de ácidos grasos libres. Además, se debe eliminar impurezas mediante filtración.
- En el caso de que el aceite presente un alto porcentaje de ácidos grasos libres, se sugiere realizar una esterificación previa para reducir dichos ácidos y así cumplir con los requisitos para la obtención del biodiésel. En caso contrario, si el contenido de ácidos grasos libres supera los límites establecidos, existe el riesgo de que se produzca una saponificación no deseada en lugar de la transesterificación.
- Asegurarse que el aceite de cocina usado no contenga agua, ya que esto también podría alterar la reacción deseada.
- Tener todos los cuidados respectivos y usar la indumentaria adecuada (mascarilla, mandil, gafas de protección) para la manipulación de reactivos tóxicos como el metanol.
- Evaluar un análisis de rentabilidad económica acerca de la relación costo-beneficio para la obtención de biodiésel.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Chica, F.; Espinoza, F. Estudio y Aplicación Del Biodiesel. El Biodiesel Como Alternativa Para Reducir Las Emisiones Contaminantes En La Ciudad de Cuenca. *Ingenius* [Online] **2008**, 2 (2), 3–9. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5972800>
- (2) Arévalo Mozos, P.; Ulloa Bentura-Castellanos, J.; Astudillo, S. Obtención de Biodiesel a Partir de Grasa Bovina. *Granja* [Online] **2008**, 8 (2), 9–16. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5969831>
- (3) Villabona Ortiz, Á.; Iriarte Pico, R.; Tejada Tovar, C. Alternativas Para El Aprovechamiento Integral de Residuos Grasos de Procesos de Fritura. *Teknos* [Online] **2017**, 17 (1), 21–29. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6382715>
- (4) Alfonso Álvarez, J. A. Obtención de Biodiesel a Partir de Aceites Usados En Casa Habitación de La Comunidad Del Refugio. *CIMAV* [Online] **2013**. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/349>
- (5) Rincón, S. M.; Martínez, D. M. Análisis de Las Propiedades Del Aceite de Palma En El Desarrollo de Su Industria. *Palmas* [Online] **2009**, 30 (2), 11–24. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1432>
- (6) Agüero, S. D.; García, J. T.; Catalán, J. S. Aceites Vegetales de Uso Frecuente En Sudamérica: Características y Propiedades. *Nutr. Hosp.* **2015**, 32 (1), 11–19. <https://doi.org/10.3305/NH.2015.32.1.8874>.
- (7) Ramos Escudero, F.; Dayer, L. P.; Mendoza, E. B.; Saavedra, L. C.; Escudero, M. R. Perfil de Ácidos Grasos de Aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis*) En Comparación Con Otros Aceites Vírgenes Comestibles. *Campus* [Online] **2018**, 21 (21). <https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/rc/article/view/1142>
- (8) Majchrzak, T.; Wojnowski, W.; Dymerski, T.; Gębicki, J.; Namieśnik, J. Electronic Noses in Classification and Quality Control of Edible Oils: A Review. *Food Chem.* **2018**, 246, 192–201. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.11.013>.
- (9) Herrera, M. C.; Enriquez, V. L.; Cánovas, L. L.; Bauzá, M. Aceites Vírgenes Varietales de Oliva. Características Sensoriales. *Rev. FCA UNCuyo* [Online] **2000**. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/11009/7-aceites-vrgenes-de-oliva.pdf
- (10) Kesime, U.; Pazouki, K.; Murphy, A.; Chrysanthou, A. Biofuel as an Alternative Shipping Fuel: Technological, Environmental and Economic Assessment.

- Sustain. Energy Fuels* **2019**, *3* (4), 899–909.
<https://doi.org/10.1039/C8SE00466H>.
- (11) Nitbani, F. O.; Tjitda, P. J. P.; Nurohmah, B. A.; Wogo, H. E. Preparation of Fatty Acid and Monoglyceride from Vegetable Oil. *J. Oleo Sci.* **2020**, *69* (4), 277–295.
<https://doi.org/10.5650/JOS.ESS19168>.
- (12) Legaz, R. Estudio de La Viscosidad y Densidad de Diferentes Aceites Para Su Uso Como Biocombustible. [Online] **2011**.
https://www.researchgate.net/publication/46775477_Estudio_de_la_viscosidad_y_densidad_de_diferentes_aceites_para_su_uso_como_biocombustible
- (13) Andrade Villegas, N. X.; Moncada Rangel, J. A. Manejo de Los Residuos de Aceite Comestible En Los Expendios de Comida. Ibarra, Ecuador. *SATHIRI* **2020**, *15* (2), 185–198. <https://doi.org/10.32645/13906925.987>.
- (14) Segurondo Loza, R.; Cortez Quisbert, V. Determinación de La Rancidez En Aceites Usados En El Proceso de Frituras En Establecimientos de Expendio de Comida Rápida. *Rev. CON-CIENCIA* [Online] **2020**, *8* (2), 115–128.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2310-02652020000200009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- (15) Garcés, I. C.; Sánchez, M. C. Productos Derivados de La Industria de La Palma de Aceite. Usos. *Palmas* [Online] **1997**, *18* (1), 33–48.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/571>
- (16) Sitepu, E. K.; Heimann, K.; Raston, C. L.; Zhang, W. Critical Evaluation of Process Parameters for Direct Biodiesel Production from Diverse Feedstock. *Renew. Sust. Energ. Rev.* **2020**, *123*, 109762. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2020.109762>.
- (17) Ramírez, T. Evaluación de Las Propiedades Fisicoquímicas de Aceites y Grasas Residuales Potenciales Para La Producción de Biocombustibles. [Online] **2018**.
https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/369/1/Evaluaci%C3%B3n%20de%20las%20propiedades%20fisicoqu%C3%ADmicas%20de%20aceites%20y%20grasas%20residuales%20potenciales%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biocombustibles_rees.pdf (acceso 15/06/2022)
- (18) Carlos Hernández, S.; Díaz Jiménez, M. D. L. V. Evaluación de Un Proceso Industrial de Producción de Biodiésel Mediante Análisis de Ciclo de Vida. *Rev. Int. de Contam.* **2018**, *34* (3), 453–465.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.08>.
- (19) Rachmat, D.; Mawarani, L. J.; Risanti, D. D. Utilization of Cacao Pod Husk (Theobroma Cacao L.) as Activated Carbon and Catalyst in Biodiesel Production Process from Waste Cooking Oil. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **2018**, *299* (1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/299/1/012093>.

- (20) Preciado, C.; Arroyo, V. Uso de Biocombustibles En Ecuador: Una Mirada Desde La Protección de Los Derechos de La Naturaleza. *Especial* **2022**, *7*, 477–491. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.27.7.31>.
- (21) Mera Ayala, J.; Revelo-Vargas, D.; Mora-Martínez, M.; Pérez-Barón, J.; Areiza-Rico, Y. Caracterización Físicoquímica de Biodiésel Derivado de Grasa de Pollo Como Alternativa de Producción Limpia En La Sabana de Túquerres-Nariño. *Informador Técnico* **2019**, *83* (1), 41–50. <https://doi.org/10.23850/22565035.1783>.
- (22) Mandari, V.; Devarai, S. K. Biodiesel Production Using Homogeneous, Heterogeneous, and Enzyme Catalysts via Transesterification and Esterification Reactions: A Critical Review. *Bioenergy Res.* **2021**, *15* (2), 935–961. <https://doi.org/10.1007/S12155-021-10333-W>.
- (23) Raikwar, A. S.; Koli, C. S.; Agarwal, A. Biodiesel an Alternative Fuel: A Review. *Invertis J. Renew. Energy* **2018**, *8* (2), 75. <https://doi.org/10.5958/2454-7611.2018.00013.9>.
- (24) Suleiman, M.; Krüger, A.; Antranikian, G. Biomass-Degrading Glycoside Hydrolases of Archaeal Origin. *Biotechnol. Biofuels.* **2020**, *13* (1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/S13068-020-01792-Y>.
- (25) Pantoja Cabrera, D. A. Caracterización de Las Propiedades Físicoquímicas de Biodiesel Extraído de Aceite Reciclado de Origen Vegetal. [Online] **2018**. <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7140> (acceso 16/06/2022)
- (26) González Guerra, J. S. Síntesis, Funcionalización y Caracterización de Catalizadores Tipo Hidrotalcita Por El Método de Coprecipitación Para Ensayos En Reacción de Transesterificación. [Online] **2020**. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/3086> (acceso 20/01/2023)
- (27) Encinar, J. M.; González, J. F.; Rodríguez-Reinares, A. Biodiesel from Used Frying Oil. Variables Affecting the Yields and Characteristics of the Biodiesel. *Ind. Eng. Chem. Res.* **2005**, *44* (15), 5491–5499. <https://doi.org/10.1021/IE040214F>.
- (28) Ma, X.; Liu, F.; Helian, Y.; Li, C.; Wu, Z.; Li, H.; Chu, H.; Wang, Y.; Wang, Y.; Lu, W.; Guo, M.; Yu, M.; Zhou, S. Current Application of MOFs Based Heterogeneous Catalysts in Catalyzing Transesterification/Esterification for Biodiesel Production: A Review. *Energy Convers. Manag.* **2021**, *229*. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2020.113760>.
- (29) Muanruksa, P.; Kaewkannetra, P. Combination of Fatty Acids Extraction and Enzymatic Esterification for Biodiesel Production Using Sludge Palm Oil as a Low-Cost Substrate. *Renew. Energ.* **2020**, *146*, 901–906. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.07.027>.

- (30) da Silva César, A.; Conejero, M. A.; Barros Ribeiro, E. C.; Batalha, M. O. Competitiveness Analysis of “Social Soybeans” in Biodiesel Production in Brazil. *Renew. Energ.* **2019**, *133*, 1147–1157. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2018.08.108>.
- (31) Medina Villadiego, M.; Ospino Roa, Y.; Tejeda Benítez, L. Esterificación y Transesterificación de Aceites Residuales Para Obtener Biodiesel. *Rev. Luna Azul* **2015**, No. 40, 25–34. <https://doi.org/10.17151/LUAZ.2015.40.3>.
- (32) Vera, M.; Vargas, F.; Buitrago, J. S. Producción de Biodiesel a Partir de Aceite de Cocina Usado. *Germina* **2019**, *2* (2), 117–145. <https://doi.org/10.52948/GERMINA.V2I2.214>.
- (33) Chaves Yela, J. A.; Ortiz Tobar, D. P.; Bahos Ordoñez, E. M.; Ordoñez Forero, G. A.; Villota Padilla, D. C. Análisis Del Perfil de Ácidos Grasos y Propiedades Físicoquímicas Del Aceite de Palma de Mil Pesos (*Oenocarpus Bataua*). *Perspect. Nut. Hum.* **2020**, *22* (2), 175–188. <https://doi.org/10.17533/udea.penh.v22n2a05>.
- (34) García Chávez, J.; Rosalía, J.; Vera, M.; Alcides, S.; Muentes, G.; Alfonso, G.; Briones, B.; Oswaldo, G.; Vincés, G. Epoxidación Del Aceite Vegetal de *Jatropha Curcas* L. Con Ácido Fórmico, de La Provincia de Manabí, Ecuador. *Rev. Bas. Cien.* **2021**, *6* (3), 21–32. https://doi.org/10.33936/REV_BAS_DE_LA_CIENCIA.V6I3.4125.
- (35) Torrero Cámara, J. F. Aplicaciones de La Espectroscopia FTIR Para La Electrooxidación de Etanol. Efectos Del PH y de La Naturaleza Del Catalizador. [Online] **2020**. <https://digital.csic.es/handle/10261/226564> (acceso 08/02/2023)
- (36) Bustamante, J. I. R.; Gago, D. J. M.; Rodríguez, I. D. C. G. Rendimiento de Producción de Biodiesel Por Transesterificación a Partir de Aceite de Soja Usado. *FIDES ET RATIO* **2022**, *23* (23), 149–175. <https://doi.org/10.55739/fer.v23i23.112>.
- (37) Buchori, L.; Widayat, W.; Muraza, O.; Amali, M. I.; Maulida, R. W.; Prameswari, J. Effect of Temperature and Concentration of Zeolite Catalysts from Geothermal Solid Waste in Biodiesel Production from Used Cooking Oil by Esterification–Transesterification Process. *Processes* **2020**, *8* (12), 1–16. <https://doi.org/10.3390/PR8121629>.
- (38) Aboelazayem, O.; Gadalla, M.; Saha, B. Derivatisation-Free Characterisation and Supercritical Conversion of Free Fatty Acids into Biodiesel from High Acid Value Waste Cooking Oil. *Renew. Energ.* **2019**, *143*, 77–90. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.04.106>.

- (39) Sharikh, A. M.; Sulaiman, S.; Azmi, A. S.; Sulaiman, S. Z. Potassium Carbonate from Pineapple and Orange Peels as Catalyst for Biodiesel Production. *AIP Conf. Proc.* **2018**, 2030 (1), 020290. <https://doi.org/10.1063/1.5066931>.
- (40) Aiello-Mazzarri, C.; Salazar, Y.; Urribarrí, A.; Arenas-Dávila, E.; Sánchez-Fuentes, J.; Ysambertt, F. Producción de Biodiésel a Partir de Las Grasas Extraídas de La Borra de Café: Esterificación Con H₂SO₄ y Transesterificación Con KOH. *Cienc. Ing. Neogranad.* **2018**, 29 (1), 53–66. <https://doi.org/10.18359/rcin.2899>.

6. ANEXOS

Anexo 1. Cáscaras de cacao recolectadas



Anexo 2. Cáscaras de cacao trituradas



Anexo 3. Pesado del polvo de cáscaras de cacao obtenido



Anexo 4. Ingreso del polvo de cáscara de cacao a la mufla



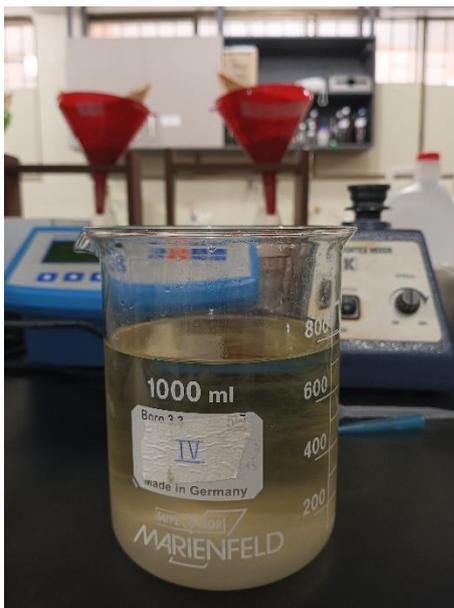
Anexo 5. Conversión del polvo de cáscara de cacao a ceniza



Anexo 6. Filtrado del catalizador contenido en la solución



Anexo 7. Solución previa al secado para la obtención de carbonato de potasio



Anexo 8. Catalizador de carbonato de potasio obtenido del proceso de secado



Anexo 9. Remoción de impurezas y humedad del aceite de cocina usado



Anexo 10. Elaboración de biodiésel



Anexo 11. Separación del biodiésel del glicerol

