



Universidad de Guayaquil

**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**“APROVECHAMIENTO DE ACEITES VEGETALES DESECHADOS DE LA
AVENIDA JOSÉ ROURA PARA OBTENER BIODIESEL EMPLEANDO
TÉCNICAS DE ESTERIFICACIÓN Y TRANSESTERIFICACIÓN”.**

AUTORES:

LOMAS MENDOZA WILSON MANUEL

MORAN GUIN VICTOR JAVIER

TUTOR:

Msc. MENDIETA BRAVO JAIRO SEBASTIAN

GUAYAQUIL, SEPTIEMBRE 2020



Universidad de Guayaquil

**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERIO QUÍMICO**

**“APROVECHAMIENTO DE ACEITES VEGETALES DESECHADOS DE LA
AVENIDA JOSÉ ROURA PARA OBTENER BIODIESEL EMPLEANDO
TÉCNICAS DE ESTERIFICACIÓN Y TRANSESTERIFICACIÓN”.**

AUTORES:

LOMAS MENDOZA WILSON MANUEL

MORAN GUIN VICTOR JAVIER

TUTOR:

Msc. MENDIETA BRAVO JAIRO SEBASTIAN

GUAYAQUIL, SEPTIEMBRE 2020



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	“APROVECHAMIENTO DE ACEITES VEGETALES DESECHADOS DE LA AVENIDA JOSÉ ROURA PARA OBTENER BIODIESEL EMPLEANDO TÉCNICAS DE ESTERIFICACIÓN Y TRANSESTERIFICACIÓN”	
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Lomas Mendoza Wilson Manuel Moran Guin Victor Javier	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Tutor: Ing. Jairo Sebastián Mendieta Bravo Msc. Revisor: Dra. Olga Laurmania Quevedo Pinos	
INSTITUCIÓN:	Universidad de Guayaquil	
UNIDAD/FACULTAD:	Facultad de Ingeniería Química	
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:		
GRADO OBTENIDO:	Ingeniero Químico	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	No. DE PÁGINAS:	
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ciencias básicas, bioconocimiento y desarrollo industrial.	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Biodiesel, aceites vegetales usados, esterificación, transesterificación	
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):		
Este trabajo de investigación tiene como fin la obtención de biodiesel a base de aceites vegetales usados aplicando la técnica de esterificación y transesterificación combinadas, el proceso empieza por la etapa de recolección de materia prima, luego el pretratamiento de los aceites recolectados después la transformación de aceites vegetales usados en biodiesel y acondicionamiento del biodiesel obtenido. Se obtuvo un rendimiento del 79% con óptimos resultados positivos en sus propiedades fisicoquímicas requeridas en la norma INEN 2482:2009 de densidad a 15°C de 885 Kg/m ³ , punto de inflamación en 150°C, viscosidad cinemática a 40 °C en 4.635mm ² /seg, corrosión en la lámina de cobre de 1b, cenizas sulfatadas 0.009%(m/m), índice de cetano calculado en 52.263 y contenido de agua en 0.100 mg/kg cumpliendo los requerimientos de la norma. También se determinó según la norma ASTM D-240-17 el poder calorífico en 39.12 MJ/kg indicando que el biodiesel obtenido cumple los estándares de calidad.		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfonos Wilson Lomas: 0939567043 Victor Moran: 0990129443	E-mail Wilson.lomasm@ug.edu.ec Victor.morang@ug.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Universidad de Guayaquil-Facultad de Ingeniería Química	
	Teléfono: 04-229-2949	
	E-mail: http://www.fiq.ug.edu.ec/	



Universidad de Guayaquil

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE AUTORIZACIÓN DE LICENCIA GRATUITA
INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA OBRA
CON FINES NO ACADÉMICOS**

Nosotros, Wilson Manuel Lomas Mendoza con C.I. No. 1206627935 y Victor Javier Moran Guin con C.I. No. 1205573932, certifico/amos que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es "APROVECHAMIENTO DE ACEITES VEGETALES DESECHADOS DE LA AVENIDA JOSÉ ROURA PARA OBTENER BIODIESEL EMPLEANDO TÉCNICAS DE ESTERIFICACIÓN Y TRANSESTERIFICACIÓN" son de nuestra absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN*, autorizo/amos la utilización de una licencia gratuita intransferible para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil.

Firma

Wilson Lomas Mendoza

C.I 1206627935

Firma

Victor Moran Guin

C.I 1205573932



Universidad de Guayaquil

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

CERTIFICADO DEL DOCENTE-TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Guayaquil,

MSc. Luis Bonilla Abarca

Director (a) de la Carrera de Ingeniería Química

Facultad de Ingeniería Química

Universidad de Guayaquil

Ciudad. –

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación denominado: **“Aprovechamiento de aceites vegetales desechados de la avenida José Roura para obtener biodiesel empleando técnicas de esterificación y transesterificación”** del(los) estudiante (s) **Lomas Mendoza Wilson Manuel** y **Moran Guin Victor Javier**, indicando que ha cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que el (los) estudiante (s) está(n) apto(s) para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,

Ing. Jairo Mendieta Bravo.MSc

TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

C.I: 0914708763

Fecha: 07/10/2020



Universidad de Guayaquil

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado **Ing Mendieta Bravo Jairo Sebastián**, tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por **Lomas Mendoza Wilson Manuel**, con C.I. 1206627935 y **Moran Guin Victor Javier**, con C.I. 1205573932 con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO QUÍMICO.

Se informa que el trabajo de titulación: “**APROVECHAMIENTO DE ACEITES VEGETALES DESECHADOS DE LA AVENIDA JOSÉ ROURA PARA OBTENER BIODIESEL EMPLEANDO TÉCNICAS DE ESTERIFICACIÓN Y TRANSESTERIFICACIÓN**”, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa anti-plagio (URKUND) quedando el 0 % de coincidencia.

URKUND

Document Information

Analyzed document	TRABAJO DE TITULACION PARA URKUND -FINAL.pdf (D80937783)
Submitted	10/7/2020 2:46:00 PM
Submitted by	
Submitter email	jairo.mendietab@ug.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	jairo.mendietab.ug@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	1492652899_Tesis-Victor-Borbor-Jorge-Velastegui-1.docx		1
	Document 1492652899_Tesis-Victor-Borbor-Jorge-Velastegui-1.docx (D27358577)		

Ing. Mendieta Bravo Jairo Sebastián

C.I. 0914708763

FECHA:07/10/2020



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

CERTIFICADO DE DOCENTE REVISOR

Guayaquil,

Luis Alberto Bonilla Abarca
Director (a) de la Carrera de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería Química
Universidad de Guayaquil
Ciudad. – Guayaquil.

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la **REVISIÓN FINAL** del Trabajo de Titulación **“APROVECHAMIENTO DE ACEITES VEGETALES DESECHADOS DE LA AVENIDA JOSÉ ROURA PARA OBTENER BIODIESEL EMPLEANDO TÉCNICAS DE ESTERIFICACIÓN Y TRANSESTERIFICACIÓN”** del o de los estudiantes **Lomas Mendoza Wilson Manuel y Moran Guin Victor Javier**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

El título tiene un máximo de 19 palabras.

La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.

El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.

La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.

Los soportes teóricos son de máximo 5 años.

La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

El trabajo es el resultado de una investigación.

El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.

El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.

El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que los estudiantes **Lomas Mendoza Wilson Manuel y Moran Guin Victor Javier** están aptos para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Dra. Olga Quevedo Pinos- Docente tutor revisor
C.I. 0909642936

FECHA: 02 de octubre de 2020

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación es dedicado primero a Dios por bendecirme todos los días, a mi familia especialmente a mis padres Sandra y Wilson que con su amor y sacrificio me permitieron esta oportunidad de estudiar y a mis abuelitas Sabina y Enna que siempre estuvieron conmigo llenándome de cariño y enseñándome a ser mejor persona.

“Se humilde para admitir tus errores, inteligente para aceptarlos y maduro para corregirlos”

WILSON MANUEL LOMAS MENDOZA

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo de titulación especialmente a Dios, a mis padres, hermanos, familia, amigos por haberme apoyado siempre en este proceso de aprendizaje y formación académica contribuyendo a poder volverlo posible.

En segundo lugar, le dedico este trabajo a mi mama Aida y a mis papas Washington y Hugo que desde el cielo deben estar felices de este logro alcanzado.

Víctor Javier Moran Guin

AGRADECIMIENTO

Agradecerle a Dios por la vida y por las bendiciones recibidas que, a lo largo de mi corta existencia, me han permitido crecer física e intelectualmente, arraigado siempre en valores y principios como el respeto, la humildad y el esfuerzo, que considero vitales en mi crecimiento personal y proceso académico.

A mis padres que con su amor y sacrificio me enseñaron a ser una persona correcta, recíproca y agradecida con los demás, me regalaron la mejor herencia, como lo es el estudio, el cual aprovecharé e intentaré poner a disposición para ayudar a los demás.

A mis abuelitas, que junto a mi madre son las mujeres a las cuales más amo y querré en este mundo, son mi fuente de inspiración y motivación, todo lo que soy y sea en un futuro será por y para ustedes.

A mis hermanos Winner y Jodie, a todos mis tíos en especial Rolando, Geoconda y Jorge que siempre estuvieron presentes, apoyándome y ayudando en lo que más podían, este logro es uno más de ustedes.

A mi hermano de otra sangre que Dios y la vida nos unió desde muy pequeños y que hoy en día cumplimos juntos esta gran alegría y satisfacción de convertirnos en Ingenieros Químicos del Ecuador, a mis amigos de aula y futuros colegas de los cuales aprendí a ser mejor cada día y por supuesto a los docentes de nuestra querida facultad de ingeniería química quienes con esmero y dedicación, impartieron y compartieron sus experiencias y conocimientos.

“Siempre hay que tratar de ser el mejor, pero nunca creer ser el mejor”

WILSON MANUEL LOMAS MENDOZA

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por brindarme salud y a mi papa Hugo y mi mama Doris por todo su apoyo y valores que me brindaron para poder lograr mi meta de culminar mis estudios universitarios, a mis hermanos Kerem, Gilmar y Thiago por su apoyo incondicional, a mi tía Mariuxi, a mi padrino Gonzalito por apoyarme a poder culminar mi trabajo, a mis profesores durante la carrera estudiantil por sus conocimientos brindados, a mis amigos y compañeros universitarios a quienes deseo puedan cumplir todas sus metas y a mi amigo y compañero de trabajo de titulación por su amistad brindada y que hemos podido lograr el objetivo de podernos convertir en Ingenieros Químicos del Ecuador.

Victor Javier Moran Guin



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“APROVECHAMIENTO DE ACEITES VEGETALES DESECHADOS DE LA
AVENIDA JOSÉ ROURA PARA OBTENER BIODIESEL EMPLEANDO
TÉCNICAS DE ESTERIFICACIÓN Y TRANSESTERIFICACIÓN”**

Autores:

Lomas Mendoza Wilson Manuel

Moran Guin Víctor Javier

Tutor:

Ing. Mendieta Bravo Jairo Sebastián

RESUMEN

Este trabajo de investigación tiene como fin la obtención de biodiesel a base de aceites vegetales usados aplicando la técnica de esterificación y transesterificación combinadas, el proceso empieza por la etapa de recolección de materia prima, luego el pretratamiento de los aceites recolectados después la transformación de aceites vegetales usados en biodiesel y acondicionamiento del biodiesel obtenido. Se obtuvo un rendimiento del 79% con óptimos resultados positivos en sus propiedades fisicoquímicas requeridas en la norma INEN 2482:2009 de densidad a 15°C de 885 Kg/m³, punto de inflamación en 150°C, viscosidad cinemática a 40 °C en 4.635mm²/seg, corrosión en la lámina de cobre de 1b, cenizas sulfatadas 0.009%(m/m), índice de cetano calculado en 52.263 y contenido de agua en 0.100 mg/kg cumpliendo los requerimientos de la norma. También se determinó según la norma ASTM D-240-17 el poder calorífico en 39.12 MJ/kg indicando que el biodiesel obtenido cumple los estándares de calidad.

Palabras claves: Biodiesel, aceites vegetales usados, esterificación, transesterificación



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“USE OF DISCARDED VEGETABLE OILS FROM JOSÉ ROURA AVENUE
TO OBTAIN BIODIESEL USING ESTERIFICACION AND
TRANSESTERIFICACION TECHNIQUES”**

Authors:

Lomas Mendoza Wilson Manuel

Moran Guin Victor Javier

Advisor:

Ing. Mendieta Bravo Jairo Sebastián

ABSTRACT

The purpose of this research work is to obtain biodiesel from used vegetable oils by applying the combined esterification and transesterification technique. The process begins with the stage of collecting the raw material, then the pre-treatment of the collected oils, followed by the transformation of the used vegetable oils into biodiesel and the conditioning of the obtained biodiesel. A yield of 79% was obtained with optimal positive results in its physicochemical properties required by the INEN 2482:2009 standard of density at 15°C of 885 Kg/m³, inflation point at 150 ° C, kinematic viscosity at 40 ° C at 4.635 mm²/ sec, 1b copper foil corrosion, 0.009% (m/m) sulphated ash, calculated cetane number at 52.263 and water content at 0.100 mg / kg meeting the requirements of the standard. The calorific value of 39.12 MJ / kg was also determined according to the ASTM D-240-17 standard, indicating that the biodiesel obtained meets the quality standards.

Keywords: Biodiesel, used vegetable oils, esterification, transesterification

INDICE

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA.....	III
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE AUTORIZACIÓN DE LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS	IV
CERTIFICADO DEL DOCENTE-TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	V
CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD.....	VI
CERTIFICADO DE DOCENTE REVISOR	VII
DEDICATORIA	VIII
DEDICATORIA	VIII
AGRADECIMIENTO	IX
AGRADECIMIENTO	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
INDICE	XIII
INDICE DE ILUSTRACIONES	XV
INDICE DE TABLAS.....	XVI
INDICE DE ANEXOS	XVII
INTRODUCCION.....	1
CAPÍTULO 1	3
1. TEMA.....	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación y sistematización del problema	5
1.2.1 Formulación del problema.....	5
1.2.2 Sistematización del problema	5
1.3 Justificación	5
1.3.1 Justificación teórica	5
1.3.3 Justificación practica.....	7
1.4 Objetivos	8
1.4.1 Objetivo general.....	8
1.4.2 Objetivo especifico	8
1.5 Delimitación de la investigación	9
1.5.1 Hipótesis	9
1.6 Variable del proyecto	9
1.6.1 Variable dependiente.....	9

1.6.2	Variable independiente	9
1.7	Operacionalización de las variables	10
CAPÍTULO 2		12
2.	MARCO REFERENCIAL	12
2.1	ANTECEDENTES	12
2.2	Marco Teórico	14
2.2.1	Biocombustible	14
2.2.1.1	Tipos de biocombustible	14
2.2.1.2	Según su estado físico	14
2.2.1.3	Según su origen	16
2.2.2	Materia Prima: Aceite vegetal usado	16
2.2.2.1	Importancia del pretratamiento de los aceites vegetales usados.	17
2.2.2.2	Caracterización del aceite	18
2.2.3	Esterificación	19
2.2.4	Transesterificación	20
2.2.5	Biodiesel	23
2.2.5.1	Aplicaciones del Biodiesel	24
2.2.5.2	Producción de biodiesel a nivel mundial	26
2.2.5.3	Propiedades fisicoquímicas del biodiesel	27
2.2.6	Efecto de los parámetros en la producción del biodiesel	28
2.2.6.1	Relación molar aceite-alcohol	28
2.2.6.2	Temperatura (T)	29
2.2.6.3	Tiempo de reacción	29
2.2.6.4	Ácidos grasos libres (AGL)	29
2.2.6.5	Humedad	30
2.2.6.6	Dosis de catalizador	30
2.2.6.7	Tipo de alcohol	31
2.2.7	Caracterización de los parámetros esenciales para el biodiesel	31
2.2.8	Beneficios de la producción de biodiesel	37
2.3	Marco conceptual	38
2.4	Marco contextual	40
CAPÍTULO 3		42
3.1	Metodología de la investigación	42
3.1.1	Nivel de la investigación	42
3.2	Materiales, reactivos y equipos	42
3.2.1	Materiales	42

3.2.2 Reactivos	43
3.2.3 Equipos.....	43
3.3 Procedimiento	43
3.3.1 Recolección de la materia prima	44
3.3.2 Pretratamiento de la materia prima	45
3.3.3 Caracterización de la materia prima	51
3.3.4 Reacción de esterificación y transesterificación	54
3.3.5 Separación del biodiesel	57
3.3.6 Tratamiento del biodiesel.....	58
3.3.7 Almacenamiento.	61
CAPÍTULO 4	62
4.1 Resultados.....	62
4.2 Análisis de resultados.....	63
4.3 Conclusiones	73
4.4 Recomendaciones.....	74
4.5 Abreviaturas	75
<u>4.6 Bibliografía.....</u>	<u>76</u>
4.7 Anexos	81
4.7.1 Anexo 1: Análisis de la muestra de biodiesel	81
4.7.2 Anexo 2: Análisis de acidez libre de la muestra de Avu.....	82
4.7.3 Anexo C: Destilación ASTM.....	83
4.7.4 Anexo 4: Equipo de trabajo	84
4.7.5 Anexo 5: Picnómetro utilizado para medir la densidad del aceite	85
4.7.6 Anexo 6: Aireador utilizado para el sistema de limpieza por aireación	85

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Reacción de esterificación	19
Ilustración 2: Transesterificación en medio básico.....	20
Ilustración 3: Mecanismo de reacción de la transesterificación alcalina del etanoato de etilo	21
Ilustración 4: Transesterificación típica de un triglicérido con metanol para la producción de ésteres alquílicos (OROZCO AVILA, 2015).....	21
Ilustración 4: Transesterificación típica de un triglicérido con metanol para la producción de ésteres alquílicos	22
Ilustración 5: Mecanismos de transesterificación de triglicéridos.....	22
Ilustración 6: Desarrollo del mercado mundial de biodiésel.....	27
Ilustración 8:Proceso de producción de biodiesel a base de AVU	40
Ilustración 9: Ubicación del laboratorio Prosertec.....	41

Ilustración 10: Recolección de aceites vegetales usados en la avenida Jose Roura	44
Ilustración 11: Sistema de telas empleadas para el sistema de filtrado.....	46
Ilustración 12: Adición de aceite vegetal usado al sistema de filtrado	46
Ilustración 13: Residuos retenidos en el sistema de filtrado	46
Ilustración 14: Adición de agua destilada al Avu	47
Ilustración 15: Calentamiento a la mezcla de agua-Avu	48
Ilustración 16: Decantación de Avu-agua destilada.....	48
Ilustración 17: Proceso de secado del Avu en la manta de calentamiento	50
Ilustración 18: Adición de H₂SO₄ para la reacción de transesterificación.....	54
Ilustración 19: Agitación de la solución de metóxido de sodio para la reacción de transesterificación	55
Ilustración 20: Adición y agitación del metóxido de sodio	56
Ilustración 21: Reposo de la muestra para la separación de la fase de biodiesel y glicerina	56
Ilustración 22: Decantación de la glicerina y el biodiésel	57
Ilustración 23: Recolección del biodiésel	58
Ilustración 24: Recolección de la glicerina	58
Ilustración 25:Proceso de lavado por aireación del biodiésel.....	59
Ilustración 26:Secado del biodiésel	60
Ilustración 27:Filtración del biodiésel	61
Ilustración 28:Almacenamiento del biodiesel.....	61
Ilustración 29: Resultado de la temperatura de destilación al 90% del recuperado	64
Ilustración 30: Análisis de resultado de la densidad al 15 °C.....	65
Ilustración 31: Análisis de resultados de la viscosidad cinemática a 40 °C	66
Ilustración 32: Análisis de resultados de corrosión a la lámina de cobre.....	67
Ilustración 33: Análisis de resultados de punto de inflamación.....	68
Ilustración 34: Análisis de resultados de cenizas sulfatadas	69
Ilustración 35: Análisis de resultados del contenido de agua	70
Ilustración 36: Análisis de resultados del número de cetano	71
Ilustración 37: Análisis de resultados del poder calorífico.....	72

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables	10
Tabla 2: Ejemplos de la clasificación de biocombustible en función de su estado físico	15
Tabla 3: Propiedades fisicoquímicas de varios tipos de materia prima	17
Tabla 4: Propiedades del Biodiesel vs. Diésel del petróleo	27
Tabla 5: Propiedades fisicoquímicas de biodiesel en diferentes países.....	28
Tabla 6: Especificaciones de la norma europea EN 14214:2013 V2 para biodiesel.....	31
Tabla 7: Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2482:2009 para biodiésel	33
Tabla 8: Listado de normativas a determinar en la presente investigación	34
Tabla 9: Cantidad de aceite recolectado en los locales comerciales de la Av. José Roura ..	44
Tabla 10: Proceso de filtración de la muestra realizada en dos partes	47
Tabla 11: Condiciones de operación del proceso de desgomado.....	49
Tabla 12: Proceso de desgomado a 1.2 L de Avu	49
Tabla 13: Datos de contenido de humedad de la muestra de Avu tratada.....	52
Tabla 14: Datos para el cálculo de la densidad del aceite.....	53
Tabla 15: Condiciones de operación reacción de esterificación	55
Tabla 16: Condiciones de operación para la reacción de transesterificación.	57

Tabla 17: Lavado por aireación.	59
Tabla 18: Resultados de los análisis del biodiesel (Laboratorio de Petróleos FIQ-UG).....	62
Tabla 19: Comparación de resultados obtenidos con la norma INEN 2482:2009.	63
Tabla 20: Abreviaturas utilizadas en la investigación.	75
Tabla 21: Datos de la destilación ASTM para la gráfica de la curva.	83

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis de la muestra de biodiesel	81
Anexo 2: Análisis de acidez libre de la muestra de Avu	82
Anexo 3: Destilación ASTM	84
Anexo 4: Equipo de trabajo.....	84
Anexo 5: Picnómetro utilizado para medir la densidad del aceite	85
Anexo 6: Aireador utilizado para el sistema de limpieza por aireación	85

INTRODUCCION

Uno de los grandes problemas de la sociedad es la contaminación por aceites vegetales usados que son desechados al ambiente, entre 2018-2019 se estima que se usó 197.33 millones de toneladas métricas ($\frac{Tn}{m^3}$) de aceites vegetales (A.PEREZ, 2019). Por este motivo surge la necesidad de realizar este trabajo de titulación que tendrá como fin la transformación de los aceites vegetales usados (AVU) en biodiesel que cumpla los estándares de calidad requeridos en el Ecuador y la vez contribuir la preservación de nuestro medio de hábitat.

Como solución a la elevada cantidad de aceites consumidos y como alternativa posible al agotamiento de los combustibles fósiles se presenta el biodiesel que es un producto renovable, líquido y homogéneo compuesto de esteres alquílicos de ácidos grasos que se puede usar como posible sustituto de los combustibles convencionales ya que poseen facilidad de inflamación y presentan valores similares a los derivados del petróleo (AGUILAR GARNICA, 2015).

Para lograr la conversión de aceites vegetales utilizados se empleará la técnica de esterificación y transesterificación combinadas donde se espera obtener un alto rendimiento y cumplir las propiedades fisicoquímicas necesarias para determinar que es un producto de calidad para las cuales se emplearan cuatro etapas para cumplir con estos parámetros. La primera etapa es la recolección de los aceites vegetales en locales de comida rápida, La segunda etapa es la aplicación de un pretratamiento físico al aceite recolectado para mejorar sus propiedades físicas, la tercera etapa consiste en la aplicación del método de esterificación y transesterificación combinados con el uso de CH_3ONa como impulsor en la reacción para su conversión en biodiesel y la cuarta etapa es la

aplicación de un postratamiento físico al biodiesel obtenido para mejorar sus propiedades fisicoquímicas.

Con este proyecto de investigación se espera beneficiar y aportar a la sociedad de forma social, económica y ambiental, en las cuales no se verán perjudicada el desarrollo de aptitudes y cualidades de futuras generaciones, sirviendo como base los resultados obtenidos en la investigación en el que se fomentara referencias e incentivara para una aplicación a nivel industrial.

CAPÍTULO 1

1. TEMA

APROVECHAMIENTO DE ACEITES VEGETALES DESECHADOS DE LA AVENIDA JOSÉ ROURA PARA OBTENER BIODIESEL EMPLEANDO TÉCNICAS DE ESTERIFICACIÓN Y TRANSESTERIFICACIÓN.

1.1 Planteamiento del problema

En el mundo el consumo de aceites de origen vegetal ha ido creciendo de forma descontrolada por lo que una publicación estadística de STATISTA afirma que entre el año 2018 y 2019 el consumo llegó a 197.33 millones de $\left(\frac{Tn}{m^3}\right)$ (A.PEREZ, 2019), de esta forma surge el origen del problema de la investigación debido al alto índice de contaminación en aguas y suelos que se presentan por los desechos de aceites vegetales utilizados en establecimientos de comida en Guayaquil en la avenida Jose María Roura

Uno de los combustibles mayormente producidos en la industria petroquímica es el diésel, el cual es utilizado como fuente de poder que ayuda a desplazar vehículos con gran capacidad, rendimiento y vida útil. El biodiésel es un sustituto del diésel del petróleo, que se obtiene en la transesterificación de triglicéridos con alcohol empleando un catalizador. La producción y uso de biodiésel en comparación al diésel tradicional conlleva ventajas respecto a sus aspectos técnicos, como la disponibilidad de materias primas de bajo costo obtenidas de cultivos no comestibles, productos alimenticios, grasas animales, entre otros (BELTRAN MORENO & ALVARADO ROMERO, 2020).

Se puede considerar algunos aspectos entre ellos el económico, el ecológico, el de salud y el social los cuales se ven directamente relacionados con el trabajo a realizar, ya

que por el aspecto económico se puede mencionar que dependerá de los equipos y materiales a emplear, el aspecto ecológico también se ve beneficiado ya que al ser un producto vegetal ayudaría a la reducción de carbonos lo que también ayuda al aspecto de salud humanitaria (BELTRAN MORENO & ALVARADO ROMERO, 2020).

En Latinoamérica, uno de los países que genera y desecha grandes porcentajes de aceites y grasas por los establecimientos de comida en México. La descarga de estos aceites y grasas al sistema de alcantarillado ocasiona alta contaminación de aguas y suelo. Al año la ciudad de Chiapas produce 174 toneladas de aceites y grasas procedentes de restaurantes formales en un 41 % y 24 % de comida rápida (PASCACIO, QUINTERO, & SANCHEZ, 2016).

En Guayaquil existe un gran número de restaurantes y en su mayoría son establecimientos de comida, quienes utilizan una gran cantidad de aceites vegetales y animales, al reutilizarlo afectan la salud de los clientes, los cuales son desechados fácilmente siendo esto un grave problema medioambiental.

En nuestro medio la energía consumida por automóviles proviene de recursos no renovables causando contaminación ambiental, al quemarlos se generan gases contaminantes, tales como CO₂, SO₂, NO_x. En la actualidad se busca nuevas alternativas de combustibles amigables con el ambiente que, al ser comparados con los combustibles fósiles, presentan grandes ventajas.

1.2 Formulación y sistematización del problema

1.2.1 Formulación del problema

¿Se podrá aprovechar los aceites vegetales usados de los negocios alimenticios ubicados en la avenida José Roura para obtener biodiesel de calidad mediante la técnica de esterificación y transesterificación?

1.2.2 Sistematización del problema

- ¿Se puede aprovechar aceites vegetales usados en la elaboración de biodiesel?
- ¿Es favorable la técnica de esterificación y transesterificación en la obtención de biodiesel?
- ¿Cuáles son los indicadores para verificar la calidad del biodiesel?

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación teórica

Ecuador al ser un país petrolero ha retrasado sus investigaciones en medios alternativos para la producción de combustibles ecológicos o usos de productos reciclados para la obtención de este (PAREDES & VIDAL, 2017).

Según el ministerio de electricidad y energías renovables del Ecuador prevé que para el 2021 el mayor porcentaje de generación de energía sea entregada por las hidroeléctricas y en un mínimo pero despreciable 2% es el que sea otorgado por energías renovables alternativas, por lo que es importante incentivar y dar a conocer de esta nueva tendencia de las energías renovables a estudiantes y población en general para evitar la dependencia así como también para preservar y salvaguardar el consumo de recursos vitales para el desarrollo de las personas que comprometan y afecten a generaciones futuras, pudiendo o haciendo el intento de crecimiento de ese porcentaje.

En este trabajo de investigación se pretende obtener biodiesel a partir de AVU como materia prima aplicando técnicas de esterificación y transesterificación, de esta forma tratar de mejorar el medio ambiente motivando a dejar atrás el uso de combustibles fósiles, comparando las características fisicoquímicas del biodiesel con las características del diésel de origen fósil.

El biodiesel posee una cantidad de energía igual al diésel de petróleo, pero siendo un combustible limpio a los comúnmente utilizados y puede ser utilizado por medios de transporte a diésel y reduciendo las emisiones a la atmosfera como CO, SO₂ e hidrocarburos aromáticos (CARO-BECERRA, VIZCAÍNO-RODRÍGUEZ, LUJAN-GODÍNEZ, & RUIZ-MORALES, 2016).

Dado esto surge el interés en el uso de AVU que son recolectados de locales comerciales expendedores de comida en la avenida José Roura en la Ciudad de Guayaquil, ya que estos están formados químicamente por triglicéridos, cada molécula de triglicérido son tres moléculas de ácidos grasos con una molécula de glicerina, para producir biodiesel se deben dividir los ácidos grasos de la glicerina usando hidróxido de sodio que actúa como catalizador y al unir con una molécula de metanol o etanol se produce la reacción de transesterificación, pasado el tiempo de reposo se segregan el biodiesel derivado del glicerol por un proceso de decantación (CARO-BECERRA, VIZCAÍNO-RODRÍGUEZ, LUJAN-GODÍNEZ, & RUIZ-MORALES, 2016).

1.3.2 Justificación metodológica

Para alcanzar los objetivos de investigación, se acude al empleo de técnicas esterificación y transesterificación tanto por catálisis acida como alcalina en la que ambos procesos tecnológicos se pueden combinar o mezclar para así obtener un mejor performance del biodiesel a partir de AVU.

Antes de emplear las técnicas de esterificación y transesterificación se debe realizar un adecuamiento y una caracterización del aceite vegetal usado, uno de las operaciones adecuadas a realizar es el filtrado a temperatura ambiente ya que esta reducirá las trazas de partículas contaminantes que se encuentran presente en el aceite y a su vez se le realiza un lavado con agua destilada a este proceso se lo llama desgomado el cual permite eliminar impurezas y posterior a esto se realiza un secado a condiciones tiempo y temperatura determinada (15 min, 90 a 120°C), logrando así llegar a la realización de la prueba de acidez la cual si es 1 nos permitirá directamente realizar la reacción de transesterificación sin necesidad de realizar la reacción de esterificación (Aiello-Mazzarri, y otros, 2019).

En la transesterificación se definen las condiciones adecuadas y propicias para la obtención del biodiesel, como la velocidad de agitación, tiempo de reacción, temperatura. El rendimiento del proceso se calcula haciendo la relación de la cantidad de biodiesel obtenido sobre la cantidad de aceite utilizado más el CH_3ONa .

1.3.3 Justificación practica

Según los objetivos de este trabajo de investigación, los resultados obtenidos permitirán hallar soluciones efectivas a problemas ambientales, el uso de estos aceites vegetales usados como materia prima para la realización de biodiesel es bastante viable ya que se consigue de forma gratuita en los establecimientos de comidas rápidas o a precio muy bajos por considerarse un desecho.

Con tales resultados habrá la posibilidad de proponer y adoptar nuevos cambios en la tecnología en la producción de un biodiesel, con características similares que el de un

combustible fósil, los cuales pueden ser sometidos a tratamientos previos que acondicionen y mejoren sus características físicas para el proceso de esta alternativa.

El aprovechamiento de los aceites vegetales usados es de importancia como aporte al medio ambiente ya que mediante la aplicación de las metodologías empleadas como la esterificación y transesterificación darán lugar a un producto llamado biodiesel el mismo que se empleara en diversos equipos y en el parque automotriz de motores de combustión interna, que por la característica del combustible reducirá las emisiones de CO₂ en el ambiente, además la reducción de la emisión de aldehídos del 60 a 70% así como también de compuestos aromáticos en 40% (Marcos & Marcos, 2008).

Con los resultados que se obtengan en este trabajo de investigación se propone impulsar el incremento del biodiesel como biocombustibles en el país.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Obtener biodiesel mediante la aplicación de técnica de esterificación y transesterificación para el aprovechamiento de los aceites desechados de los comercios alimenticios de la avenida José Roura Oxandraberro (Sauces 7).

1.4.2 Objetivo específico

- Aplicar el método de esterificación y transesterificación en aceites vegetales usados para obtener biodiesel.
- Separar el producto obtenido mediante decantación, lavado por aireación y secado, para la purificación de este y su conservación en biodiesel.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas mediante la norma INEN 2482:2099 sobre biodiesel para la determinación de la calidad del producto.

- Determinar el poder calórico del biodiesel obtenido mediante la norma ASTM D-240-17 para su comparación con trabajos de investigación referentes al tema.
- Valorar la técnica de esterificación y transesterificación para determinar la eficiencia en la producción de biodiesel

1.5 Delimitación de la investigación

1.5.1 Hipótesis

La aplicación de la técnica de esterificación y transesterificación para el aprovechamiento de aceites vegetales usados es viable para obtener alto rendimiento para la calidad del biodiesel.

1.6 Variable del proyecto

1.6.1 Variable dependiente

Obtención de biodiesel.

1.6.2 Variable independiente

Aplicación de las técnicas de esterificación y transesterificación

1.7 Operacionalización de las variables

Tabla 1: Operacionalización de variables

VARIABLES		CONCEPTUALIZACION	TEMAS Y SUBTEMAS
D E P E N D I E N T E	OBTENCIÓN DEL BIODIESEL	Proceso mediante el cual se da la transformación de aceites vegetales en metilesteres o biodiesel.	<p>-BIOCOMBUSTIBLES</p> <p>Tipos de biocombustibles</p> <ul style="list-style-type: none"> -Según su estado físico -Según su origen <p>-MATERIA PRIMA: ACEITE VEGETAL</p> <p>USADO</p> <ul style="list-style-type: none"> -Importancia del pretratamiento de los aceites vegetales usados para la producción de biodiesel -Caracterización del aceite <p>- BIODIESEL</p> <p>Aplicaciones del biodiesel</p> <ul style="list-style-type: none"> -Producción del biodiesel a nivel mundial -Propiedades fisicoquímicas del biodiesel <p>-EFECTO DE LOS PARAMETROS EN LA PRODUCCION DE BIODIESEL</p> <ul style="list-style-type: none"> -Relación molar aceite-alcohol -Temperatura(T) -Tiempo de reacción -Ácidos grasos libres (AGL) -Humedad -Dosis de catalizador -Tipo de alcohol <p>- CARACTERIZACION DE LOS PARAMETROS ESENCIALES PARA EL BIODIESEL</p> <p>- BENEFICIOS DE LA PRODUCCION DE BIODIESEL</p>

<p>I N D E P E N D I E N T E</p>	<p>Esterificación Y Transesterificación</p>	<p>La esterificación es un proceso por el cual se produce un ester y la transesterificación es el intercambio de un grupo orgánico en un ester con OH en presencia de un acelerador para la reacción.</p>	<p>-----</p>
<p>Fuente: Autores</p>			

CAPÍTULO 2

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 ANTECEDENTES

Los biocombustibles se usan desde la época en la cual el ser humano descubrió como hacer el fuego y el uso de madera para la elaboración de alimentos y calentarse, durante el siglo XVIII en Europa y América utilizaban grasas y aceites vegetales entre estos el más común el aceite de cetáceo para la iluminación hasta 1860 donde el keroseno se impuso para el uso de iluminación (RAMOS, DIAZ, & VILLAR, 2016).

En comienzos del siglo XX, Diesel inventor del motor a combustión estableció que funcionaba con aceite de maní, pero debido a la disponibilidad del petróleo se convirtió en el combustible predominante debido a su costo de producción y buenos resultados obtenidos en los motores a diésel (RAMOS, DIAZ, & VILLAR, 2016).

Los Biocombustibles en 1970 retomaron importancia dada la crisis en el mercado petrolero y la preocupación en el mundo con respecto al cambio climático, la reducción de los recursos fósiles y la sustentabilidad energética volvieron a impulsar el desarrollo de biocombustibles que se dividieron dependiendo del origen de su materia prima (RAMOS, DIAZ, & VILLAR, 2016).

El origen del biodiesel que es el producto que se obtiene debido a la reacción de transesterificación triglicéridos data de 1853 donde E. Duffy y J. Patrick, por primera vez la transesterificación buscando una forma de elaborar glicerina usando como materia prima aceites vegetales para obtener detergente (Abdalla & Oshaik, 2013).

Pero no es hasta 1937 que aparece el termino biodiesel en los registros en la patente 422.877 donde se muestra el procedimiento por G. Chavanne para la conversión de aceites

vegetales para usarlos como carburante mediante una reacción de transesterificación usando etanol (Knothe, Gerpen, & Krahl, 2005).

Leung afirma que existen cuatro formas de obtener biodiesel (Leung, Wu, & Leung, 2010). La primera forma es el uso directo y mezcla del aceite con el Diesel en varias proporciones fue realizado por primera vez en Brasil en 1980 empleado una mezcla de 10% aceite y 90% diesel en motores de precombustión sin necesidad de modificaciones (Ma & Hanna, 1999). El segundo método consiste en micro emulsiones de metanol, etanol y 1-butanol con el fin de bajar la viscosidad del aceite utilizado (ZIEJEWSKI, KAUFMAN, SCHWAB, & PRYDE, 1984). El tercer método consiste en la pirolisis del aceite que es el método donde una sustancia se convierte en otra bajo la acción de calor y un catalizador (SCHWABO, DYKSTRA, SELKE, SORENSON, & PRYDE, 1988). El ultimo método de obtención de biodiesel es la transesterificación o masa conocida como alcoholisis es el proceso más utilizado en el mundo y el que presenta los mejores resultados en la elaboración de biodiesel (FREEDMAN, PRYDE, & MOUNTS, 1984).

Trabajos de investigación previos como en Paredes y Vidal en 2017 reportan en la obtención de biodiesel una densidad de $859.62 \text{Kg}/\text{m}^3$ y estiman el PCI del biodiesel en $40.05 \text{ MJ}/\text{Kg}$ y el PCI del diésel de petróleo en $41.860 \text{ MJ}/\text{Kg}$ (PAREDES & VIDAL, 2017). En 2014 Goñi y Rojas definieron el PCI del biodiesel en $37.53 \text{ MJ}/\text{Kg}$ (GOÑI DELION & ROJAS DELGADO, 2014). En 2015 Torres Aldaco obtuvo un PCI de $39.157 \text{ MJ}/\text{kg}$ (TORRES ALDACO, y otros, 2015). Medina, Ospino y Tejada en 2015 reportaron densidad de $910.9 \text{Kg}/\text{m}^3$, viscosidad cinemática de $20.656 \text{mm}^2/\text{s}$, un bajo contenido de azufre en lamina de cobre y un °API de 23.689, donde se aprecia altos valores de densidad debido a que no se aplico un pretratamiento al biodiesel (Medina Villadiego, Ospino Roa, & Tejada Benítez, 2015). Mafla, Benavides, Hernandez y Ramirez en 2018 obtuvieron resultados favorables como viscosidad cinemática de

4.21mm²/s, cenizas sulfatadas de 0.0080 % (m/m), punto de inflamacion de 72.1 °C, corrosión a la lámina de cobre 1b, índice de Cetano calculado de 51 y temperatura de destilación de 350.7 °C (MAFLA, BENAVIDES, ERIK, & RAMIREZ, 2018).

Actualmente los trabajos investigativos sobre biodiesel buscan la manera de impulsar el desarrollo sustentable y utilización de este en vez del diésel fósil para dejar la dependencia los mismos y ayudar a mantener la naturaleza en buen estado.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Biocombustible

Los biocombustibles son aquellos combustibles o fuente de energía que provienen de biomasa, esto quiere decir toda forma orgánica que sea producida en procesos biológicos, por lo que se menciona que la biomasa como tal tiene origen vegetal, así como también animal y se puede decir que biocombustible son los biocarburantes generadores de energía que funcionan como base celulósica para su posterior obtención ya sea de cultivos o plantas silvestres (Salinas & Gazca, 2009).

2.2.1.1 Tipos de biocombustible

Los biocombustibles se pueden clasificar según dos criterios claros y fáciles de diferenciar que son según su estado físico y según su función del origen.

2.2.1.2 Según su estado físico

- Biocombustible Solido

Según Romero en 2010 afirma que los biocombustibles sólidos son compuestos de materia orgánica susceptibles a utilizarse en aplicaciones energéticas (térmica y eléctrica), éstos son obtenidos por métodos físicos como reducción de tamaño y

trituration, estos biocombustibles solidos a base de residuos forestales o agroindustriales (Romero, 2010).

- **Biocombustible Liquido**

Este campo comprende por lo general lo que son alcoholes, éteres, esteres que son provenientes de biomasa o que son producidos por fragmentación de una mezcla de compuestos entre los que tenemos el bioetanol y el biodiesel (Stratta, 2000).

- **Biocombustible Gaseoso:**

Este tipo de biocombustible es generado por los desechos ya sean vegetal o animal que son depositados en vertederos o rellenos sanitarios en los cuales se aprovecha la fermentación anaeróbica de dichos desechos lo que produce el denominado gas metano el cual es un biogás que sirve como materia prima para en un posterior proceso ser transformada en electricidad (Marcos & Marcos, 2008). En la tabla 2 se presentan ejemplos de la clasificación de los biocombustibles en función de su estado físico.

Tabla 2: Ejemplos de la clasificación de biocombustible en función de su estado físico

ASPECTO FISICO	BIOCOMBUSTIBLE
Sólidos	Leñas y astillas
	Paja de cereales y biomasa de cardo
	Biocombustibles sólidos densificados (pellets y briquetas)
	Carbón vegetal
Líquidos	Líquido piroleñoso
	Líquido de hidrolisis
	Bioetanol y bioalcoholes
	Aceite vegetal
	Metilèster
Gases	Biogás de origen muy diverso

Fuente: Autores

2.2.1.3 Según su origen

Los biocombustibles según su origen se clasifican en varios aspectos los cuales serán nombrados y descriptos para una mejor comprensión de este, se puede enumerar los siguientes.

- **Natural:**

Se define como la biomasa que es producida en la naturaleza sin intervención del ser humano el 40% de la biomasa natural proviene de los océanos (SALINAS & GASCA, 2009).

- **Residual**

Se define como lo que puede extraerse de actividades agrícolas y forestales, producidas por el ser humano (SALINAS & GASCA, 2009).

- **Cultivo energético**

Se conoce como cultivo energético a todo cultivo agrícola cuya finalidad sea producir biomasa para producir biocombustibles (Salinas & Gazca, 2009).

2.2.2 Materia Prima: Aceite vegetal usado

El aceite vegetal usado se obtuvo en los locales proveedores de comida en la avenida José Roura Oxandraberro en la ciudad de Guayaquil. Se entiende por aceite vegetal usado a todo aceite que ha sido utilizado en un proceso de fritura donde se van a ver alteradas sus propiedades fisicoquímicas como se observa en la siguiente tabla se evidencian las propiedades fisicoquímicas de varios tipos de materia prima

Tabla 3: Propiedades fisicoquímicas de varios tipos de materia prima

Materia Prima	Viscosidad Cinemática (a 40°C)	Densidad g/cm ³	Numero de Saponificación	Número de Cetano	Valor de Calentamiento MJ/kg	Tem de Reacción (°C)	Periodo de Transesterificación (min)	Relación Molecular de aceite/metanol	Cant. de Catalizador	Rendimiento (%)
Soya	4.08	0.885	201	52	40	65	90	1:12	CaO 8 (2.03% H ₂ O en Metanol)	>95%
Palma	4.42	0.86-0.9	207	62	34	Ambiente	584	1:11	K/ZnO 5.52	89.2
Maíz	3.39	0.88-0.89	202	58-59	45	80	60	1:9	KOH 1.5	97.9
Aceite Reutilizado	4	-	-	-	-	60	20	1:7	NaOH 1.1	94.6
Fuente: (PAREDES & VIDAL, 2017).										

2.2.2.1 Importancia del pretratamiento de los aceites vegetales usados.

El pretratamiento en los aceites vegetales usados es imprescindible dado a que este tiende a sufrir contaminación por partículas separadas durante la fritura, por este motivo se debe proceder inicialmente con el filtrado del aceite vegetal usado, como forma de disminución de residuos encontrados en los aceites, ya representan un riesgo en la producción de biodiesel (Zanchett Groth , Bellé, Zanchett Groth, Flores Roza-Gomez, & Cericato, 2016).

La importancia de acondicionar el aceite vegetal usado en la obtención de biodiesel se debe a que este proceso servirá como potencial indicador de la calidad de del biodiesel, a su vez asegura que las condiciones de operación en procesos futuros como el de la

reacción de transesterificación se vea un reaccionante claro y limpio que permita la distinción por color para su decantación.

Otro de los impactos positivos que conlleva el pretratamiento de los aceites, es que asegura que la caracterización de este se de en óptimas condiciones para así dar un análisis apropiado que nos indique, oriente y sea predominante en la toma de decisiones en la elaboración o rechazo del AVU para su posterior conversión en biodiesel.

2.2.2.2 Caracterización del aceite

➤ Índice de acidez

Se conoce como el número de miligramos de hidróxido de potasio necesarios para poder neutralizar a los ácidos grasos libres (AGL) de 1 gramo de aceite (TORRES-RIVERO, BEN-YOUSEFF, ALCO CER-T, & DE LA ROSA-G, 2017).

El parámetro de índice de acidez en la caracterización del aceite tiene un aporte e influencia en la metodología que se vaya a utilizar ya que esta nos indicará el siguiente paso para afrontar el consecutivo proceso, si es esterificación acida o se sigue directamente a la transesterificación alcalina dependiendo del porcentaje a la que la muestra se encuentre, si presenta un porcentaje mayor o igual a uno, se debería realizar la esterificación ácida (ya sea con ácido clorhídrico o con ácido sulfúrico), si se determina un índice de acidez menor a uno se prosigue directamente a la transesterificación alcalina dado que la cantidad de AGL es muy bajo (ALVAREZ, 2013).

Mientras mayor sea el índice de acidez aumenta la posibilidad de corrosión y confirma la existencia de agua lo que será perjudicial para la transformación de esta materia en la producción del biodiesel, es decir reduce la capacidad de conversión.

➤ Densidad

Se define como la correspondencia de la masa en un volumen específico de una sustancia determinada en condiciones de temperatura y presión específicas, su unidad es (g/ml o Kg/l) el material utilizado para calcular la densidad es el picnómetro.

➤ Contenido de humedad

También llamada humedad relativa la cual mide el volumen de agua dispuesta en el total de masa de una muestra (VELIZ BAQUERIZO , 2019).

Según (QUISPE, 2019) la cantidad de humedad es mucho más influyente que la concentración de contenido de AGL ya que esta es propicia para la saponificación de los ésteres, razón por la cual el valor de humedad debe ser menor que el 0,06%.

2.2.3 Esterificación

La técnica de esterificación es método más usado en la obtención de ésteres se da por la reacción de un alcohol con un ácido carboxílico también se la conoce esterificación de Fisher, en la ilustración 1 se observa la reacción de esterificación (Mazo, Galeano, Restrepo, & Rios, 2007).

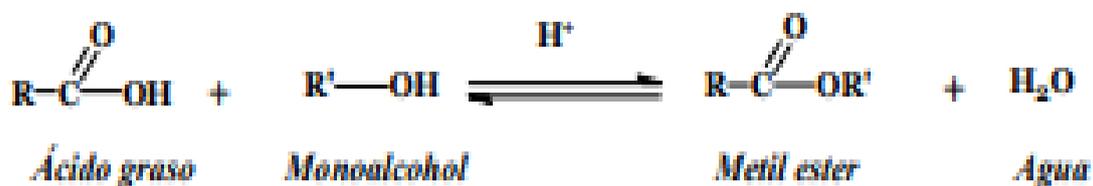


Ilustración 1: Reacción de esterificación

Fuente: (Mazo, Galeano, Restrepo, & Rios, 2007)

2.2.4 Transesterificación

La transesterificación se define como una reacción reversible entre triglicéridos y un alcohol para obtener biodiesel como producto resultante, que es compuesto por moléculas de alquil-éster, también en la reacción se genera un subproducto que es el glicerol (TERAN & POSADA, 2019).

La reacción de transesterificación de un éster alquil con un OH en medio básico se divide en dos etapas: la primera etapa ocurre la agregación nucleofílica, y la segunda etapa se elimina el alcohol producido (OROZCO AVILA, 2015).

En la ilustración 2 se observa la reacción de transesterificación en medio básico donde el etanoato de metilo reacciona con CH₃OH y CH₃ONa como catalizador, para producir C₄H₈O₂ y CH₃OH (OROZCO AVILA, 2015).

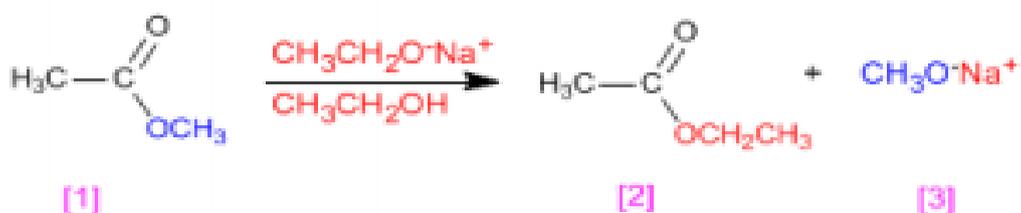
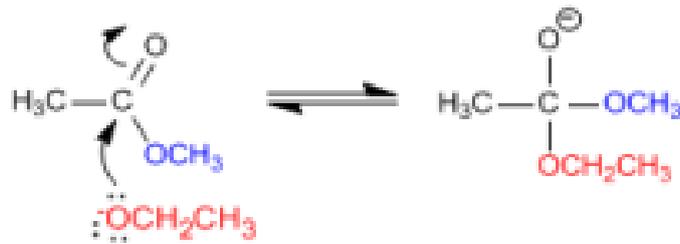


Ilustración 2: Transesterificación en medio básico

Fuente: (OROZCO AVILA, 2015)

En la ilustración 3 se presencia la adición del grupo metoxilo del CH₃ONa al grupo carbonilo del C₄H₈O₂ mediante la agregación nucleofílica, en la etapa dos se elimina el grupo metoxilo obteniéndose CH₃OH (OROZCO AVILA, 2015).

Etapa 1. Adición nucleófila del grupo metoxi al carbonilo



Etapa 2. Eliminación de metanol

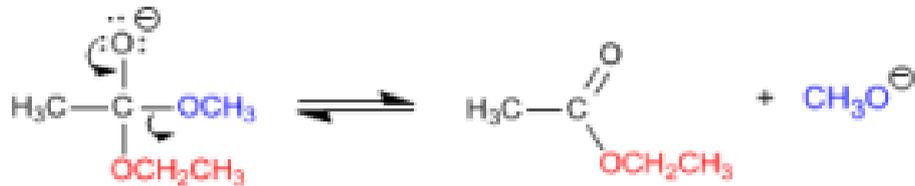


Ilustración 3: Mecanismo de reacción de la transesterificación alcalina del etanoato de etilo

Fuente: (OROZCO AVILA, 2015)

La reacción de transesterificación de ácidos grasos en la formación de biodiesel ocurren comúnmente series de respuestas continuas y que pueden volver a su origen como se o, el método se da por reacciones continuas de agregación nucleofílica de una molécula de un grupo alcoxi en observa en la ilustración 4 donde se da una reacción de transesterifacion típica entre metanol y triglicérido que ayuda a la producción de esteres alquílicos , donde los radicales detallan a los grupos alquílicos de cadena larga, de manera igual a los ésteres alquílicos comunes todas las posiciones del triacilglicerol (OROZCO AVILA, 2015).

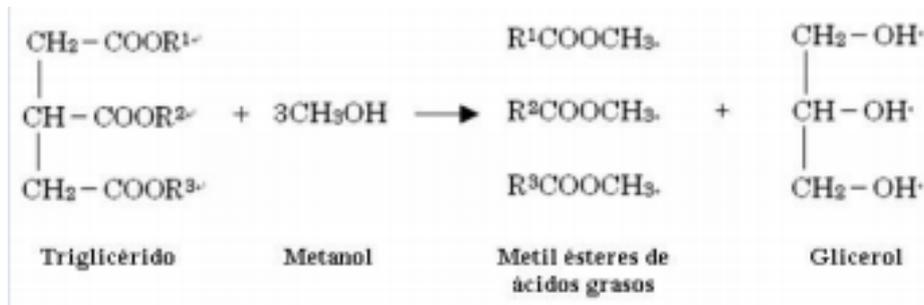


Ilustración 5: Transesterificación típica de un triglicérido con metanol para la producción de ésteres alquílicos

Fuente: (OROZCO AVILA, 2015).

De esta forma el triglicérido se convierte en un diglicérido, luego en monoglicérido y finalmente se da la transformación de una partícula de glicerol y los monoalquil ésteres en grupos alquílicos grasos que previamente formaban el triglicérido, es por esta razón que a los ésteres alquílicos se los denomina FAAE o FAME cuando se utiliza CH₃OH como catalizador para producir metilesteres como se visualiza en la ilustración 5 (OROZCO AVILA, 2015).

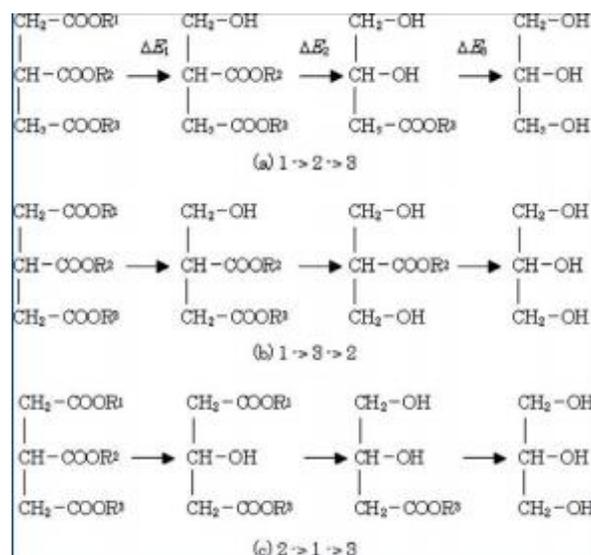


Ilustración 6: Mecanismos de transesterificación de triglicéridos.

Fuente: (OROZCO AVILA, 2015)

Para favorecer el desarrollo de la reacción de transesterificación estequiométricamente se desarrolla con una relación molar de 3 a 1 de OH a triglicéridos (TORRES-RIVERO, BEN-YOUSEFF, ALCOCER-T, & DE LA ROSA-G, 2017).

2.2.5 Biodiesel

Se define como ester monoalquílico a lo que se forma por la reacción de transesterificación de aceites vegetales u otros tipos de grasa con alcoholes de cadena corta (generalmente metanol o etanol) en presencia de un álcali o en medio ácido, normalmente a temperaturas de reacción cercanas al cambio de fase de líquido a gaseoso del OH (Laborde, Gonzalez, Ponce, Pagano, & Gely, 2017).

Existen varios métodos para obtener biodiésel donde las más importantes son uso directo y mezcla, microemulsiones, pirólisis y transesterificación donde el mejor método a utilizar es la transesterificación ya que se obtiene un alto número de cetano, emulsiones bajas y alta eficiencia de combustión y menos costoso que otros métodos (Leung, Wu, & Leung, 2010).

Según (Eevera, Rajendran, & Saradha, 2009) los principales contaminantes al ambiente por la combustión del residuo del petróleo son los óxidos nitrosos (NO_x), el monóxido de carbono (CO), el material particulado (PM) e hidrocarburo (HC) pero también se considera el dióxido de azufre en esta emisión debido que es de los grandes contaminantes que presenta el diésel de petróleo, todas estas emisiones son reducidas a la atmósfera si el biodiesel es empleado como aditivo es decir utilizado en la fusión con combustible de petróleo para la combustión de motores internos. Al ser aprovechado como aditivo toma un nombre específico el cual depende de la concentración a la que este el producto de origen vegetal (B5%, B20%, B100%) siendo el B100% el denominado

biodiesel puro, otra destacada característica de esta mezcla es en el ámbito tecnológico del sector automotriz, ya que este no sufrirá cambios en sus características.

Según (Knothe, Gerpen, & Krahl, 2005) las reducciones de CO, PM, HC al usar el B20 son del 11%, 10,1% y 21,1% respectivamente, pero se presentó un aumento del 2% en la emisión de (NO_x) sin embargo esta desventaja como se quiera analizar puede ser controlada y a su vez mitigada mediante el empleo de convertidores catalíticos.

2.2.5.1 Aplicaciones del Biodiesel

- **Lubricación**

Esta aplicación de la lubricación es sin duda una de las más utilizadas ya que tienen una excelente demanda en el mercado del sector automotriz, ya que se realizan limpiezas y lubricación en la máquina, debido que resulta viable económicamente sin afectar la capacidad de funcionamiento de estos motores en presencia del producto ya que permite una menor fricción del motor. Para esto se requiere de combustible fósil para la disminución de azufre debido a que este proporciona la mayor lubricidad del combustible. Con esto se logra normalizar el funcionamiento del motor además que favorece al circuito de alimentación y de la bomba de inyección. (RUIZ, 2018).

- **Limpieza de derrames de óleo y grasas**

Por ser un producto originado lo más ecológico posible este también permite la limpieza de los ramales de crudo. Se ha determinado su función mediante pruebas experimentales las cuales han dado resultado que este material sirve adecuadamente de purificador en superficies de agua contaminadas por crudo, el biodiesel puede ser

aprovechado en la industria como un agente de limpieza para metal y esto es beneficioso ya que no posee efectos tóxicos (RUIZ, 2018).

- **Generación de energía**

La producción de biodiesel en el mundo no es nada nuevo y novedoso, en nuestro país Ecuador no existe un proyecto significativo de gran realce en obtener este producto a partir de aceites usados, lo que actualmente existe son gestores que se encargan de coleccionar los AVU para su posterior exportación, si bien también existen proyectos a partir de los excedentes de la palma africana y de piñón los cuales son utilizados en la empresa pública de electricidad (CELEP EP) para la generación de energía, los que ha tenido grandes resultados ya que su capacidad operativa ha sido cubierta por este biocombustible, sin embargo redujo su potencia eléctrica en un promedio de 1,5 Kwh/gal lo que representa un aproximado de un 12,7% pero su ventaja es la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera (TermoPichincha, 2015).

- **Generador de calor**

La biocalfacción se ha desarrollado en los últimos años, esto daría paso al material desarrollado para su uso en hogares como biocalfactores dándole un reemplazo al uso de gas natural proveniente del combustible fósil que es el más común en esta aplicación (RUIZ, 2018).

- **Cargas electrónicas**

Según estudios de varios científicos de la Universidad de San Luis de Argentina han desarrollado un estudio tecnológico que consiste en la creación de una pila de combustible a base de aceite vegetal usado de cocina y azúcar la cual es capaz de generar electricidad, donde se puede usar esta pila de combustibles en lugar de baterías eléctricas en

computadoras hasta teléfonos móviles. Este proceso de desarrollo podría alcanzar un potencial inmejorable que le colocaría como una alternativa inteligente (RUIZ, 2018).

- **Aceite de calefacción**

Según (RUIZ, 2018) el biodiesel puede ser utilizado para calefacción en calderos caseros y comerciales, se recomienda usar una mezcla de 20% de biodiesel y 80% de aceite para no tener que hacer modificaciones al equipo, para el uso de este se recomienda tener mucho cuidado en el empleo de la primera mezcla ya que los residuos ocasionados por diésel pueden obstruir cañerías, lo que conllevaría a un cambio de filtro.

- **Retira Pinturas y adhesivos**

Según (RUIZ, 2018) este biocombustible tiene la aptitud de ser un importante y mejorado sustituto de los productos químicos que en su mayoría son tóxicos los que tienen la facultad de eliminar partes de pintura y adhesivos.

2.2.5.2 Producción de biodiesel a nivel mundial

Según la organización para la cooperación y el desarrollo económico (OCDE) y la FAO en su estudio de perspectivas agrícolas estima la generación mundial de biodiesel desde 2009 hasta 2026 como se puede percibir en la ilustración 6.

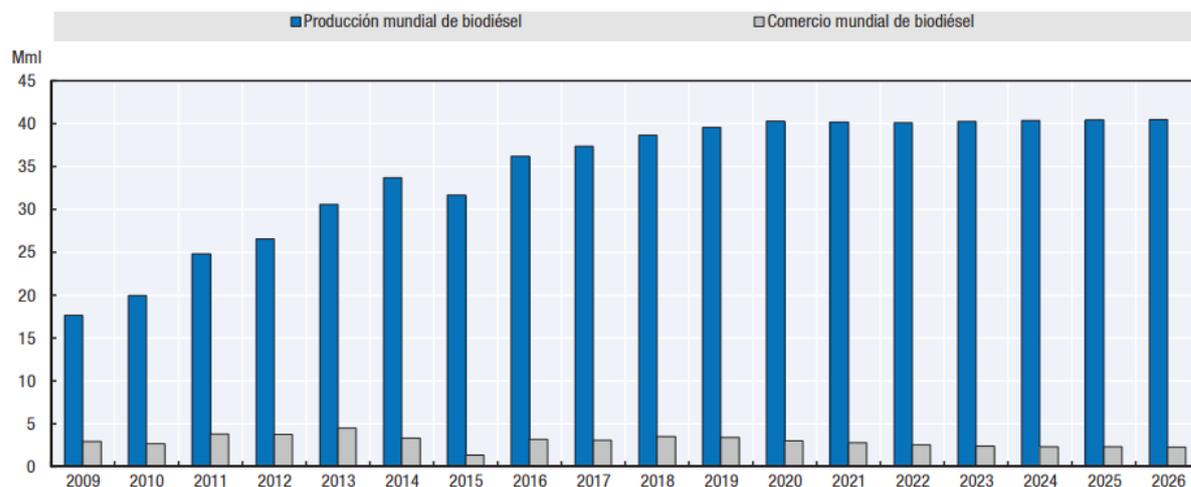


Ilustración 7: Desarrollo del mercado mundial de biodiésel.

Fuente: (OCDE & FAO, 2017).

2.2.5.3 Propiedades fisicoquímicas del biodiesel

En las tablas 4 y 5 se observa las propiedades fisicoquímicas que presenta el biodiesel como también las características similares al diésel de petróleo.

Tabla 4: Propiedades del Biodiesel vs. Diésel del petróleo

Propiedades	Biodiesel	Diésel
Norma del combustible	ASTM D975	ASTM PS121
Composición	C12-C22 FAME	C10-C21 HC
Metilèster	95.5->98% (normas)	-
Agua (ppm peso)	0.05% max.	161
No. Cetano	48-55	40-55
PCI (KJ/Kg)	37,700	41,860
Punto de inflamación (°C)	100-170	60-80
Punto de ebullición (°C)	182-338	188-343

Fuente: (PAREDES & VIDAL, 2017).

Tabla 5: Propiedades fisicoquímicas de biodiesel en diferentes países.

PARAMETROS	ALEMANIA (DIN)	ESTADOS UNIDOS (ASTM)	FRANCIA (PUBLICACION OFICIAL)
Densidad a 15°C g/cm ³	0.875-0.89	-	0.87-0.89
Viscosidad a 40 mm ² /s	3.5-5.0	1.9-6.0	3.5-5.0
Punto de Ignición (°C)	110	130	100
Punto de Vertido (°C)	-	-	-10
Número de Cetano	≥ 49	≥ 47	≥ 49
Número de Neutralización (mg KOH/g)	≤0.5	≤0.8	≤0.5
Fuente: (PAREDES & VIDAL, 2017).			

2.2.6 Efecto de los parámetros en la producción del biodiesel

2.2.6.1 Relación molar aceite-alcohol

El factor de mucho interés y conocimiento es el de la relación molar aceite-alcohol, ya que en esta se tomara en cuenta el rendimiento del producto y el costo que llevaría la elaboración del biodiesel, muchos temas de investigación previos dicen que el exceso de alcohol en la transesterificación no es apropiado, porque se presentaría un exceso de material por reaccionar, lo que causaría el incorrecto rompimiento de los enlaces de los ácidos grasos con los de la glicerina, por lo que se optó una relación molar 6:1 (aceite-alcohol metílico) la cual sirve y es hipotéticamente ideal para un rendimiento alto en formación de esteres metílicos de ácidos grasos (FAME) (Sharma, Singh, & Upadhyay, 2008).

2.2.6.2 Temperatura (T)

La temperatura una variable de operación que es una de las más complejas en su control debido a los diferentes e inesperados resultados que se pueden presentar en caso de no ajustarla de una manera eficiente, en investigaciones como las de (Saavedra, García, Pinto, & Baigorí, 2018) se determinó que la temperatura en la reacción de transesterificación debe oscilar entre 45 a 60 grados Celsius(°C) para de esta manera evitar sobrepasar la hervor del OH lo que provocaría su evaporación perdiendo así material reaccionante lo que perjudicaría el rendimiento de formación del FAME y a su vez conllevaría al uso de mucho más material reaccionante generando gastos económicos excesivos. Lo que ha motivado en trabajar la investigación en una temperatura de 48 a 55°C ya que también se aprovecharía el impacto positivo que tendría la viscosidad en dicha oscilación de temperatura, además se podría aumentar el valor del punto de inflamación del producto llegando a datos cercanos a los 200°C lo que daría un valor agregado al producto final.

2.2.6.3 Tiempo de reacción

Es un factor que va ligado a la temperatura, es inversamente proporcional, a una mayor temperatura se presenta un menor tiempo de reacción, sin embargo, hay que considerar que a una temperatura elevada el alcohol metílico se evapora por lo que se debe controlar y determinar las condiciones de operación óptimas de estos divisores en conjunto que permitan alcanzar el mayor rendimiento de biodiesel en la reacción. Según (QUISPE, 2019) la condición eficiente para operar es a una temperatura de 48 a 55 °C en un tiempo de 90 minutos, que es el tiempo máximo de conversión.

2.2.6.4 Ácidos grasos libres (AGL)

La incidencia de este factor es muy notable ya que este no debe tener una concentración mayor al 2% en AGL para que no afecte en la reacción de transesterificación alcalina, ya

que esto provocaría una interacción con el catalizador básico (NaOH) disminuyendo la formación de esteres metílicos y favoreciendo a la formación de más saponificantes, lo que afectaría directamente al rendimiento del producto final. En la ilustración 7 nos demuestra la consecuencia de los AGL en el performance (Sharma, Singh, & Upadhyay, 2008).

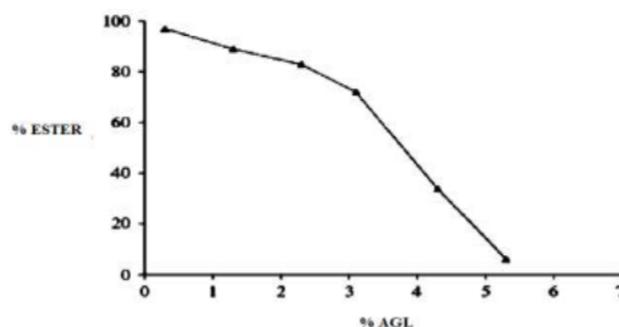


Ilustración 7: Efecto de los AGL en la formación de FAME

Fuente: (Sharma, Singh, & Upadhyay, 2008)

2.2.6.5 Humedad

El contenido de humedad en el metilèster indica que se puede presentar formación de agentes saponificantes ocasionando una significativa disminución en el rendimiento y calidad del biocombustible; además que la presencia de agua en la reacción disminuye circunstancialmente la eficiencia del catalizador. Esta propiedad se controla y elimina ejerciendo un tratamiento térmico llegando al punto de ebullición del H₂O en un tiempo determinado, descartando así el sobrante de humedad (Kusdiana & Saka, 2004).

2.2.6.6 Dosis de catalizador

La dosis o cantidad de catalizador básico (NaOH) es una variable del rendimiento o formación de los esteres metílicos como se aprecia en trabajos previos como en el de (Rojas, Canchala, & Torres, 2016) trabajaron a diferentes concentraciones con el

catalizador (0,7%; 1%; 1,2%; 1,5% 2%) en el que reportaron que el ideal es el de 1,2% obteniendo un rendimiento del 83% siendo el mayor de todos.

2.2.6.7 Tipo de alcohol

En estudios realizados por (Vázquez, 2012) ha sido posible analizar, comparar y determinar que el mejor alcohol a utilizar es el metanol, superando al etanol, debido a una mejor reacción y conversión de FAME logrando rendimientos que superan el 90% mientras que la reacción con el alcoholo etílico llega a valores promedios de 60 a 70 % de rendimiento, además que esta reacción con etanol suelen compadecer muchos problemas y fallas ya que tienden a gelificarse

2.2.7 Caracterización de los parámetros esenciales para el biodiesel

En la tabla 6 se ilustran los parámetros esenciales de caracterización del biodiesel que rigen la normativa europea para la aprobación del producto.

Tabla 6: Especificaciones de la norma europea EN 14214:2013 V2 para biodiesel

Ensayo	Unidades	Limites		Norma
		Mínimo	Máximo	
Contenido en esteres metílicos	%	96,5		prEN 14103
Densidad a 15°C	kg/m ³	860		EN ISO 3675
Viscosidad a 40°C	mm ² /s	3,50		EN ISO 3104
Punto de inflamación	°C	120		ISO 3679
Contenido de azufre	mg/kg	-----	10,0	prEN 20846
Residuos carbonosos	%	-----	0,30	EN ISO 10370
Número de Cetano	-----	51,0	-----	EN ISO 5165
Contenido de cenizas de sulfatos	%	-----	0,02	ISO 3987
Contenido de agua	mg/kg	-----	500	EN ISO 12937

Contaminación total	mg/kg	-----	24	EN 12662
Corrosión en lámina de cobre	Clasificación	Clase 1	EN ISO 2160	
Estabilidad a la oxidación	Horas	6,0	-----	prEN 14112
Valor ácido	mg KOH/g muestra	-----	0,50	prEN 14104
Índice de yodo	g/100 g muestra	-----	120	prEN 14111
Metilèster linoleico	%	-----	12,0	prEN 14103
Metilèster poliinsaturados	%	-----	1	-----
Contenido de metanol	%	-----	0,20	prEN 14110
Contenido en mono glicéridos	%	-----	0,80	prEN 14105
Contenido en di glicéridos	%	-----	0,20	prEN 14105
Contenido de triglicéridos	%	-----	0,20	prEN 14105
Glicerina libre	%	-----	0,02	prEN 14105
Glicerina total	%	-----	0,25	prEN 14105
Metales grupo I (Na+K)	mg/kg	-----	5,0	prEN 14108/14109
Metales grupo II (Ca+Mg)	mg/kg	-----	5,0	prEN 14538
Contenido de fosforo	mg/kg	-----	10,0	prEN 14107
POFF	°C	-----	Según época y país	EN 116
Fuente: (Sánchez, 2015).				

En la tabla 7 se muestra la normativa ecuatoriana de requisitos mínimos que debe tener una muestra de biodiesel.

Tabla 7: Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2482:2009 para biodiésel

REQUISITOS	Unidad	Límites		Métodos de ensayo
		Mínimo	Máximo	
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 D2709
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
W Carbón residual ¹	%	--	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 ²	%	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	mgKOH/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

(INEN, 2013).

En la tabla 8 se presentan los parámetros que se determinaran en este trabajo de investigación

Tabla 8: Listado de normativas a determinar en la presente investigación

Parámetro	Unidad	Normas para el método de ensayo
Índice o número de Cetano	-----	ASTM D-976
Punto de inflamación	°C	ASTM D-93
Grados °API	-----	ASTM D-1298
Temperatura de destilación al 90% del recuperado	°C	ASTM D-86
Viscosidad cinemática 40°C	mm ² /s	ASTM D-445
Corrosión de la lámina de cobre	-----	ASTM D-130
Cenizas sulfatadas	%(m/m)	ASTM D-874
Contenido de agua	mg/kg	ASTM D-95
Densidad a 15 °C	°C	ASTM D-1298
Poder calorífico	BTU/Lb	ASTM D-240
Fuente: Autores.		

➤ Índice de Cetano

El índice o número de Cetano es un parámetro del biodiesel que incide en la calidad del producto terminado, ya que por medio de este se determina la concentración de 12 carbonos, esto se refleja en la operacionalidad y rendimiento de los motores, así como también en la cantidad de humo que sería emitido, este porcentaje también nos revela la calidad de inflamabilidad (Karavalakis & Stournas, 2010).

➤ **Poder calorífico (PCI)**

El poder calorífico interno o PCI es la cantidad de energía desprendida por unidad de masa o unidad de volumen de un componente por medio de una reacción química denominada oxidación, esta no aprovecha la energía de la humedad por lo que se evalúa en valores de humedad igual a 0. Se expresa en unidades de KJ/kg o Kcal/kg. Este dato nos indicaría la calidad del producto comparándolo con el valor del diésel de petróleo (BORBOR & VELASTEGUI, 2017).

➤ **Punto de inflamación**

Es la temperatura más baja a la cual los vapores emitidos por el biodiesel se inflamarán en presencia de una llama y es demasiado importante conocer este valor ya que permite estimar las condiciones óptimas de almacenamiento y transporte del biocombustible (BORBOR & VELASTEGUI, 2017).

➤ **Grados °API**

Los grados °API se mide en muestras de combustible y se relaciona con la densidad para medirla se utiliza un hidrómetro, si la densidad API es baja el punto de ebullición será más alto y el producto menos parafínico caso contrario si es alta es señal de buena ignición y una alta capacidad calorífica (BORBOR & VELASTEGUI, 2017).

➤ **Densidad a 15 °C**

En el biodiesel el valor de la densidad debe estar entre 860-900) kg/m^3 , esta será similar al valor de la densidad en grasas vegetales líquidas (MARTINEZ PORTILLO & MENJIVAR GONZALEZ, 2013).

➤ **Temperatura de destilación al 90% del recuperado**

Una destilación ASTM es aquella destilación en la que se utiliza equipos y procedimientos rigurosamente determinados y especificados en el “ASTM Book of Standards”.

Este método de prueba de destilación atmosférica se emplea para los productos de petróleo y combustibles líquidos utilizando una unidad de destilación por lotes de laboratorio para determinar de carácter cuantitativo el rango de ebullición de estos compuestos.

➤ **Viscosidad cinemática 40°C**

La viscosidad cinemática es el factor de análisis del espesor o la resistencia de un fluido al movimiento, también se les considera como el factor que establece si un fluido tiene un comportamiento newtoniano o no newtoniano, la viscosidad cinemática en el biodiesel es muy importante su análisis ya que indicaría si existiría un bombeo adecuado en el circuito de inyección del motor dándole como impacto positivo más efectividad en la lubricidad, y como impacto negativo en caso de presentar bajas valores de viscosidad corre el riesgo a la pérdida de potencia del sistema (Kaplan, 2006).

➤ **Corrosión de la lámina de cobre**

El método de corrosión de la lámina de cobre consiste en usar una lámina de cobre pulida en la cual la muestra a analizar debe permanecer en un baño de aproximadamente 180 minutos, luego se podrá evidenciar si se da un cambio de textura en la barra, que nos indicaría la presencia de azufre en el biodiesel que ocasionaran corrosión en la máquina y emisiones de SOX (BORBOR & VELASTEGUI, 2017).

➤ **Cenizas sulfatadas**

Este parámetro es importante ya que las cenizas presentes afectan en la calidad del biodiesel, estas pueden ser sólidos abrasivos, jabones metálicos y catalizadores no eliminados en la reacción, estos pueden contribuir en el desgaste de inyectores, bomba de combustible, pistón como en la obstrucción de filtros y formación de depósitos en el motor (MARTINEZ PORTILLO & MENJIVAR GONZALEZ, 2013).

➤ **Contenido de agua**

El contenido de agua en el biodiesel debe ser lo mínimo posible debido que la presencia de esta favorece a la corrosión de las piezas en el sistema de inyección, al crecimiento de microorganismos que ocasiona un biocombustible ácido o sedimentos que obstruirán los filtros y perjudican el almacenamiento de este (MARTINEZ PORTILLO & MENJIVAR GONZALEZ, 2013).

2.2.8 Beneficios de la producción de biodiesel

La obtención de este biocombustible de origen vegetal tiene un sin número de impresiones positivas tanto a nivel ambiental y socioeconómico y social que lo hace muy provechoso.

En lo ambiental podemos corroborar con investigaciones previas que se han realizado, que el primordial aprovechamiento de este producto, es que este al provenir de origen vegetal siendo un recurso renovable en su combustión libera el carbono que ha sido absorbido en el ciclo de vida de las plantaciones que son fuente de materia prima por lo que no afecta en la atmósfera reduciendo las emisiones de CO₂, además que está libre de contenido de azufre, por lo que no aporta las formaciones de lluvia ácida, por otro lado se evita o previene la contaminación de los suelos ya que este producto no es tóxico y es

biodegradable en contacto con el ambiente. (Zanchett Groth , Bellé, Zanchett Groth, Flores Roza-Gomez, & Cericato, 2016).

En el aspecto económico se destaca que su valor es menor con relación al combustible fósil, también podemos enunciar que es un beneficio económico para el estado ecuatoriano debido a que la compra del diésel fósil se vería disminuida.

Por último, pero no menos importante está el ámbito social, en el que se destaca los miles de empleos que se generan por la inversión agrícola, la salud de las personas que por derecho tenemos vivir, crecer y desarrollarnos en un ambiente libre de contaminación propicio para el buen vivir.

2.3 Marco conceptual

- **Biocombustibles**

Son materiales utilizados en forma de una fuente de energía alterna a las formas tradicionales y es obtenida de recursos renovables que se encuentran en la naturaleza y se transforman por procesos biológicos (De la Rosa Ramos, Henríquez Montero, Sánchez Tuirán, & Ojeda Delgado, 2015).

- **Biomasa**

La biomasa que se define como la fracción biodegradable de productos y residuos de la agricultura y restos biológicos provenientes de ciudades y actividad industrial (De la Rosa Ramos, Henríquez Montero, Sánchez Tuirán, & Ojeda Delgado, 2015).

- **Esterificación**

Para obtener el biodiesel se utiliza el proceso de esterificación que Medina, Ospino y Tejada en 2015 define como el proceso que se da para obtener un éster que es un

compuesto que se origina por la interacción de un ácido y un alcohol (Medina Villadiego, Ospino Roa, & Tejeda Benítez, 2015).

- **Transesterificación**

La transesterificación según Aiello Mazzarri la define como una reacción de tres pasos entre una grasa un aceite y un alcohol que formara esterés metílicos a partir de los ácidos grasos que forman parte del biodiesel y la glicerina como subproducto esta reacción es irreversible (Aiello-Mazzarri, y otros, 2019).

- **Aceites vegetales**

Los aceites vegetales según son productos de origen vegetal, y si a temperatura ambiente es sólida es una grasa y si a temperatura ambiente es líquida se considera un aceite (Aguero, Garcia, & Catalan , 2015).

- **Biodiésel**

Se define el biodiesel en un combustible renovable, derivado de lípidos, obtenido a través de la reacción de transesterificación del aceite (Zanchett Groth , Bellé, Zanchett Groth, Flores Roza-Gomez, & Cericato, 2016).

2.4 Marco contextual

En la ilustración 8, se presenta el diagrama del proceso de obtención de biodiesel

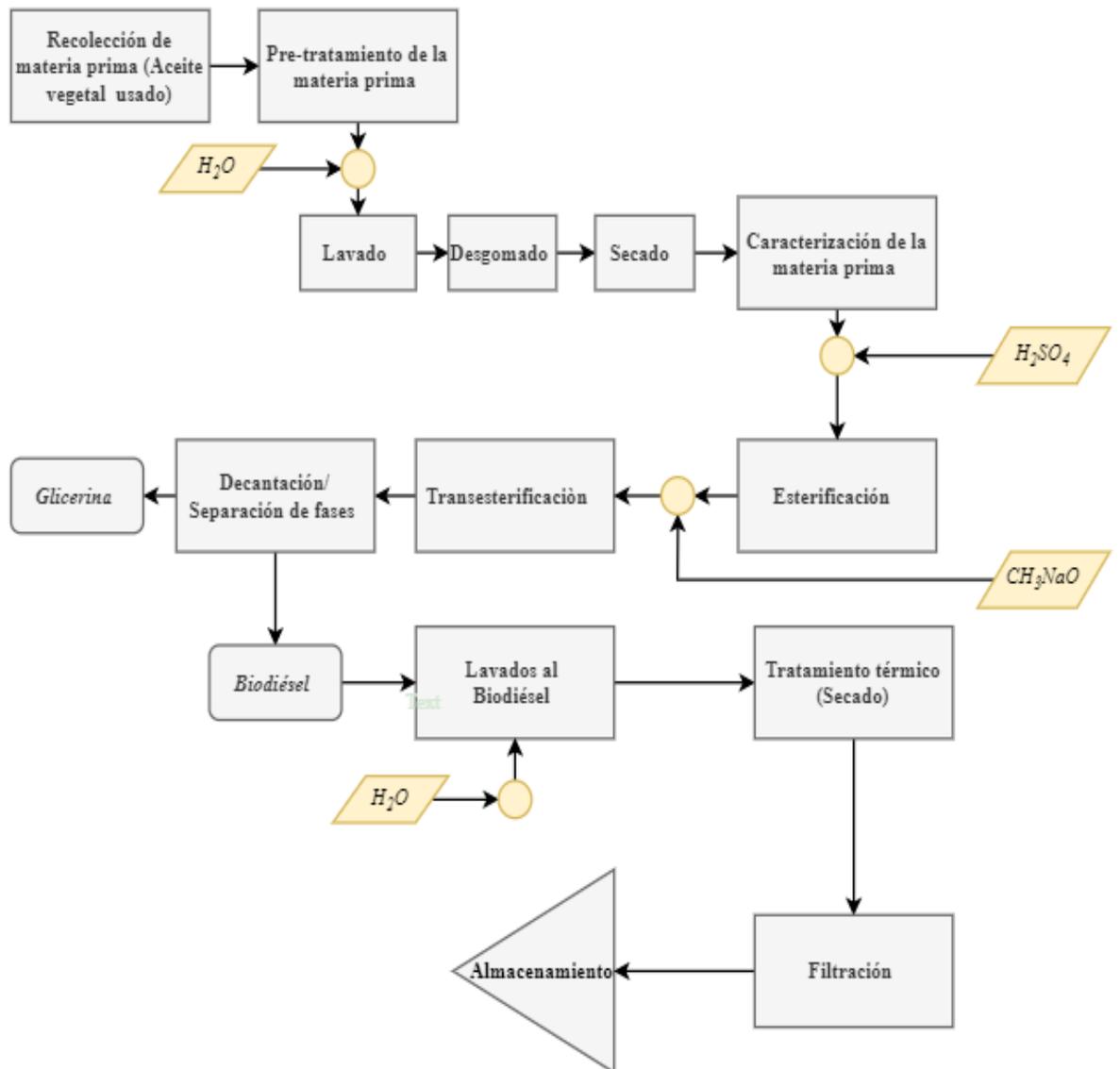


Ilustración 8: Proceso de producción de biodiesel a base de AVU

Fuente: Autores

2.4.1 Delimitación Espacial

Este trabajo de titulación se desarrollará en el laboratorio Prosertec ubicado en la ciudad de Guayaquil en la ciudadela Los Alamos norte (Ilustración 9).



Ilustración 9: Ubicación del laboratorio Prosertec

Fuente: (Google maps, 2020)

2.4.2 Delimitación Temporal

El presente trabajo de titulación se llevará a cabo en un tiempo de cuatro meses en el periodo TII 2020-2021.

2.4.3 Delimitación de Contenido

El trabajo de titulación estará compuesto en cinco etapas, primera etapa, en la recolección de aceites de los aceites vegetales usados, la segunda etapa consiste en el pretratamiento del aceite vegetal usado, la tercera etapa está en la elaboración del biodiesel mediante la reacción de esterificación y transesterificación, la cuarta etapa radica en la separación entre el biodiesel y la glicerina y la última etapa es el acondicionamiento del biodiesel obtenido.

2.4.4 Campo

Ingeniería Química

CAPÍTULO 3

3.1 Metodología de la investigación

Este trabajo de titulación consta de una metodología experimental ya que realiza manipulación de la variable y a la vez es prospectiva, debido a que los datos son primarios y longitudinal debido a la repetitividad de este.

3.1.1 Nivel de la investigación

El nivel de la investigación es explicativa y aplicada

3.2 Materiales, reactivos y equipos

3.2.1 Materiales

- Embudo de decantación pírrex de vidrio con capacidad de 500 ml.
- Vasos de precipitación de vidrio de capacidad de 1000 ml, 500ml, 300 ml, 120ml, 80 ml.
- Probetas de vidrio 250 ml, 100ml.
- Termómetro de mercurio de rango de 0-200 °C.
- Erlenmeyer pírrex de 250ml, 100 ml, 25 ml.
- Balanza
- Crisoles de porcelana
- Agitador/mezclador de vidrio
- Espátula de metal de hoja pequeña
- Vidrio reloj de diámetro de 100mm
- Caja Petri
- Embudo de vidrio
- Pipetas de 10 ml

- Tapadores de vidrio y caucho
- Mangueras plásticas de diámetro de 0.5, 1 cm
- Soporte universal de metal
- Pinzas metálicas

3.2.2 Reactivos

- 4 L de aceite vegetal usado
- 4 L de agua destilada
- Metanol (C_3H_5OH) al 96%
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 98%
- Etanol (C_2H_5OH) 96%
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Fenolftaleína

3.2.3 Equipos

- Estufa eléctrica de hasta 200°C
- Manta de calentamiento eléctrica marca Glassco.
- Bomba de aireación
- Agitador magnético.

3.3 Procedimiento

El presente trabajo de investigación está estructurado por las siguientes etapas; recolección de la materia prima, pretratamiento de la materia prima, caracterización de la materia prima, reacción de esterificación y transesterificación, separación del biodiesel y por último el tratamiento del biodiesel. Las que serán descritas a continuación.

3.3.1 Recolección de la materia prima

➤ Lugar

La recolección de la materia prima se dio en la avenida José Roura Oxandraberro en la ciudad de Guayaquil en donde laboran más de 20 locales comerciales expendedores de comida rápida (Ilustración 10). De los que se han seleccionado mediante una encuesta breve a aquellos lugares en donde el uso exclusivo es de aceite vegetal (libre de mezclas), para garantizar un proceso de transformación a biodiesel ideal y con buenos resultados.



Ilustración 10: Recolección de aceites vegetales usados en la avenida Jose Roura

Fuente: Autores

➤ Cantidad

La cantidad de aceite usado acopiado en un escrutinio de un proceso de recolección en un periodo de tres horas en los seis locales previamente seleccionados fue de tres litros, cantidad adecuada, necesaria y suficiente para la prueba piloto, caracterización del aceite, y producción del biodiesel (Tabla 9).

Tabla 9: Cantidad de aceite recolectado en los locales comerciales de la Av. José Roura

Local Comercial	Cantidad de aceite recolectado (ml)
1	627 ml
2	374 ml
3	489 ml
4	611 ml
5	590 ml
6	323 ml
Fuente: Autores	

➤ Almacenamiento

El almacenamiento de los aceites vegetales usados fue dispuesto en una botella plástica, la cual estuvo perfectamente cerrada para evitar la captación de humedad.

3.3.2 Pretratamiento de la materia prima

➤ Filtración

Esta operación muy conocida y ampliamente utilizada por la sencillez en su método fue adaptada a una forma empírica, debido a la falta de equipos adecuados para esta operación, en la que utilizamos tres tipos de capas de tela de diferente porosidad la que junto a la ayuda del cedazo fueron colocadas y agarradas con pinzas para estirar las telas y evitar un hundimiento por el peso de la muestra a filtrar (Ilustración 11).



Ilustración 11: Sistema de telas empleadas para el sistema de filtrado

Fuente: Autores

Luego se añade poco a poco el aceite recolectado en el sistema de filtrado empelado (Ilustración 12).



Ilustración 12: Adición de aceite vegetal usado al sistema de filtrado

Fuente: Autores

Finalmente se puede apreciar que las impurezas se quedan en el sistema de filtrado (Ilustración 13).



Ilustración 13: Residuos retenidos en el sistema de filtrado

Fuente: Autores

En la tabla 10, se presenta los resultados de los pesos iniciales y finales después del proceso de filtración al que fue sometido la muestra de aceite vegetal usado para eliminar partículas sobrenadantes.

Tabla 10: Proceso de filtración de la muestra realizada en dos partes

Muestra (aceite)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)
1	1482	1415
2	1302	1204
Total	2784	2619

Fuente: Autores

➤ **Desgomado**

El siguiente proceso de operación correspondiente al pretratamiento de la materia prima es el desgomado, aquel que es el encargado de la purificación de los aceites vegetales para captar la mayor presencia de agentes extraños en la muestra, mediante la adición de agua destilada en un volumen de 100 ml por cada 300 ml de aceite (Ilustración 14).



Ilustración 14: Adición de agua destilada al Avu

Fuente: Autores

Luego se aplica tratamiento térmico en la manta de calentamiento a 70 °C para la eliminación de impurezas del aceite en presencia del agua destilada (Ilustración 15).



Ilustración 15: Calentamiento a la mezcla de agua-Avu

Fuente: Autores

Una vez realizado el calentamiento se somete a decantación para eliminar el contenido de agua (Ilustración 16).



Ilustración 16: Decantación de Avu-agua destilada

Fuente: Autores

En la tabla 11, se presentan las condiciones adecuadas y óptimas de operación del proceso a las que se deben controlar, alcanzar y llevar a cabo la investigación.

Tabla 11: Condiciones de operación del proceso de desgomado

Condiciones de operación	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Cantidad de agua (ml) por cada 300 ml de aceite
-----	70 °C	15	100
Fuente: Autores			

La tabla 12, muestra los datos del proceso en la que se utilizó para la producción del biodiesel, donde se tomó un volumen de muestra en aceite de 1,2 L en peso equivalente a 968 gr, realizada en dos partes (600 y 600 ml), debido a la capacidad de la manta de calentamiento que es de un litro.

Tabla 12: Proceso de desgomado a 1.2 L de Avu

Muestra de aceite (1,2 L)	Desgomado	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)
1er parte	1	484	475
	2	475	469
2da parte	1	484	477
	2	477	472
Peso total:	-----	968	941
Fuente: Autores			

En la que se puede evidenciar que después de realizar dos procesos de desgomado el aceite con un peso inicial igual a 968 gr, llegó a 941 gr perdiendo 27 gr en esta adecuación de materia prima.

➤ **Secado**

El tratamiento térmico al aceite ya desgomado es imprescindible ya que nos permitirá eliminar trazas de agua que se encuentre en la muestra de aceite, previniendo desventajas en la reacción con el metóxido de sodio.

Las condiciones de operación del proceso de secado del aceite están regidas por la temperatura y el tiempo, las cuales tienen como objetivo de control permanecer a 110°C por lo que se logró establecer la temperatura en un rango de 105 a 115 °C en un tiempo estimado de 120 minutos (Tabla 17).



Ilustración 17: Proceso de secado del Avu en la manta de calentamiento

Fuente: Autores

3.3.3 Caracterización de la materia prima

➤ Índice de acidez

La muestra analizada en el laboratorio de análisis de alimentos y ambientes Protal determina en 1.06% de acidez libre en ácido oleico.

Siguiendo la metodología García, Fernández y Fuentes en 2014 indica que el índice de acidez se puede determinar de la multiplicación entre % Ácidos grasos libres \times (1.99) (GARCIA MARTINEZ, FERNANDEZ SEGOVIA, & FUENTES LOPEZ, 2014).

$$\text{Indice de acidez} = 1.06 \times (1.99) = 2.1094$$

El índice de acidez es 2.1094 siendo superior a uno, lo que determina que se debe seguir el paso de esterificación acida antes de la transesterificación para obtener óptimos resultados en la obtención del biodiesel.

➤ Contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad de la muestra de aceite se utilizó los crisoles de porcelana en el que se colocaron pesos específicos de aceite, los que fueron llevados a la estufa eléctrica manteniendo un rango de temperatura de 110 a 120°C en un periodo de 180 min.

En la tabla 13, se presenta los datos obtenidos después de la realizar la prueba del contenido de humedad del aceite en la que se puede evidenciar una pequeña presencia de agua en la muestra.

Tabla 13: Datos de contenido de humedad de la muestra de Avu tratada

Muestras	Crisol 1	Crisol 2	Crisol 3	Crisol 1 + aceite	Crisol 2 + aceite	Crisol 3 + aceite
Masa inicial (gr)	12.51	15.23	12.6	17.27	21.1	18.1
Masa final (gr)	12.51	15.23	12.6	17.14	20.79	17.8
Masa del aceite inicial (gr)	---	---	---	4.76	5.87	5.5
Masa del aceite final (gr)	---	---	---	4.63	5.56	5.2
Fuente: Autores						

➤ **Cálculos del contenido de humedad**

La fórmula para calcular el contenido de humedad es: $\% CH = \frac{m_o - m_f}{m_f} \cdot 100$

Prueba 1:

$$\% CH = \frac{4.76 - 4.63}{4.63} \cdot 100$$

$$\% CH = 2.15$$

Prueba 2:

$$\%CH = \frac{5.87 - 5.56}{5.56} \cdot 100$$

$$\%CH = 7.37$$

Prueba 3:

$$\%CH = \frac{5.5 - 5.2}{5.2} \cdot 100$$

$$\%CH = 5.76$$

➤ Densidad

Para realizar la prueba de esta propiedad del aceite se necesitó el empleo del picnómetro graduado en un volumen de 25 ml y en una temperatura de 20°C para así determinar la densidad.

En la tabla 14, se presenta los datos necesarios de masa para el cálculo de la densidad del aceite.

Tabla 14: Datos para el cálculo de la densidad del aceite

Masas	Unidad (gr)	Fórmulas	Unidades
Picnómetro	21,4	1) $\rho_{ac} = \frac{m_{ac}}{v_{pic}}$ 2) $v_{pic} = \frac{m_{H2O}}{\rho_{H2O}}$ 3) $\rho_{ac} = \frac{m_{ac}}{\frac{m_{H2O}}{\rho_{H2O}}}$	gr/ml Ó kg/m ³
Picnómetro + aceite	71,9		
Picnómetro + Agua	67,7		
Aceite	46.3		
Agua	50.5		
Fuente: Autores			

➤ **Cálculo de densidad del aceite**

$$\rho_{ac} = \frac{m_{ac}}{\frac{m_{H2O}}{\rho_{H2O}}}$$

$$\rho_{ac} = \frac{46.3 \text{ gr}}{\frac{50.5 \text{ gr}}{1 \text{ gr/ml}}}$$

$$\rho_{ac} = 0.916 \frac{\text{gr}}{\text{ml}}$$

3.3.4 Reacción de esterificación y transesterificación

➤ Reacción de esterificación

Esta reacción se llevó a cabo usando 83 ml de metanol que se va a adicionar sustancialmente en un litro de aceite vegetal usado, luego se llevó la temperatura de la mezcla aceite-alcohol entre un rango de 55-65 grados Celsius con agitación constante en un tiempo aproximado de cinco minutos luego se añade 1 ml de ácido sulfúrico en lo que se da la reacción se formara metilesteres y agua sin la presencia de glicerina (Ilustración 18).



Ilustración 18: Adición de H₂SO₄ para la reacción de transesterificación

Fuente: Autores

En la tabla 15, se evidencia las condiciones para la reacción de esterificación.

Tabla 15: Condiciones de operación reacción de esterificación

Tiempo de reacción (min)	Temperatura (°C)	Concentración de H ₂ SO ₄ (%)	Volumen de H ₂ SO ₄ (ml)	Concentración de CH ₃ OH (%)	Volumen de CH ₃ OH (ml)	Volumen de aceite (ml)
5	55-65	96	1	98	83	1000

Fuente: Autores

➤ Reacción de transesterificación

En la transesterificación se empezó preparando la solución de metóxido de sodio, con 83 ml y 7.3 gramos de NaOH los cuales fueron sometidos a agitación constante hasta que el hidróxido se disuelva totalmente, se pudo evidenciar que se da una reacción exotérmica (Ilustración 19).

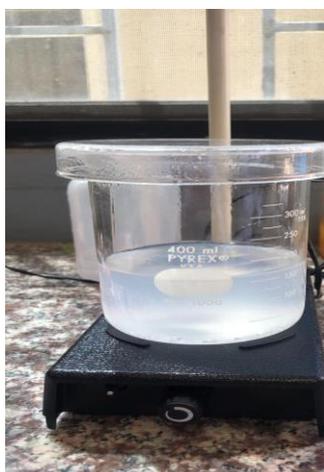


Ilustración 19: Agitación de la solución de metóxido de sodio para la reacción de transesterificación

Fuente: Autores

Completada la solución de metóxido de sodio se procede a añadirla lentamente en el litro de aceite vegetal usado previamente tratado y sometido a la reacción de esterificación, una vez mezclados se calienta a una temperatura entre 45 y 60 grados Celsius con agitación constante por 90 minutos para favorecer la formación de metilesteres (Ilustración 20).



Ilustración 20: Adición y agitación del metóxido de sodio

Fuente: Autores

Al finalizar la reacción se deja reposar la muestra por 24 horas (Ilustración 21), para lograr la clara separación entre las fases de metilesteres (biodiesel) y subproductos (glicerina y el catalizador).



Ilustración 21: Reposo de la muestra para la separación de la fase de biodiesel y glicerina

Fuente: Autores

En la tabla 16, se puede apreciar las condiciones de operación necesarias y propicias para la reacción de transesterificación.

Tabla 16: Condiciones de operación para la reacción de transesterificación.

Tiempo de reacción (min)	Temperatura (°C)	Concentración del catalizador (%)	Concentración del metanol (%)	Volumen de aceite (ml)	Relación molar (Aceite-Alcohol)
90	45-60	96	96	1000	6-1
Fuente: Autores					

3.3.5 Separación del biodiesel

El proceso para dividir las fases del producto y del subproducto se da en un embudo de decantación pírex de vidrio con capacidad de 500 ml, donde la glicerina por su mayor densidad se colocará en el fondo del embudo y el biocombustible encima (Ilustración 22).



Ilustración 22: Decantación de la glicerina y el biodiésel

Fuente: Autores

Una vez realizada la separación se obtuvo 764 gramos de biodiesel (Ilustración 23).

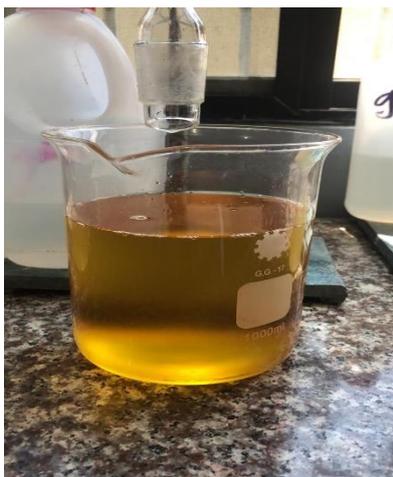


Ilustración 23: Recolección del biodiésel

Fuente: Autores

De glicerina se recuperó 251 gramos como subproducto (Ilustración 24).



Ilustración 24: Recolección de la glicerina

Fuente: Autores

3.3.6 Tratamiento del biodiesel

Una vez obtenido el biodiesel se debe proceder a varios tratamientos para mejorar sus condiciones, los cuales serán lavados por aireación, secado y filtrado.

3.3.6.1 Lavado por aireación.

Se coloca el biodiesel en el embudo de decantación, luego se coloca 100 ml de agua destilada y con la ayuda de una bomba de aire de acuario y una manguera la cual se coloca al fondo del decantador en la fase del agua, donde se bombea aire lo que produjo la formación de burbujas que subirán a la fase del biodiesel, las burbujas producidas van limpiando y arrastrando las impurezas que contenga, este proceso se repite en un periodo de una hora en los cinco lavados al que fue sometido el biodiesel (Ilustración 25).



Ilustración 25:Proceso de lavado por aireación del biodiésel

Fuente: Autores

En la tabla 17, se aprecia el efecto de los lavados en la masa del biodiesel en cada lavado.

Tabla 17: Lavado por aireación.

Lavado	Masa inicial(g)	Masa final(g)
1	746	647
2	647	634
3	634	628
4	628	622
5	622	618

Fuente: Autores

3.3.6.2 Secado.

Este proceso se realizó sometiendo a calentamiento el biodiesel por una hora a 110 °C para eliminar trazas de metanol, agua y glicerina presentes en el biodiesel que no hayan sido eliminadas mediante los lavados. En este proceso también se pudo observar que la muestra de biodiesel se tornó más claro, mejorando así su aspecto visual (Ilustración 26).



Ilustración 26:Secado del biodiésel

Fuente: Autores

3.3.6.3 Filtración.

La filtración se lleva a cabo usando un papel filtro para retener sedimentos que posea la muestra de biodiesel previa a su almacenamiento (Ilustración 27).



Ilustración 27:Filtración del biodiésel

Fuente: Autores

3.3.7 Almacenamiento.

El biodiesel se almacenó en un recipiente de vidrio cerrado herméticamente sin que reciba los rayos del sol para evitar su degradación (Ilustración 28).



Ilustración 28:Almacenamiento del biodiesel

Fuente: Autores

CAPÍTULO 4

4.1 Resultados

En la tabla 18, se observan los siguientes resultados de la caracterización que se realizó al biodiesel obtenido a base de aceites vegetales usados, los datos son corroborados por un laboratorio certificado de hidrocarburos.

Tabla 18: Resultados de los análisis del biodiesel (Laboratorio de Petróleos FIQ-UG).

Resultados obtenidos del biodiesel a base de aceites vegetales usados		
Indicadores	Unidades	Resultados
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	345
Grados API	--	28.3
Densidad a 15 °C	<i>kg/m³</i>	885
Viscosidad cinemática a 40 °C	<i>mm²/seg</i>	4.635
Corrosión a la lámina de cobre	--	1b
Punto de inflamación	°C	150
Cenizas sulfatadas	<i>%(m/m)</i>	0.009
Contenido de agua	<i>mg/kg</i>	0.100
Índice de cetano calculado	--	52.263
Poder calorífico	<i>BTU/Lb</i>	17105
Fuente: Autores		

4.2 Análisis de resultados

En la tabla 19 se presentan la comparación de los resultados obtenidos con la norma INEN.

Tabla 19: Comparación de resultados obtenidos con la norma INEN 2482:2009.

Indicadores	Unidades	Valor mínimo (norma)	Resultado	Valor máximo (norma)
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	--	345	360
Densidad a 15 °C	<i>kg/m³</i>	860	885	900
Viscosidad cinemática a 40 °C	<i>mm²/seg</i>	3.5	4.635	5
Corrosión a la lámina de cobre	--	--	1b	3
Punto de inflamación	°C	120	150	--
Cenizas sulfatadas	<i>%(m/m)</i>		0.009	
Contenido de agua	<i>mg/kg</i>	--	0.100	500
Índice de cetano calculado	--	49	52.263	--
Fuente: Autores				

➤ **Temperatura de destilación al 90% recuperado**

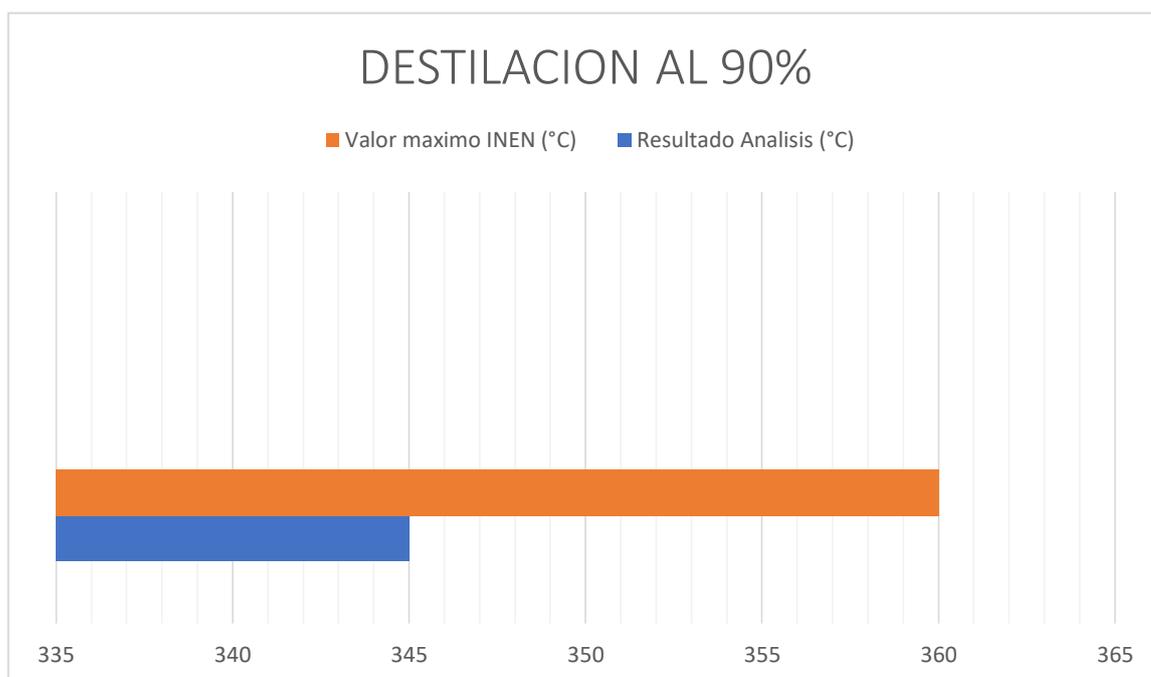


Ilustración 29: Resultado de la temperatura de destilación al 90% del recuperado

Fuente: Autores

La prueba realizada por el laboratorio evidenció un resultado de 345°C en un porcentaje del 90% de recuperado (Ilustración 29), el cual es un análisis favorable debido a que se encuentra en un rango permisible y aceptable, ya que según la norma de especificación del biodiesel en el Ecuador debe estar en un rango no mayor a 360 °C, dándole validez, y significancia al trabajo realizado. Se obtuvo un 97% de recuperado, 2% de residuos y 1% de pérdida de la muestra analizada.

➤ **Densidad a 15 °C**

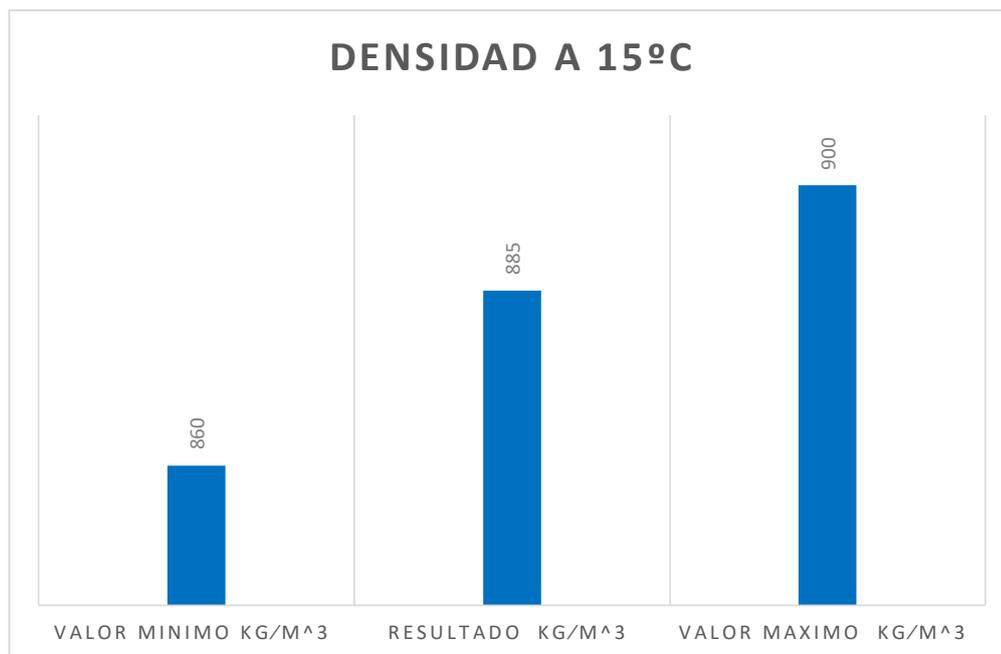


Ilustración 30: Análisis de resultado de la densidad al 15 °C

Fuente: Autores

El valor reportado después del análisis a la densidad de la muestra de biodiesel es de 885 kg/m^3 y el valor mínimo permitido en la norma de referencia es de 860 kg/m^3 y el máximo de 900 kg/m^3 lo que muestra que el biodiesel tiene una densidad optima (Ilustración 30).

➤ **Viscosidad cinemática a 40 °C**

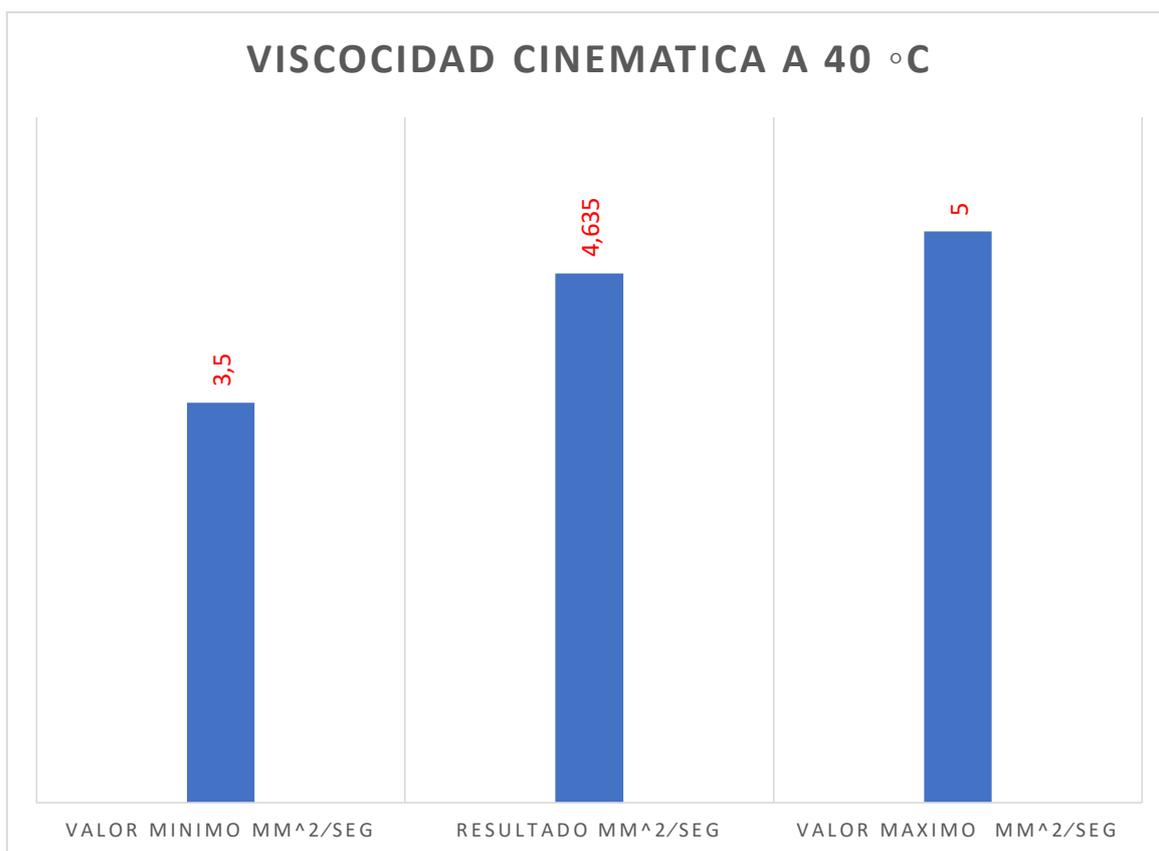


Ilustración 31: Análisis de resultados de la viscosidad cinemática a 40 °C

Fuente: Autores

La viscosidad obtenida en el biodiesel es de $4.635 \text{ mm}^2/\text{seg}$ que se encuentra en el rango estimado por la norma de referencia que tiene el valor mínimo aceptado de $3.5 \text{ mm}^2/\text{seg}$ y valor máximo permitido de $5 \text{ mm}^2/\text{seg}$, esto indica que el biodiesel presenta una excelente propiedad de lubricación si es aplicado en motores de combustión interna lo que facilitara mantener la potencia y rendimiento del mismo en condiciones estables (Ilustración 31).

➤ **Corrosión a la lámina de cobre**

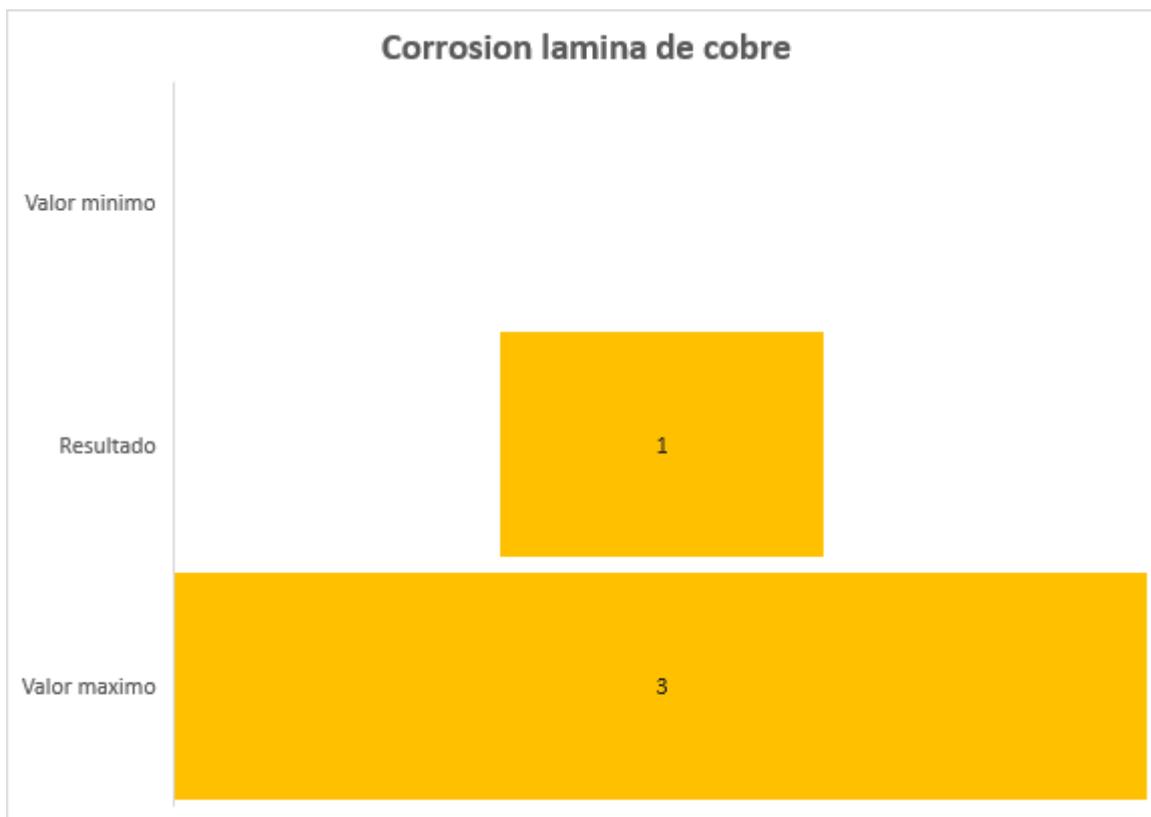


Ilustración 32: Análisis de resultados de corrosión a la lámina de cobre

Fuente: Autores

El valor reportado es 1b el cual nos indica un ligero deslumbrado, este valor tiene como un máximo permitido en la norma de referencia igual a 3, esto nos señala que la presencia de azufre en la muestra de biodiesel es bajo indicando que no se producirá corrosión por el uso del producto, así como también que su emisión al ambiente es baja ya que no propicia la formación de SO_x (Ilustración 32).

➤ **Punto de inflamación**

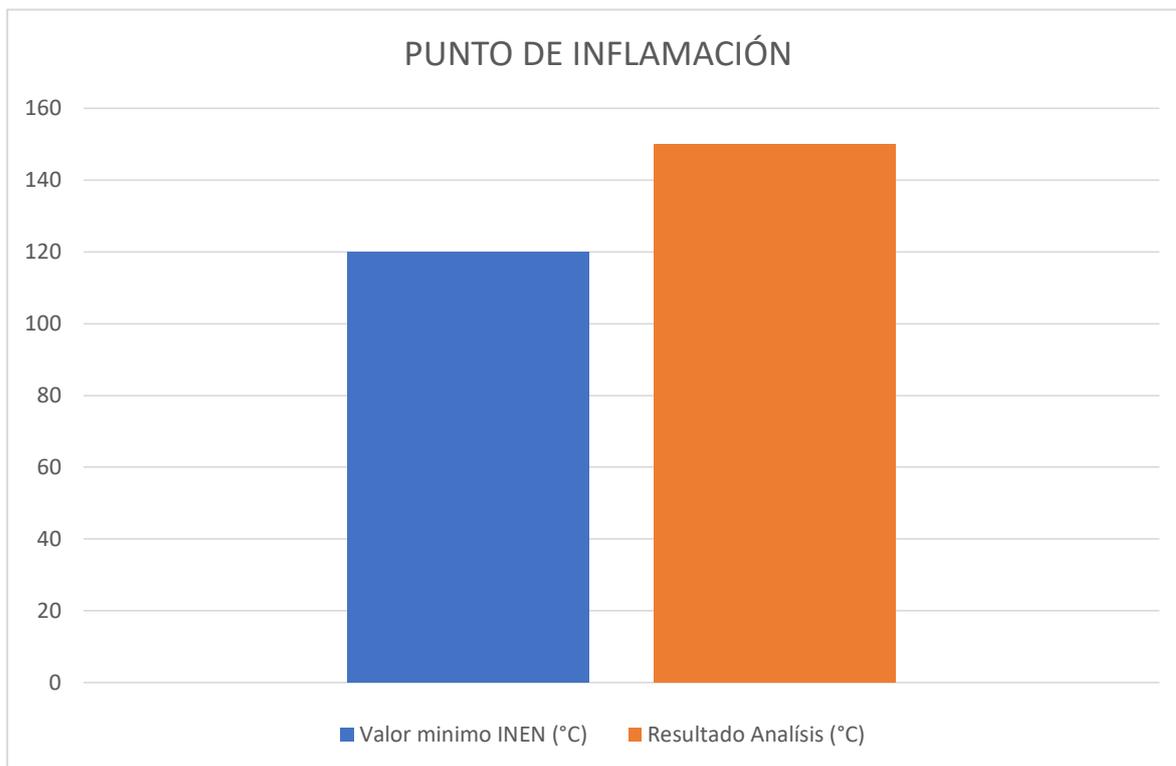


Ilustración 33: Análisis de resultados de punto de inflamación

Fuente: Autores

El punto de inflamación del biodiesel obtenido es de 150 °C lo que es beneficioso para su calidad debido que el valor reportado en la norma de referencia es de mínimo 120 °C y nos permite almacenar y trasportar el biocombustible en condiciones óptimas para evitar que el producto se inflame e incendie con facilidad, sin embargo, tiene un impacto no menor en cuanto al uso en los motores debido a que limita el arranque en frio (Ilustración 33).

➤ **Cenizas sulfatadas**

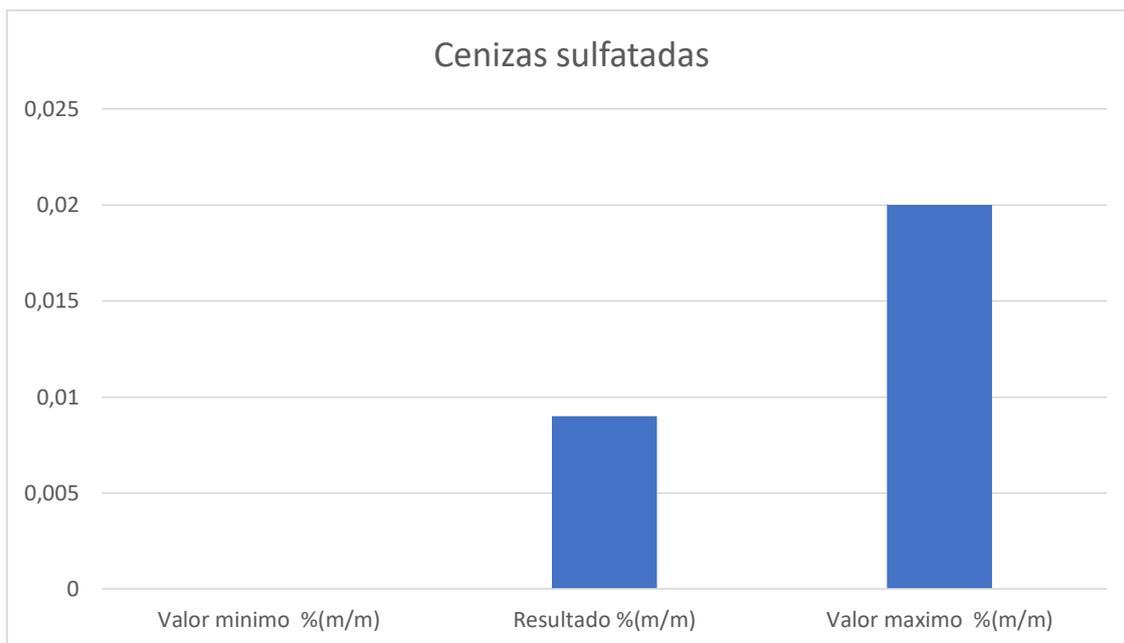


Ilustración 34: Análisis de resultados de cenizas sulfatadas

Fuente: Autores

La cantidad de cenizas sulfatadas reportada es 0.009%(m/m) y el valor máximo permitido en la norma de referencia ecuatoriana (INEN 2482:2009) es de 0.02%(m/m), indicando que el parámetro está en los estándares correctos y viéndose reflejado en el biodiesel en la correcta conservación de inyectores, pistones, filtros y bomba de combustible y la no formación de depósitos en los motores (Ilustración 34).

➤ **Contenido de agua**

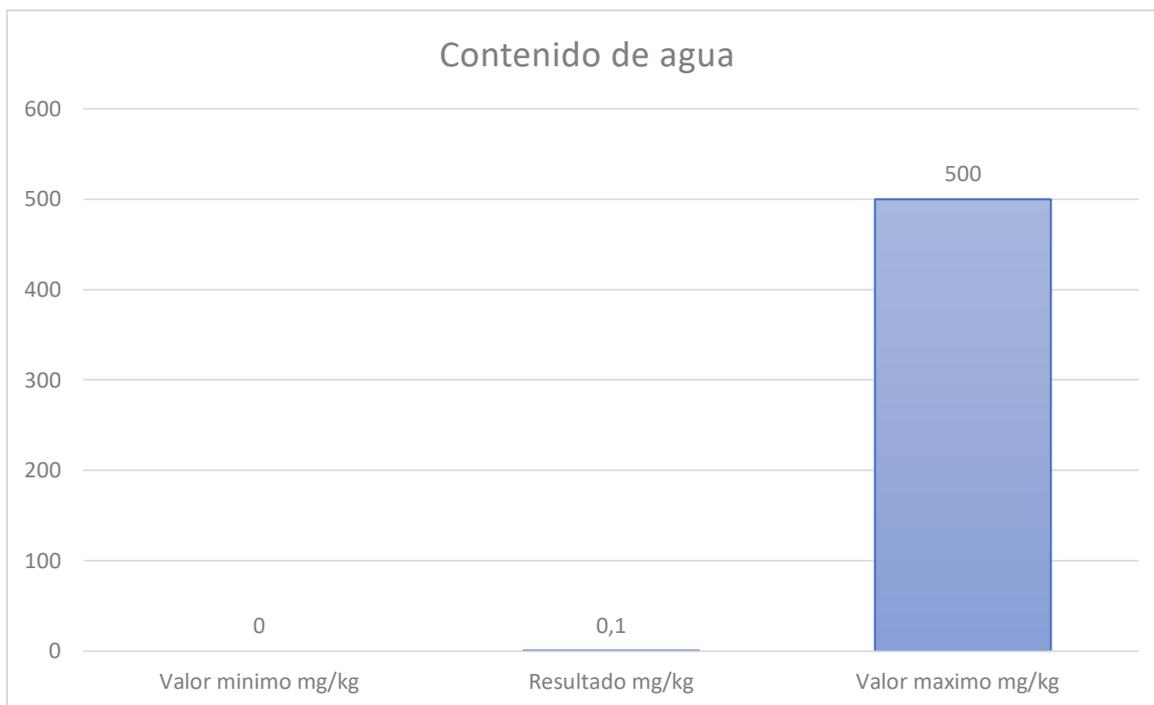


Ilustración 35: Análisis de resultados del contenido de agua

Fuente: Autores

El contenido de agua de la muestra de biodiesel pose 0.100 mg/ kg de agua lo que es un valor bajo comparado con el máximo permitido en la norma de referencia que es de 500 mg/kg, esto indica que la muestra se podrá conservar sin la posibilidad que se desarrollen microorganismos perjudicando la conservación y la posible formación de sedimentos que disminuye sustancialmente la calidad del biodiesel obtenido (Ilustración 35).

➤ **Índice de Cetano calculado**

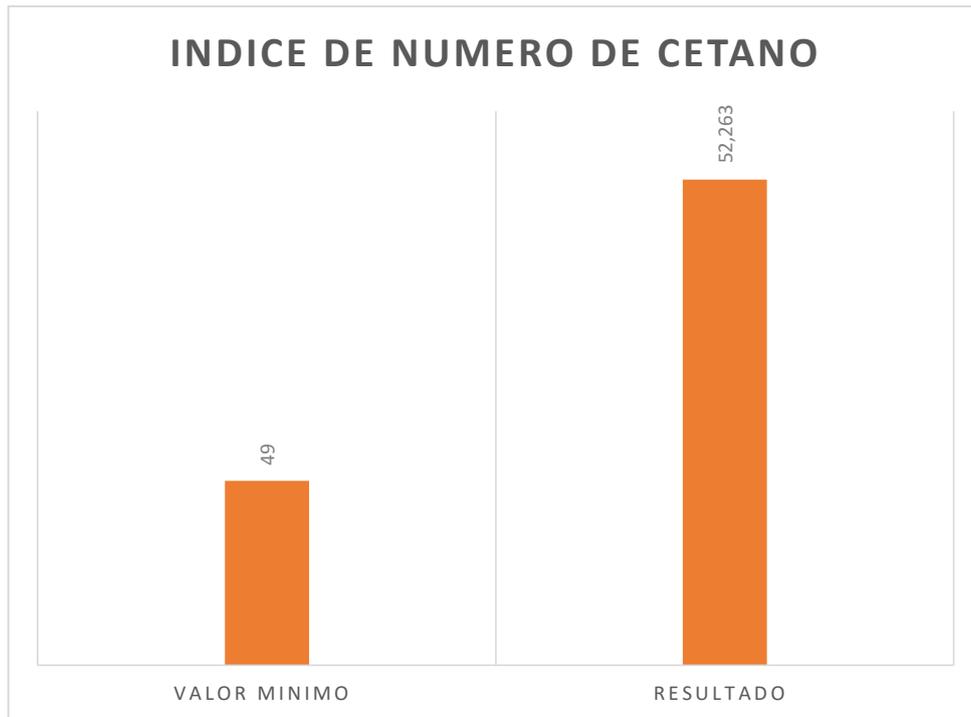


Ilustración 36: Análisis de resultados del número de cetano

Fuente: Autores

El índice de Cetano determinado en la muestra de biodiesel es de 52.263 lo que indica que está en un rango correcto del reportado en la norma de referencia que es un valor mínimo de 49, este número de Cetano obtenido en la muestra nos da a a enmarcar que el biocombustible tiene una respuesta rápida de inflamabilidad, el cual emite que presenta índices de calidad adecuados el que permitirá operar a los motores con un alto rendimiento (Ilustración 36).

➤ **Poder calorífico**

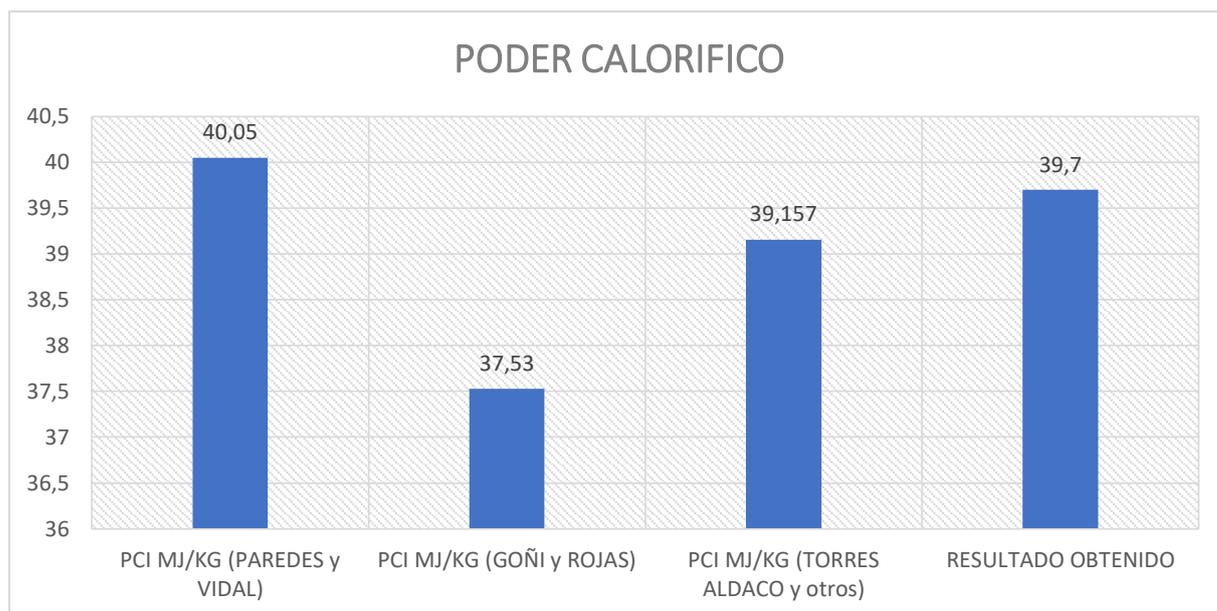


Ilustración 37: Análisis de resultados del poder calorífico

Fuente: Autores

El poder calorífico o la energía de combustión por unidad de masa que presenta el biodiesel es de 17115 BTU/lb o 39.7007 MJ/kg, valor de los más importante a analizar y que superó las expectativas del trabajo de investigación, ya que es uno de los datos más elevados presentados en comparación con diferentes estudios referentes a la investigación, esto debido a las condiciones de operación a la que se llevó el. Se destaca que este dato es muy similar a los 41.8 MJ/kg que presenta el combustible de origen fósil (diésel), lo que puede ser un indicativo que la aplicación sea como un aditivo mas no como un reemplazante total y definitivo debido a que la tecnología en la industria automotriz no evoluciona y adapta con el implemento de estos biocarburantes (Ilustración 37).

4.3 Conclusiones

La aplicación del método de esterificación y transesterificación combinados presenta resultados óptimos en la conversión de aceites vegetales usados en metilesteres, presentando un producto obtenido con excelente calidad.

El método de decantación para la separación de biodiesel y glicerina obtenida es adecuado y eficiente para la separación del producto obtenido, luego combinado con la técnica de lavado por aireación y secado favorece a la mejora en el aspecto físico y propiedades fisicoquímicas del biodiesel y favoreciendo ampliamente a su correcta conservación.

Se pudo determinar que el biodiesel obtenido por la técnica de esterificación y transesterificación utilizando aceites vegetales usados cumple los parámetros fisicoquímicos establecidos en la normativa INEN 2482:2099 como temperatura de destilación al 90% del destilado en 345°C, densidad a 15°C en 885 kg/m^3 , viscosidad cinemática a 40°C en 4.635 mm^2/seg , la corrosión en la lámina de cobre 1b, punto de inflamación en 150°C, cenizas sulfatadas en 0.009 % (m/m), contenido de agua en 0.100 mg/kg y el índice de cetano calculado en 52.263 indicando que el producto es de buena calidad.

Se concluyó mediante un análisis de laboratorio siguiendo la norma ASTM D-240-17 que el poder calorífico presente en el biodiesel es de 39.7 MJ/Kg o 17105 BTU/Lb, el cual es un resultado que cumple con las expectativas de un biocombustible efectivo, ya que en comparaciones realizadas con diversos tipos de trabajos de similitud supera este valor.

Se determina la eficacia de la técnica de esterificación y transesterificación en la producción de biodiesel en aceites vegetales usados en 79% determinando que la técnica

es adecuada y eficiente en la elaboración de biodiesel a base de aceites vegetales usados obteniéndose resultados favorables.

4.4 Recomendaciones

El trabajo investigativo realizado es un estudio importante y de gran impacto en lo ambiental, social y económico por lo que se recomienda seguir la investigación con las variables de procesos establecidas, utilizando grandes cantidades de aceites para trabajar a gran escala e industrializar este proceso productivo.

Si bien el catalizador utilizado fue el NaOH se puede aportar a la investigación buscando y valorando nuevos métodos de obtención de un biodiesel a partir de otros catalizadores con su función que es la de acelerar la reacción sin generar subproductos en grandes cantidades a su vez que esté en su recuperación sea convencional y menos costosa para hacer mucho más rentable el proceso a nivel industrial.

Para el proceso de depuración y lavado del biodiesel se recomienda combinar el método del lavado por aireación con el ácido acético para así obtener mejores resultados en el producto final que valoren su calidad en el mercado.

Una vez realizado los lavados por aireación es recomendable usar una centrifuga para separar pequeñas trazas restantes de glicerina que se mantengan en el biodiesel

Se recomienda aplicar un exhaustivo método de secado a la muestra final para eliminar el agua que pueda contener el biodiesel después de los lavados ya que la cantidad de agua que posea la muestra es trascendental en la calidad del producto final.

Para constatar de mejor forma la calidad y el rendimiento del producto obtenido es recomendable realizar y completar con los demás parámetros de control comprendidos por la norma vigente para a demostración del aporte del biodiesel, a su vez es necesario realizar un estudio cromatográfico de gases.

Es de vital importancia que se haga de conocimiento público el recolectar el aceite utilizado para evitar que sea desechado a una fuente hídrica cercana y que la población interesada y consciente sirva de facilitador a gestores encargados con la recolección, el cuidado del ambiente en donde nos desarrollamos física y mentalmente es obligación de todos.

4.5 Abreviaturas

Tabla 20: Abreviaturas utilizadas en la investigación.

AGL	Ácidos grasos libres	NaOH	Hidróxido de sodio
FAAE	Esteres etílicos de ácidos grasos	H2SO4	Ácido sulfúrico
FAME	Esteres metílicos de ácidos grasos	H2O	Agua
PIE	Punto inicial de ebullición	NOx	Óxidos nitrosos
PEF	Punto final de ebullición	C2H5OH	Etanol
PM	Material particulado	CH3OH	Metanol
HC	hidrocarburo	CO2	Dióxido de carbono
B5	Mezcla diésel con 5% de biodiesel	C3H8O3	glicerol
B20	Mezcla diésel con 20% de biodiesel	Sox	Óxidos sulfurosos
B100	Biodiesel puro	AVU	Aceites vegetales usados
PCI	Poder calorífico interno	CH3ONa	Metóxido de sodio
%CH	Contenido de humedad	OH	Alcohol
C4H8O2	Etanoato de etilo	S02	Dióxido de azufre
OCDE	Organización para la cooperación y el desarrollo económico	FAO	Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación

4.6 Bibliografía

- Leung, D., Wu, X., & Leung, M. K. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*, 87(4), 1083-1095. doi:<http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.10.006>
- A.PEREZ. (14 de Octubre de 2019). *Statista*. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/564764/consumo-domestico-de-los-principales-aceites-vegetales/>
- Abdalla, B. K., & Oshaik, F. O. (10 de 2013). Base-transesterification process for biodiesel fuel production from spent frying oils. *Agricultural Sciences*, 4 (9B), 85-88. doi:10.4236/as.2013.49B015
- Aguero, S., Garcia, J., & Catalan, J. (2015). Aceites vegetales de uso frecuente en Sudamérica: características y propiedades. *Nutricion Hospitalaria*, 32, 11-19. doi:10.3305/nh.2015.32.1.8874
- AGUILAR GARNICA, E. (2015). Biodiésel producido a partir de desechos de trampas de grasa. *Ciencia - Academia Mexicana de Ciencias*, 66(4), 66-71. Obtenido de <https://biblat.unam.mx/es/revista/ciencia-academia-mexicana-de-ciencias/articulo/biodiesel-producido-a-partir-de-desechos-de-trampas-de-grasa>
- Aiello-Mazzarri, C., Yenmilet, S., Urribarri, A., Arenas, E., Sanchez, J., & Ysambertt, F. (2019). PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE LAS GRASAS EXTRAIDAS DE LA BORRA DE CAFE: ESTERIFICACION CON H₂SO₄ y TRANSESTERIFICACION CON KOH. *CIENCIA E INGENIERIA NEOGRANADINA*, 29, 53-66. doi:10.18359/rcin.2899
- ALVAREZ, J. A. (2013). Obtención de biodiésel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del refugio. *Tesis que como requisito para obtener el grado de maestría en ciencias en energías renovables con especialidad en biomasa*. CIMAV, Chihuahua, Mexico. Obtenido de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/349/1/Tesis%20Juan%20Antonio%20Alfonso%20Alvarez.pdf>
- BELTRAN MORENO, I. K., & ALVARADO ROMERO, C. A. (2020). *PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL A PARTIR DE ETANOL CON ACEITE DE PALMA REFINADO (RBD) USANDO CENIZAS VOLANTES RESIDUALES COMO CATALIZADOR HETEROGÉNEO DE LA INDUSTRIA PAPELERA*.
- BORBOR, V. V., & VELASTEGUI, J. L. (2017). "Caracterización de mezclas de diésel-biodiesel a diferentes proporciones con el fin de minimizar los impactos ambientales generados por el consumo de combustibles fósiles". *TRABAJO FINAL DE LA MATERIA INTEGRADORA PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE: INGENIERO QUIMICO*. ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, Guayaquil, GUAYAS, ECUADOR. Recuperado el 18 de AGOSTO de 2020, de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/128413/D-CD102919.pdf>
- CARO-BECERRA, J., VIZCAÍNO-RODRÍGUEZ, L., LUJAN-GODÍNEZ, R., & RUIZ-MORALES, M. d. (2016). BIOCOMBUSTIBLES(ENERGIAS RENOVABLES) UTILIZANDO RESIDUOS. *REVISTA DE ENERGIA QUIMICA Y FISICA*, 9(3), 1-13.

- De la Rosa Ramos, L. R., Henríquez Montero, E., Sánchez Tuirán, E., & Ojeda Delgado, K. A. (2015). Diseño y simulación de una planta para la producción de biodiésel a partir de *Jatropha curcas* L. en el departamento de Bolívar. *Revista ION*, 28(1), 73-85. Recuperado el 17 de FEBRERO de 2020
- Evera, T., Rajendran, K., & Saradha, S. (2009). Renewable Energy. En *Renewable Energy* (págs. 762-765). Suecia.
- FREEDMAN, PRYDE, E., & MOUNTS, T. (1984). Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 61(10), 1638-1643. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02541649>
- GARCIA MARTINEZ, E. M., FERNANDEZ SEGOVIA, I., & FUENTES LOPEZ, A. (26 de JUNIO de 2014). *REPOSITORIO INSTITUCIONAL UPV*. Obtenido de UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA: <http://hdl.handle.net/10251/38367>
- GOÑI DELION, J. C., & ROJAS DELGADO, M. (2014). COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS EN MOTORES DE COMBUSTION INTERNA. *INGENIERIA INDUSTRIAL*(32), 199-229. doi:<https://doi.org/10.26439/ing.ind2014.n032.122>
- Google maps. (2020). *Google maps*. Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps>
- INEN, I. (14 de Junio de 2013). *Servicio Ecuatoriano de Normalizacion*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2482.pdf>
- Kaplan, C. A. (2006). Performance characteristics of sunflower methyl esters as biodiesel. . *Energy Sources*, 751–755. doi:<https://doi.org/10.1080/009083190523415>
- Karavalakis, G., & Stournas, S. (2010). *Evaluation od the oxidation stability of diesel/biodiesel blends*. Investigacion . Recuperado el 13 de Agosto de 2020, de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/009083190523415>
- Knothe, G., Gerpen, J. V., & Krahl, J. (2005). *The Biodiesel Handbook*. Champaign, Illinois: AOCS PRESS.
- Kusdiana, D., & Saka, S. (2004). Effects of water on biodiesel fuel production by supercritical methanol treatment. *Bioresour Technol*, 289-295. doi:10.1016 / s0960-8524 (03) 00201-3
- Laborde, M., Gonzalez, M., Ponce, J., Pagano, A., & Gely, M. (2017). OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ESTERIFICACIÓN DE ACEITES VEGETALES USADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL. (C. Rojas, Ed.) *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 8(1), 17-30.
- Ma, F., & Hanna, M. A. (Octubre de 1999). Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 70(1), 1-15. doi:[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00025-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00025-5)
- MAFLA, C., BENAVIDES, I., ERIK, H., & RAMIREZ, F. (2018). Caracterizacion y analisis comparativo del biodiesel a base de higuera B10, respecto a diesel comercial de alta calidad. *INNOVA RESEARCH JOURNAL*, 3(7), 53-60.
- Marcos, M., & Marcos, F. (2008). Coleccion en Energias renovables . En *Los biocombustibles* (pág. 68). Barcelona : 2da edicion .
- MARTINEZ PORTILLO, C. A., & MENJIVAR GONZALEZ, M. C. (2013). PROPUESTA DE UN MANUAL DE METODOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS DEL BIODIESEL (B100) PARA EL

LABORATORIO DE BIOCOMBUSTIBLES DEL CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA Y FORESTAL (CENTA). *TRABAJO DE TITULACION PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIATURA EN QUIMICA Y FARMACIA*. UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA, SAN SALVADOR, EL SALVADOR.

- Mazo, P., Galeano, L., Restrepo, G., & Rios, L. (Agosto de 2007). ESTERIFICACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS LIBRES (FFA) DEL ACEITE CRUDO DE PALMA. CALENTAMIENTO CONVENCIONAL VS MICROONDAS. *Scientia et Technica*, 461-465.
- Medina Villadiego, M., Ospino Roa, Y., & Tejeda Benítez, L. (2015). Esterificación Y Transesterificación De Aceites Residuales Para Obtener Biodiesel. *Luna Azul*, 25-34. doi:10.17151/luaz.2015.40.3
- OCDE, & FAO. (2017). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas, Estadísticas de la OCDE sobre agricultura (base de datos)*. doi: <http://dx.doi.org/10.1787/>
- OROZCO AVILA, F. D. (2015). Biodiesel: Estudios Analíticos y Desarrollo de Métodos de Análisis para el Control de Calidad. *Tesis de doctor en química*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR, Bahia Blanca, Argentina.
- PAREDES, J., & VIDAL, M. (2017). Diseño y construcción de una planta de producción de biodiesel a partir de aceite vegetal reciclado. *Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Mecánico*. UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ, Quito, Pichincha, Ecuador.
- PASCACIO, V. G., QUINTERO, A. R., & SANCHEZ, B. T. (2016). EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE GRASAS Y ACEITES RESIDUALES DE COCINA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL: UN CASO DE ESTUDIO. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 32(3), 303-313.
- QUISPE, P. C. (2019). *Efecto de la temperatura, concentración del catalizador, relación molar aceite y tiempo de transesterificación en el rendimiento y poder calórico del biodiesel obtenido a partir del aceite de semilla de chirimoya*. Huancavelica - Perú. Recuperado el 2 de Agosto de 2020, de <http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/3096/TESIS-2019-ING.%20AGROINDUSTRIAL-CUICAPUSA%20QUISPE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- RAMOS, F. D., DIAZ, M. S., & VILLAR, M. A. (01 de 01 de 2016). BIOCOMBUSTIBLES. *Ciencia Hoy*, 25(147), 67-73. Obtenido de <http://cienciahoy.org.ar/2016/01/biocombustibles/>
- Rojas, A. F., Canchala, M. J., & Torres, H. G. (2016). *PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES USADOS DE COCINA*. Palmira - Colombia. Recuperado el 6 de Agosto de 2020, de <http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/eventos/siquia20130429/siquia2009pon10.pdf>
- Romero, S. (2010). Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fosiles. *Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat.*
- RUIZ, G. (15 de 03 de 2018). *ERENOVABLE*. Obtenido de Erenovable: <https://erenovable.com/el-biodiesel-el-origen-y-sus-ventajas/>

- Saavedra, R. M., García, H. J., Pinto, M. I., & Baigorí, M. D. (2018). Biodiesel a partir de aceite usado de locales gastronómicos: efecto de la temperatura de reacción. *Redalyc*, 5, Extensionismo, Innovación y Transferencia tecnológica . Recuperado el 9 de Agosto de 2020
- SALINAS, C. E., & GASCA, Q. V. (2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano*(157), 75-82.
- Salinas, E., & Gazca, V. (2009). Los Biocombustibles. *Redalyc*, 77-79. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32512739009>
- Sánchez, N. S. (2015). *Obtención de biodiesel mediante la transesterificación e aceite de ricino y grasas animales. Aprovechamiento energético de la glicerina como subproducto del proceso*. TESIS DOCTORAL , Universidad de Extremadura, Extremadura - España. Recuperado el 11 de Agosto de 2020, de <http://hdl.handle.net/10662/3085>
- SCHWABO, A., DYKSTRA, G., SELKE, E., SORENSON, S., & PRYDE, E. (Noviembre de 1988). Diesel Fuel from Thermal Decomposition of Soybean Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 65(11), 1781-1786. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02542382>
- Sharma, Y., Singh, B., & Upadhyay, S. (2008). Advancements in development and characterization. *Elsevier*. Recuperado el 28 de Junio de 2020, de <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.01.014>
- Stratta, J. (2000). Biocombustibles: Los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel. *Redalyc*. Recuperado el 25 de julio de 2020
- TERAN, D., & POSADA, M. (2019). OBTENCIÓN DE BIODIESEL DE TERCERA GENERACIÓN A PARTIR DE LA PRODUCCIÓN DEL CONTENIDO LIPÍDICO DEL CULTIVO DE LA MICROALGA CHLORELLA SP DE ORIGEN MARINO. (TRABAJO DE TITULACION). UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, GUAYAQUIL.
- TermoPichincha, C. E. (2015). *Corporación eléctrica del Ecuador*. Obtenido de <https://unidades1.celec.gob.ec/termopichincha/index.php/retos-empresariales/proyectos-de-generacion-no-convencional/proyecto-biocombustible>
- TORRES ALDACO, A., CASTILLO BARRAGAN, V., LUGO LEYTE, R., LUGO MENDEZ, H., CERVANTES RUIZ, J., & AGUILAR VALDIVIA, R. (SEPTIEMBRE de 2015). PODER CALORIFICO INFERIOR DE BIODIESEL DE DISTINTAS FUENTES Y SU DESEMPEÑO EN EL MOTOR. *SOCIEDAD MEXICANA DE TERMODINAMICA*, 325-333. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/314150275_PODER_CALORIFICO_INFERIOR_DE_BIODIESEL_DE_DISTINTAS_FUENTES_Y_SU_DESEMPEÑO_EN_EL_MOTOR#:~:text=El%20biodiesel%20tiene%20un%20poder,en%20los%20gases%20de%20emisiones.
- TORRES-RIVERO, L. A., BEN-YOUSEFF, C., ALCOCER-T, B., & DE LA ROSA-G, D. (Diciembre de 2017). Efecto de la temperatura y del tiempo de reacción sobre la esterificación y la transesterificación de aceites comestibles usados. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 4(13), 19-35.
- Vázquez, M. J. (2012). *EFFECTO DEL TIPO DE ALCOHOL EN LA PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL RESIDUAL*. Mexico. Recuperado el 11 de Agosto de 2020
- VELIZ BAQUERIZO , T. D. (2019). OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL FURFURAL A PARTIR DE LOS RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA.

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Guayas, Ecuador.

Zanchett Groth , M., Bellé, C., Zanchett Groth, M., Flores Roza-Gomez, M., & Cericato, A. (2016). Producción y viabilidad del uso de biodiesel proveniente de aceite residual de fritura. *Agrociencia Uruguay*, 20(2), 36-42. Recuperado el 14 de Agosto de 2020, de http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482016000200006&lng=es&tlng=es.

ZIEJEWSKI, M., KAUFMAN, K. R., SCHWAB, A., & PRYDE, E. (1984). Diesel Engine Evaluation of a Nonionic Sunflower Oil-Aqueous Ethanol Microemulsion. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 61(10), 1620-1626. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02541646>

4.7 Anexos

4.7.1 Anexo 1: Análisis de la muestra de biodiesel

 UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD LABORATORIOS AGUAS-PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL Cda. Universitaria Salvador Allende Teléfono: 22390947 - Fax: 2289883 Guayaquil - Ecuador		
---	--	---

INFORME DE ANÁLISIS
LABORATORIO DE PETRÓLEO

		INFORME N° : LP/047/20
SOLICITADO POR:	Victor Morán Gun ¹	FECHA DE EMISIÓN: 4/9/2020
EMPRESA:		
DIRECCIÓN:	Alborada 6ta Etapa Mz 1 V ¹	
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN:	1/9/2020	09H39
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:	1/8/2020	
FECHA DE CULMINACIÓN DE ANÁLISIS:	3/9/2020	

BIODIESEL ¹							
DETERMINACION	UNIDAD	METODO		U	RESULTADO	ESPECIFICACION	
		ASTM	INTERNO			MIN.	MAX.
PIE	°C	D-86-20	PEE/UCC/1P/01		285		
	5%				322		
	10%				324		
	20%				327		
	30%				328		
	40%				330		
	50%				331		
	60%				332		
	70%				334		
	80%				335		
	90%				345		360
	95%				353		
PFE					358		
% Recuperado					97		
% Residuo					2		
% Pérdida					1		
Gardos API		D-1298-12b			28,3		
Densidad 15°C	Kg/m ³	D-1298-12b			885	860	900
Poder calorífico	BTU/Lb	D-240-17			17 105		
Punto de Inflamación c.c	°C	D-93-20	PEE/UCC/1P/03		150	120	
Viscosidad Cinemática 40°C	mm ² /seg	D-445-19a	PEE/UCC/1P/04		4,635	3,5	5
Lámina de cobre	No	D-130-19			1b		3
Cenizas Sulfatadas	%op	D-874-13			0,009		0,02
Índice de cetano calculado		D-976-06			52,263	49	
Contenido de agua	%v	D-95-13			0,100		

Temperatura amb. : 20 °C

Observaciones:

Los análisis fueron realizados de acuerdo al ASTM STANDARD

ELIZABETH MATILDE GARCIA PILOSO
Firma Autorizada por el ICBT/PT/14/11/13
 Ing. Elizabeth Matilde García Piloso
 Director Laboratorio de Petróleo y Medio Ambiente
 Universidad de Guayaquil
Autorizado: Ing. Elizabeth García Piloso
DIRECTOR LABORATORIO DE PETRÓLEO

Nota:
^a Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la muestra a ensayo.
^b Queda prohibido la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.
^c (1) Información suministrada por el cliente
^d Las especificaciones corresponden a la Norma NTE INEN 2482 Biodiesel

4.7.2 Anexo 2: Análisis de acidez libre de la muestra de Avu

R01-PG23-PO02-7.8

Informe: 20-09/0005-M001

Datos del Cliente

Nombre:	MORÁN VICTOR JAVIER	Teléfono:	0990129443
Dirección:	Sauces 7 Mz 428 V. 1		

Identificación de la muestra / etiqueta

Nombre:	Aceite vegetal usado	Código muestra:	20-09/0005-M001
Marca comercial:	N/A	Lote:	N/A
Normativa de Referencia:	NTE INEN 34:2012 MEZCLAS DE ACEITES VEGETALES COMESTIBLES	Fecha elaboración:	N/A
Envase:	Envase plástico	Fecha expiración:	N/A
Conservación de la muestra:	Ambiente Fresco y Seco - Zona Climática IV	Fecha recepción:	02/09/2020
Fecha análisis:	02/09/2020	Vida útil:	N/A
Contenido neto declarado:	N/A		
Presentaciones:	N/A		
Cond. climáticas del ensayo:	Temperatura 22.5 °C ± 2.5 °C y Humedad Relativa 55% ± 15%		

Análisis Físico - Químicos

Ensayos realizados	Unidad	Resultado	Requisitos	Métodos/Ref.
Acidez libre (como ácido oleico) *	%	1.06	Max: 0.2	ISO 660:2013 *

Las opiniones / interpretaciones / etc. que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

* Observaciones:

Los resultados emitidos corresponden exclusivamente a la muestra y a la información proporcionada por el cliente.

La muestra analizada NO cumple con el requisito bromatológico de Acidez libre (como ácido oleico) solicitado por el cliente para MEZCLAS DE ACEITES VEGETALES COMESTIBLES, según la Norma NTE INEN 34:2012

Anexo 2: Análisis de acidez libre de la muestra de Avu

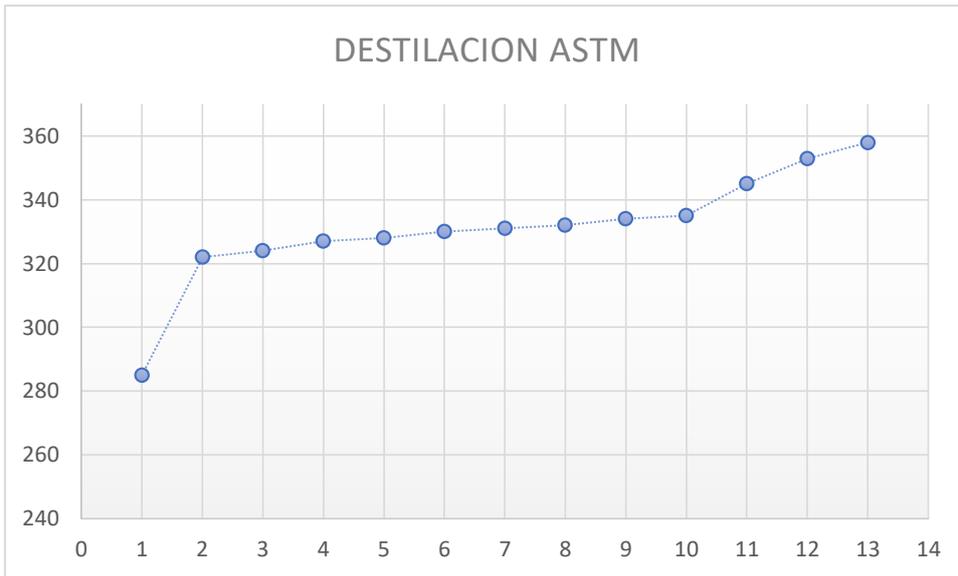
Fuente: Autores

4.7.3 Anexo C: Destilación ASTM

En la siguiente tabla se presenta los datos de la destilación ASTM del biodiesel obtenido.

Tabla 21: Datos de la destilación ASTM para la gráfica de la curva.

% de Volumen	Temperatura °C
PIE	285
5	322
10	324
20	327
30	328
40	330
50	331
60	332
70	334
80	335
90	345
95	353
PFE	358
Fuente: Autores	



Anexo 3: Destilación ASTM

Fuente: Autores

4.7.4 Anexo 4: Equipo de trabajo



Anexo 4: Equipo de trabajo

Fuente: Autores

4.7.5 Anexo 5: Picnómetro utilizado para medir la densidad del aceite



Anexo 5: Picnómetro utilizado para medir la densidad del aceite

Fuente: Autores

4.7.6 Anexo 6: Aireador utilizado para el sistema de limpieza por aireación



Anexo 6: Aireador utilizado para el sistema de limpieza por aireación

Fuente: Autores