



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente

Carrera de Ingeniería Agroindustrial

TEMA:

“OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL EFLUENTE GENERADO
DURANTE EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA”

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Ingeniería Agroindustrial.

AUTORA:

Nancy Sofía Duffey Castillo

DIRECTOR:

Ing. Herminia Sanaguano Salguero. PhD

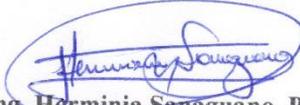
Guaranda - Ecuador

2022

TEMA:

“OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL EFLUENTE GENERADO DURANTE EL
PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA”

REVISADO Y APROBADO POR:



Ing. Herminia Sanaguano. PhD

DIRECTORA



Ing. Juan Gaibor Chávez. PhD

BIOMETRISTA



Ing. Eavian Bayas Morejón. PhD

REDACCION TECNICA

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

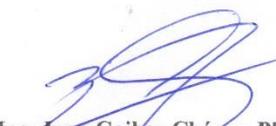
Yo Nancy Sofia Duffey Castillo, portadora de la CI: 0202414645, declaro que el trabajo y los resultados presentes en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y las referencias bibliográficas que se incluye han sido consultadas y citadas con su respectivo autor (es).

La Universidad Estatal de Bolívar puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo estipulado por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional vigente.




Nancy Sofia Duffey Castillo
CI: 0202414645
AUTORA


Ing. Herminia Sanaguano. PhD
CI: 0601587280
DIRECTORA


Ing. Juan Gaibor Chávez. PhD
CI: 0201051687
BIOMETRISTA


Ing. Favian Bayas Morejón. PhD
CI: 0201811916
REDACCIÓN TÉCNICA

20220201002P00460 DECLARACION JURAMENTADA
OTORGA: NANCY SOFÍA DUFFEY CASTILLO
CUANTIA: INDETERMINADA
DI 2 COPIAS



En la ciudad de Guaranda, provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy día viernes veinticinco de marzo de dos mil veintidós, ante mí DOCTOR HERNÁN RAMIRO CRIOLLO ARCOS, NOTARIO SEGUNDO DE ESTE CANTÓN, comparece la señora Nancy Sofía Duffey Castillo, de estado civil casada, por sus propios derechos. La compareciente es de nacionalidad ecuatoriana, mayor de edad, domiciliada en la calle Adolfo Páez doscientos cincuenta y ocho, parroquia Guanujo, cantón Guaranda provincia Bolívar, con celular número: cero nueve nueve cinco uno nueve cinco tres cuatro cero, correo electrónico: sofia-duffey@gmail.com, a quien de conocerla doy fe en virtud de haberme exhibido su cédula de ciudadanía en base a la que procedo a obtener su certificado electrónico de datos de identidad ciudadana, del Registro Civil, mismo que agrego a esta escritura como documento habilitante; bien instruida por mí el Notario en el objeto y resultados de esta escritura de Declaración Juramentada que a celebrarla procede, libre y voluntariamente.- En efecto juramentado que fue en legal forma previa las advertencias de la gravedad del juramento, de las penas de perjurio y de la obligación que tiene de decir la verdad con claridad y exactitud, declara lo siguiente: “Que previo a la obtención del Título de Ingeniera Agroindustrial, otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente, manifestó que los criterios e ideas emitidas en el presente Proyecto de Investigación Titulado: **“OBTENCIÓN DE BODIESEL A PARTIR DEL EFLUENTE GENERADO DURANTE**

EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA”, es de mi exclusiva responsabilidad en calidad de autora, además autorizo a la Universidad Estatal de Bolívar hacer uso de todos los contenidos que me pertenece o parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación. Es todo cuanto tengo que decir en honor a la verdad”. Hasta aquí la declaración juramentada que junto con los documentos anexos y habilitantes que se incorpora queda elevada a escritura pública con todo el valor legal, y que la compareciente acepta en todas y cada una de sus partes, para la celebración de la presente escritura se observaron los preceptos y requisitos previstos en la Ley Notarial; y, leída que le fue a la compareciente por mí el Notario, se ratifica y firma conmigo en unidad de acto quedando incorporada en el Protocolo de esta Notaría, de todo cuanto DOY FE.

Sofia Duffey
Nancy-Sofia Duffey Castillo
C.C. 0202414645

Hernán Ramiro Criollo Arcos
DR. HERNÁN RAMIRO CRIOLLO ARCOS
NOTARIO SEGUNDO DEL CANTÓN GUARANDA

Se otorgó ante mi y en fe de ello confiero ésta 3 copia certificada, firmada y sellada en Guaranda, 25 de Marzo del 2022.

Hernán Ramiro Criollo Arcos
Dr. Hernán Criollo Arcos
NOTARIO SEGUNDO DEL CANTÓN GUARANDA



Documento [Mesas_Infra_19_Marzo_2022.docx](#) (0130899228)

Presentado 2022-03-19 17:51 (-05:00)

Recibido por jgabor@web.edu.ec

Mensaje [Analisis documento](mailto:jgabor@web.edu.ec)

7% de esta 28 paginas, se componen de texto presente en 10 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

<input type="checkbox"/>	OBTENCION DE BODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL USADO EN FRUTURAS DE...
<input type="checkbox"/>	biodesel.docx
<input type="checkbox"/>	TESSIS_USERID_Chacon.docx
<input type="checkbox"/>	https://docplayer.es/sumo/215527085-Universidat-politecnica-sallema-de-sevilla
<input type="checkbox"/>	https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/54885/1/54885-10MEING_Alt
<input checked="" type="checkbox"/>	Evaluacion_de_la_Capacidad_de_Depuracion_.docx

100% #1. Activo

No se pueden mostrar el contenido del documento de origen.

Posibles razones:

1. El documento se guardo en la seccion URKUND Partner y aparece como inaccesible. Si usted no posee este libro, tiene que comprarlo por medio del proveedor.
2. El autor ha eliminado el documento como fuente visible en el Archivo URKUND

Remitente y receptor de informacion esta disponible con solo pasar el puntero del raton sobre el nombre de la fuente anterior.

Archivo de registro Urkund: Universidad de Santander / Evaluacion_de_la_Capacidad_d... 100%

el fruto del racimo, el fruto es enviado al orgenitor por medio de un elevador, el racimo viene es

llevado al campo para utilizarlo como abono organico. 2.2.5.4. Etrouccion Se extrae

meccanicamente el aceite contenido en el mesocarpio. Donde se rompe

mediante calor y presion meccanica las celdas que contienen el aceite del mesocarpio.

La presion aplicada debe ser tal que se extraiga la mayor cantidad de aceite y se minimice la

rotura de nueces y almendras. 2.2.5.5. Clarificacion Esta conformado por un tanque clarificador

continuo de aceite, dilapidado para separar el aceite del agua y los solidos con los cuales estan

mezclados. En este tanque es necesario tener una dilucion adecuada para mejorar la decantacion

estatica y una altura optima entre la salida del aceite clarificado y el fondo, para lograr un trabajo

continuo y acelerado en la separacion de aceite. 2.2.5.6. Almacenamiento Una vez que el ceto

alcanza los niveles de pureza requerido

es enviado a los tanques de almacenamiento para su posterior despacho.

RFV

Ing. Herminia Saraguano Salguero, PhD

Directora del proyecto

Ing. Juan Caibor Chaez PhD,

Bionetrista del proyecto

Ing. Fevian Bayas Morajon, PhD

Redactor Tecnico del proyecto

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico con todo mi corazón a mis padres, a mi Papá que desde el cielo sé que me da fuerza y todo su amor para seguir adelante, te extraño todos los días; a mi Mamá por su apoyo y amor incondicional, este logro se los debo a ustedes, los amo, van a estar orgullosos.

A mis hermanas por ser mis amigas, por sus consejos valiosos y oportunos, a mi hermosa sobrina, eres mi pedacito de cielo.

A mi esposo, a quien amo tanto y agradezco por su paciencia durante este tiempo, por estar a mi lado en todo momento y darme su amor que me motiva a cumplir lo que me proponga.

Te amo.

Por y para ustedes.

Sofía Duffey Castillo

AGRADECIMIENTO

A mi Familia por creer en mí y apoyarme siempre, por su amor que me motivó a seguir adelante aun en esos momentos en los que parecía imposible.

A los Docentes miembros de mi tribunal, por su ayuda y tiempo dedicado para lograr concluir mi trabajo de investigación.

Al Doctor Juan Gaibor Chávez, por sus consejos y ayuda desde el inicio de mi trabajo de titulación.

Al Departamento de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar, especialmente a la Blga. Isabel Paredes, por su ayuda durante el proceso experimental de mi trabajo.

A la empresa Oleos El Castillo por abrirme sus puertas, brindarme información y ayudarme con la materia prima que se empleó para esta investigación.

Sofía Duffey Castillo

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
RESUMEN	XIX
SUMMARY	XX
CAPÍTULO I.....	21
1. Introducción	21
CAPÍTULO II	24
2. Problema.....	24
2.1. Planteamiento del problema.....	24
2.2. Situación problema.....	24
2.3. Formulación del problema	24
2.4. Sistematización del problema.....	25
CAPITULO III.....	26
3. Marco teórico	26
3.1. Palma africana	26
3.1.1. Generalidades.....	26
3.1.2. Taxonomía	27
3.2. Aceite de palma africana	27

3.2.1.	Generalidades.....	27
3.2.2.	Aceite de palma en el mundo.....	27
3.2.3.	Aceite de palma en el Ecuador.....	28
3.2.4.	Empresas productoras de aceite de palma	31
3.2.5.	Proceso de extracción de aceite de palma.....	32
3.2.6.	Generación de residuos.....	35
3.3.	Efluente generado en la extracción de aceite crudo de palma (POME).....	37
3.4.	Lodo de palma (SPO).....	39
3.4.1.	Características del lodo de palma	40
3.5.	Biodiesel.....	40
3.5.1.	Definición	40
3.5.2.	Formación química del biodiesel	41
3.5.3.	Variables que intervienen en la reacción de transesterificación	43
3.5.4.	Características del Biodiesel.....	45
CAPITULO IV		47
4.	Marco Metodológico	47
4.1.	Localización de la investigación	47
4.2.	Ubicación de la investigación	47
4.3.	Situación geográfica y climática	47
4.4.	Zona de vida (zonificación ecológica).....	48

4.5.	Materiales.....	48
4.5.1.	Material experimental.....	48
4.5.2.	Materiales de campo.....	48
4.5.3.	Materiales de oficina.....	49
4.5.4.	Materiales de laboratorio.....	49
4.5.5.	Equipos.....	50
4.5.6.	Material de bioseguridad.....	51
4.6.	Métodos.....	52
4.6.1.	Factores en estudio.....	52
4.6.2.	Tratamientos.....	52
4.6.3.	Características del experimento.....	53
4.6.4.	Diseño experimental.....	53
4.7.	Análisis de varianza (ADEVA).....	54
4.7.1.	Pruebas de rangos múltiples.....	55
4.8.	Método experimental.....	56
4.8.1.	Recolección del efluente de palma.....	56
4.8.2.	Preparación de muestras.....	56
4.8.3.	Filtración.....	56
4.8.4.	Rendimiento del efluente.....	56
4.8.5.	Análisis.....	57

4.8.6.	Tratamiento del POME.....	57
4.8.7.	Análisis de calidad del biodiesel.....	58
4.9.	Análisis estadístico.....	59
CAPITULO V		60
5.	Resultados y discusión	60
5.1.	Rendimiento de la filtración y análisis de humedad, acidez, densidad e impurezas 60	
5.2.	Rendimiento del proceso de esterificación.....	61
5.3.	Resultados del rendimiento del biodiesel.....	62
5.4.	Análisis de varianza para los análisis del biodiesel.....	64
CAPITULO VI.....		87
6.	Comprobación de las hipótesis	87
6.1.	Hipótesis a verificar	87
6.1.1.	Hipótesis Nula (H_0)	87
6.1.2.	Hipótesis Alternativa (H_a)	87
CAPITULO VII		88
7.	Conclusiones y recomendaciones.....	88
7.1.	Conclusiones	88
7.2.	Recomendaciones.....	89
BIBLIOGRAFIA		90

ANEXOS.....	94
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	110

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de la Palma Africana	27
Tabla 2: Empresas productoras de aceite crudo de palma en el Ecuador	31
Tabla 3: Características del POME	38
Tabla 4: Características del Iodode aceite de palma (SPO)	40
Tabla 5: Norma INEN 2482. Requisitos del biodiesel	46
Tabla 6: Ubicación de la investigación	47
Tabla 7: Situación geográfica y climática	48
Tabla 8: Equipos de laboratorio.....	51
Tabla 9: Reactivos.....	51
Tabla 10: Factores de estudio	52
Tabla 11: Tratamientos	53
Tabla 12: Características del experimento.....	53
Tabla 13: ADEVA	55
Tabla 14: Análisis del POME	57
Tabla 15: Análisis del biodiesel.....	59
Tabla 16: Valores promedio de rendimiento de filtración, humedad, acidez, densidad, impurezas del efluente de palma.....	60
Tabla 17: Proceso de esterificación	61
Tabla 18: Rendimiento del biodiesel	62

Tabla 19: Resultado del análisis del biodiesel	63
Tabla 20: Análisis de varianza (ADEVA) para rendimiento del biodiesel	64
Tabla 21: Prueba de comparación de medias para el porcentaje de rendimiento del biodiesel por el Factor A (relación molar alcohol:aceite).....	64
Tabla 22: Prueba de comparación de medias para el porcentaje de rendimiento del biodiesel por el Factor B (porcentaje de catalizador)	66
Tabla 23: Análisis de varianza (ADEVA) para la densidad del biodiesel	67
Tabla 24: Análisis de varianza (ADEVA) para la viscosidad del biodiesel	68
Tabla 25: Prueba de comparación de medias para la viscosidad del biodiesel por el Factor A (relación molar alcohol:aceite).....	68
Tabla 26: Prueba de comparación de medias para la viscosidad del biodiesel por el Factor B (porcentaje de catalizador)	70
Tabla 27: Análisis de varianza (ADEVA) para el flash point del biodiesel	72
Tabla 28: Prueba de comparación de medias para el flash point del biodiesel por el Factor A (relación molar alcohol:aceite).....	72
Tabla 29: Prueba de comparación de medias para el flash point del biodiesel por el Factor B (porcentaje de catalizador)	74
Tabla 30: Análisis de varianza(ADEVA) para el punto de inflamacion del biodiesel	75
Tabla 31: Prueba de comparación de medias para el punto de inflamación del biodiesel por el Factor A (relación molar alcohol:aceite)	76

Tabla 32: Prueba de comparación de medias para el punto de inflamación del biodiesel por el Factor B (porcentaje de catalizador).....	77
Tabla 33: Análisis de varianza (ADEVA) para la acidez del biodiesel.....	79
Tabla 34: Prueba de comparación de medias para la acidez del biodiesel por el Factor A (relación molar alcohol:aceite)	79
Tabla 35: Prueba de comparación de medias para la acidez del biodiesel por el Factor B (porcentaje de catalizador).....	81
Tabla 36: Análisis de varianza (ADEVA) para el porcentaje de acidos grasos libres del biodiesel	83
Tabla 37: Prueba de comparación de medias para el porcentaje de acidos grasos libres del biodiesel por el Factor A (relación molar alcohol:aceite).....	83
Tabla 38: Prueba de comparación de medias para el porcentaje de acidos grasos libres del biodiesel por el Factor B (porcentaje de catalizador)	85

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Palma Africana (<i>Elaeis guineensis</i>)	26
Figura 2: Países productores de aceite de palma	28
Figura 3: Distribución del cultivo de palma africana en Ecuador	29
Figura 4: Provincias productoras de palma africana	30
Figura 5: Provincias productoras de aceite de palma	30
Figura 6: Proceso de extracción de aceite crudo de palma.....	34
Figura 7: Emisiones al aire	35
Figura 8: Residuos sólidos.....	36
Figura 9: Piscinas del efluente de palma	38
Figura 10: Dimensiones de piscinas de oxidación.....	39
Figura 11: Lodo de palma.....	40
Figura 12: Reacción de esterificación de ácidos grasos empleando un catalizador ácido	42
Figura 13: Mecanismo de reacción de transesterificación.....	43
Figura 14: Relación del factor A con relación al porcentaje de rendimiento de biodiesel	65
Figura 15: Relación del factor B con relación al porcentaje de rendimiento de biodiesel	66
Figura 16: Relación del factor A con relación a la viscosidad de biodiesel	69
Figura 17: Relación del factor B con relación a la viscosidad de biodiesel	71
Figura 18: Relación del factor A con relación al flash point de biodiesel	73

Figura 19: Relación del factor B con relación al flash point de biodiesel.....	75
Figura 20: Relación del factor A con relación al punto de inflamación de biodiesel	77
Figura 21: Relación del factor B con relación al punto de inflamación de biodiesel.....	78
Figura 22: Relación del factor A con relación a la acidez de biodiesel	80
Figura 23: Relación del factor B con relación a la acidez de biodiesel.....	82
Figura 24: Relación del factor A con relación al porcentaje de acidos grasos libres de biodiesel	84
Figura 25: Relación del factor B con relación al porcentaje de acidos grasos libres de biodiesel	86

RESUMEN

En la presente investigación se estudió el efluente generado durante el proceso de extracción de aceite crudo de palma (POME), desecho que muy poco o casi nada se ha estudiado. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue obtener biodiesel a partir del efluente generado durante el proceso de extracción de aceite crudo de palma, para lo cual se recolectó el POME de la empresa OLEOCASTILLO, ubicada en la ciudad de Santo Domingo, se le realizó un análisis físico y químico en los laboratorios de investigación de la Universidad Estatal de Bolívar, donde se identificó que contenía un gran porcentaje de ácidos grasos libres (51,23%), por lo que se realizó una esterificación previa con metanol (10:1) y ácido sulfúrico (1%) para disminuir su contenido de ácidos grasos libres al 2% y se pueda realizar la reacción de transesterificación. Para la obtención de biodiesel se aplicó un diseño experimental DCA, en arreglo factorial AxB (3x2) con tres repeticiones, empleando la relación molar de (6:1, 9:1, 12:1), y porcentaje de catalizador (0,1; 1,0%), evidenciándose que se obtiene mayor rendimiento con la relación alcohol: aceite 6:1 y al 0.6% de catalizador, lo que corresponde al tratamiento 1 (a_1b_1), obteniéndose un 79% de rendimiento. Al biodiesel obtenido se le realizaron análisis según la norma INEN 2482, se evidencio que cumple con las características para ser considerado biocombustible.

Palabras clave: POME, esterificación, transesterificación, biodiesel.

SUMMARY

In the present investigation, the effluent generated during the crude palm oil extraction process (POME), a waste that has been little or not studied at all, was studied. Therefore, the objective of the present research was to obtain biodiesel from the effluent generated during the crude palm oil extraction process, for which the POME was collected from the OLEOCASTILLO company, located in the city of Santo Domingo, a physical and chemical analysis was performed in the research laboratories of the State University of Bolivar, where it was identified that it contained a high percentage of free fatty acids (51.23%), so a previous esterification was performed with methanol (10: 1) and sulfuric acid (1%) to reduce its free fatty acid content to 2% so that the transesterification reaction could be carried out. To obtain biodiesel, a DCA experimental design was applied, in AxB factorial arrangement (3x2) with three repetitions, using the molar ratio of (6:1, 9:1, 12:1), and percentage of catalyst (0.1; 1.0%), showing that a higher yield is obtained with the ratio alcohol: oil 6:1 and 0.6% of catalyst, which corresponds to treatment 1 (a₁ b₁), obtaining a 79% yield. The biodiesel obtained was analyzed according to INEN 2482, and it was found that it complies with the characteristics to be considered a biofuel.

Key words: POME, esterification, transesterification, biodiesel.

CAPÍTULO I

1. Introducción

El hombre desde sus inicios ha buscado fuentes de energía para subsistir, una de ellas siguen siendo los combustibles derivados del petróleo, sin embargo, según el Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador (CONGOPE), son una fuente de energía no renovable, y fuente importante de contaminación del medio ambiente, (CONGOPE, 2020). En la actualidad los yacimientos de petróleo cada vez son más escasos, elevados costos de producción y bajo precio en su comercialización. Esta realidad ha llevado a la necesidad de buscar nuevas fuentes alternativas de energía, que sean amigables con el ambiente y económica, la obtención de biodiesel resulta una de las opciones más estudiadas por cumplir con los requisitos ambientales y económicos.

En la actualidad, la mayor parte de la producción del biodiesel se deriva de aceites de origen vegetal y animal. El método más estudiado para obtenerlo es la transesterificación, método que consiste en hacer reaccionar los triglicéridos encontrados en los aceites y grasas, con un alcohol, el más empleado por su bajo costo es el metanol, para producir ésteres. Esta reacción también interviene catalizadores que pueden ser, ácidos, bases o enzimas. Entre los catalizadores más empleados por su bajo costo, alta actividad de reacción y disponibilidad están, como catalizadores básicos, hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de potasio (KOH), y como catalizadores ácidos está el ácido sulfúrico (H_2SO_4).

La reacción de transesterificación puede verse afectada por ciertos factores, como presencia de agua (humedad) en la grasa o aceite, porcentaje de ácidos grasos libres (AGL),

temperatura, relación molar alcohol: aceite. Los factores más fundamentales que determinan la calidad del proceso y la vía catalítica a emplearse son, humedad y contenido de AGL. Para realizar una catálisis básica el contenido de AGL deberá ser menor al 2%, de lo contrario se tendrá formación de jabones, que dificultan la separación del biodiesel de la glicerina. En el caso que el aceite o grasa tenga más del 2% de AGL, se deberá realizar una esterificación previa, en donde se emplea catalizadores ácidos.

Para la producción de biodiesel se han empleado diversos tipos de aceites vegetales, entre ellos destacan el aceite vegetal usado (AVU), aceite de ricino, girasol, palma, entre otros. En el Ecuador según datos del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC), en el 2019 el país tenía 200.908 hectáreas sembradas de palma, de las cuales 80.363 están en Esmeraldas, provincia que produce el 41 % del fruto de palma, seguido de las provincias de Los Ríos (18,5 %) y Santo Domingo (9,9 %) (INEC, 2014). En el mismo año Ecuador exportó 187.494 toneladas métricas de aceite de palma, actualmente se encuentra detrás de Colombia y Guatemala.

En el Ecuador se encuentran 14 empresas extractoras de aceite de palma y palmiste, independientes de la industria refinadora de aceites, que se encuentran en Asociación Ecuatoriana de Extractores de Palma y sus Derivados, AEXPALMA, y 3 extractoras pertenecientes a industrias “ales”, entre ellas producen 123 Tm/hora. Estas empresas a parte de producir aceite crudo de palma, generan residuos, entre ellos el POME por sus siglas en ingles *palm oil mil effluent*, que es un desecho generado principalmente en la esterilización de la fruta y en procesos donde se requiera agua. El POME contiene agua, residuos de aceite en estado sólido que se filtraron durante el proceso de molienda.

Este residuo de aceite es un desecho del proceso de extracción de aceite crudo de palma que no es muy estudiado, y es una potencial materia prima alternativa para la obtención de biodiesel. Al ser un desecho puede reducir significativamente los costos de producción del biocombustible. Generalmente posee un porcentaje elevado de AGL, por lo que resulta imposible emplear transesterificación directa, por lo que necesariamente se realiza un pre tratamiento que sería la esterificación, con el fin de disminuir el contenido de AGL y convertirlo en una materia prima óptima para la transesterificación.

Para la realización de la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General

Obtener biodiesel a partir del efluente generado durante el proceso de extracción del aceite crudo de palma

Objetivos Específicos

- Caracterizar físico químicamente el efluente de palma generado durante el proceso de extracción de aceite crudo de palma
- Determinar el mejor tratamiento que permita obtener mayor rendimiento de biodiesel.
- Caracterizar físico químicamente el biodiesel obtenido a partir del efluente generado durante el proceso de extracción del aceite crudo de palma.

CAPÍTULO II

2. Problema

2.1. Planteamiento del problema

La actividad de producción de aceite crudo de palma es intensa en Ecuador que genera pasivos ambientales que se convierten en un problema; por ejemplo, las extractoras de aceite de palma generan un efluente con alta carga orgánica que se acumula en las instalaciones de las mismas, el cual al no recibir un tratamiento adecuado puede llegar a ser perjudicial al unirse con cuerpos de agua dulce, pese a dicho problema existe poca información del tratamiento que puede recibir. Por lo que se ha visto en este efluente una materia prima potencial para la obtención de biodiesel.

2.2. Situación problema

Las empresas extractoras de aceite de palma en su proceso agroindustrial ocasionan un impacto ambiental negativo al generar un efluente con alta carga orgánica, altos contenidos de DBO, DQO, sólidos suspendidos, entre otros, que se convierte en un foco de contaminación al no recibir el tratamiento adecuado, sin mencionar que estas empresas no tienen cuantificado la cantidad que se genera del mismo por tonelada de fruta fresca.

2.3. Formulación del problema

De acuerdo a lo mencionado y tomando en consideración las características propias del estudio, se genera la siguiente pregunta general de investigación.

¿Cómo obtener biodiesel a partir del efluente generado durante el proceso de extracción de aceite crudo de palma?

2.4. Sistematización del problema

Para poder cumplir de manera correcta el objetivo principal de la investigación se plantearon las siguientes preguntas investigativas.

¿Cuál es la composición física y química del efluente generado durante el proceso de extracción de aceite crudo de palma?

¿Cuál es el mejor tratamiento para el uso del efluente para obtener biodiesel con pruebas experimentales?

¿Cuál es la composición física y química del efluente generado durante el proceso de extracción de aceite crudo de palma?

CAPITULO III

3. Marco teórico

3.1. Palma africana

3.1.1. Generalidades

La palma africana (*Elaeis guineensis*) originalmente es nativa de África occidental, en donde hace 5.000 años sus habitantes ya practicaban la extracción de su aceite. Es una planta de clima tropical caluroso, el que le permite crecer y alcanzar su máxima altura, Ortega et al,(2016). Las primeras plantaciones a pequeña escala de palma africana en el Ecuador datan del año 1953 en la provincia de Esmeraldas, ya para el año de 1967 las ha de cultivo se incrementaron a 1,000. El cantón San Lorenzo ubicado en la provincia de Esmeraldas, para el año de 1999 cultivó 15,000 ha de palma africana. En la actualidad las provincias que cultivan palma africana son Esmeraldas, Los Ríos, Pichincha, Santo Domingo, Orellana y Sucumbíos, Sanchez,(2012).

Figura 1

Palma africana (Elaeis guineensis)



3.1.2. Taxonomía

En la tabla 1 se detalla la taxonomía de la palma africana.

Tabla 1

Características de la palma africana

Características	Descripción
Nombre científico	<i>Elaeis guineensis Jacq</i>
División	Fanerógama
Orden	Palmales
Género	Elaeis

Fuente: Melado, (2008)

3.2. Aceite de palma africana

3.2.1. Generalidades

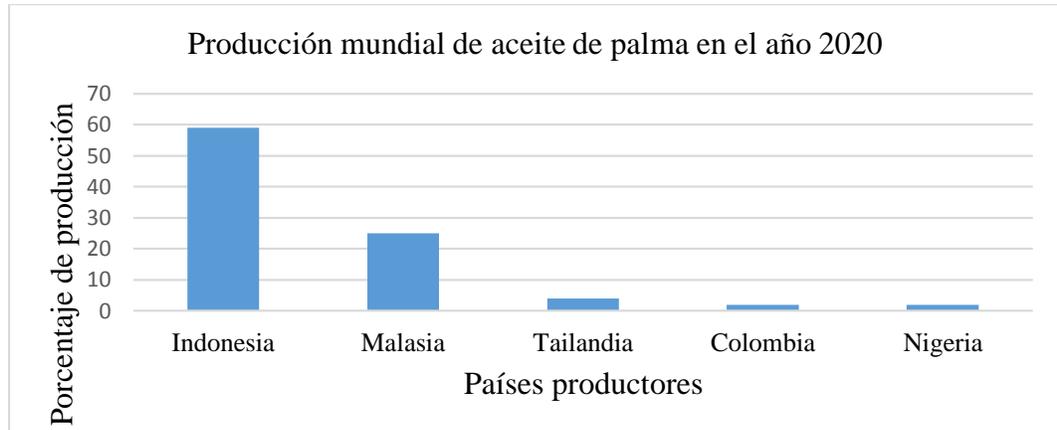
El aceite de palma es un tipo de aceite vegetal que se extrae del fruto proveniente de la palma aceitera cuyo nombre científico es (*Elaeis guineensis*). Es una planta de tronco grueso y que cuyos frutos están formados por capas: pericarpio, mesocarpio y endocarpio, de estos, del mesocarpio se extrae la pulpa que contiene el aceite, que se lo reconoce por su color rojo. El raquis se consideraba un desecho, pero en los últimos años se lo ha utilizado como abono en las plantaciones Erazo, n.d.

3.2.2. Aceite de palma en el mundo

El cultivo y producción de aceite de palma se ha convertido mundialmente en una fuente de desarrollo en el sector económico y social, debido a su alto rendimiento si se lo compara con otros cultivos para producción de aceite. La producción mundial de aceite de palma desde el año 1995 hasta el año 2015 aumentó de 15,2 millones de Tm a 62,6 millones de Tm, superando en más de 10 millones de Tm al aceite de colza, la mayor producción se ubica en Indonesia y Malasia con un 53% y 32% respectivamente. EPOA, (2017).

Figura 2

Países productores de aceite de palma



Fuente: Mesa & Azuero, (2021)

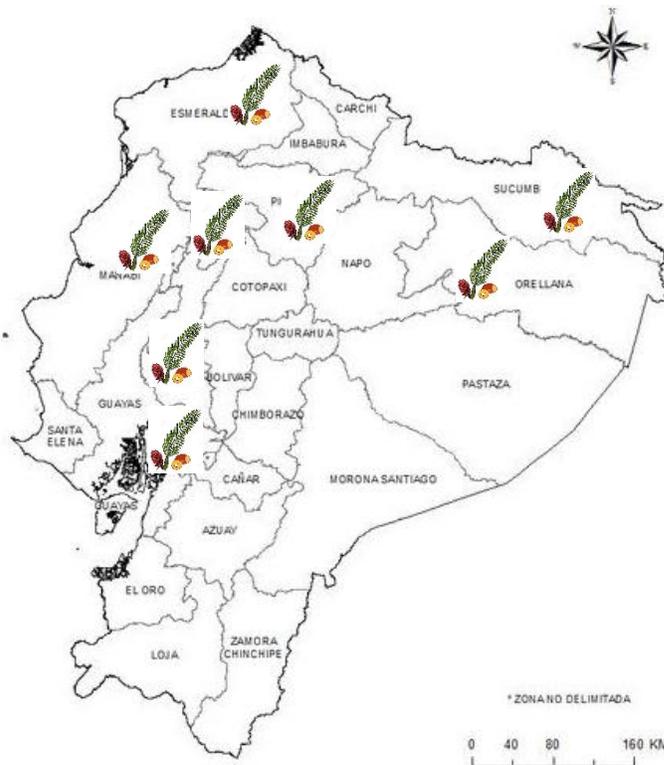
En el año 2020 se puede evidenciar que Indonesia y Malasia han tenido mayor representación en la producción de aceite de palma con un 59% y 25% que corresponde a 44,150 Tm y 18,660 Tm respectivamente, Tailandia con 4% representando a 2,640 Tm, le sigue Colombia con 2% de la producción que equivale a 1,559 Tm, y por último Nigeria con un 2% siendo 1,265 Tm de producción.

3.2.3. Aceite de palma en el Ecuador

En la actualidad el Ecuador está dentro de los países de América Latina con mayor producción de aceite de palma, generando impacto social y económico principalmente en los sectores rurales de nuestro país, ya que fomenta la generación de empleo, creación de empresas. Según la corporación financiera nacional (CFN) en el año 2019, el país registraba 55 empresas dedicadas al cultivo de palma africana, divididos en pequeña, microempresa, mediana y grande, y 16 empresas encargadas de producción de aceite crudo de palma, divididas de igual forma Corporacion Financiera Nacional, (2021).

Figura 3

Distribución de cultivo de palma africana en el Ecuador

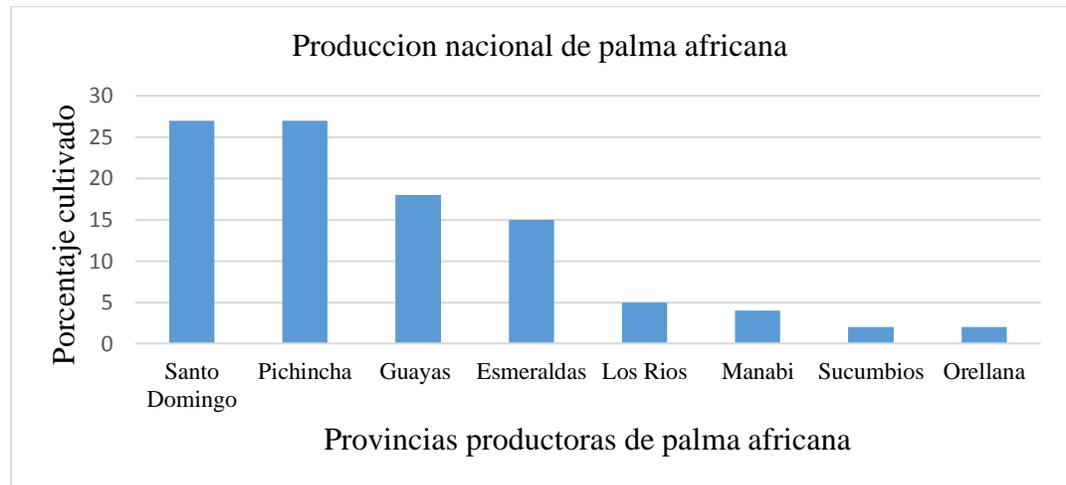


Fuente: Ministerio de turismo, (2021).

En el mapa se representa las provincias con mayor porcentaje de cultivo de palma africana, según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el 2019 a nivel nacional se sembró 246,574 ha y se cosechó 200,908 ha, teniendo un total de 2,275.948 Tm como producción (INEC-ESPAC, 2020).

Figura 4

Provincias productoras de palma africana

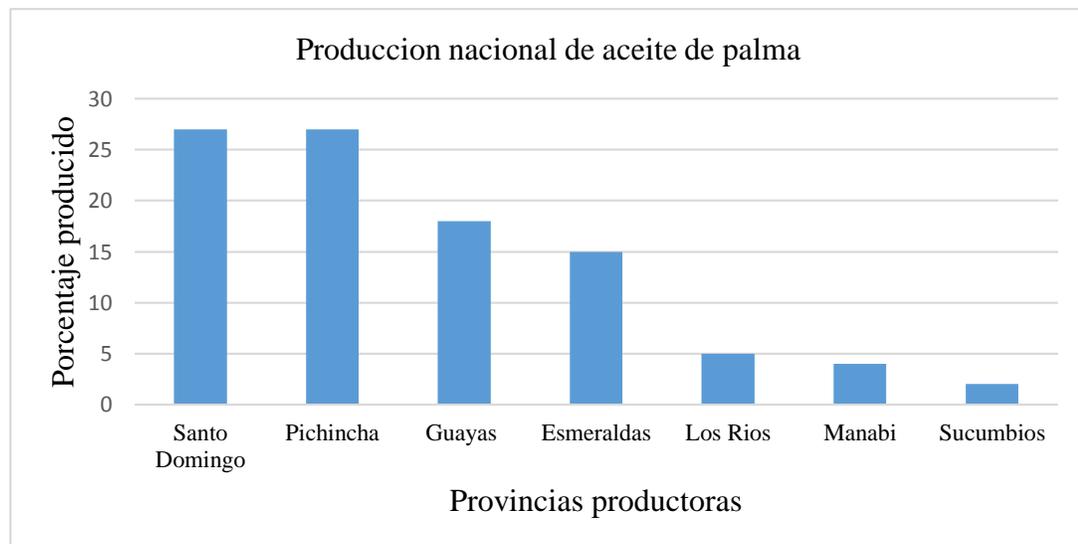


Fuente: Corporacion Financiera Nacional, (2021).

De acuerdo a los datos obtenidos en el 2021 por CFN, se evidencia que existen 8 provincias que lideran la producción de palma africana, existe un total de 55 empresas entre pequeña, microempresa, mediana y grande que proveen de empleo a 2418 personas.

Figura 5

Provincias productoras de aceite de palma



Fuente: Corporacion Financiera Nacional, (2021).

3.2.4. Empresas productoras de aceite de palma

De acuerdo a la revista EKOS en el Ecuador existen aproximadamente 30 empresas que se encargan de la extracción de aceite crudo de palma, estas empresas impulsan al crecimiento de la oferta de aceite de palma en el país. A nivel nacional en el año 2019, se cultivaron 246,000 ha de palma, con una producción alrededor de 2,5 y 3 millones de Tm de fruta de palma y más de 450,000 Tm de aceite, equivalentes a más de 350 millones de dólares, gracias a esto el Ecuador se sigue posesionando como uno de los países con gran producción de aceite de palma, a pesar de que existe una deficiencia tecnológica para poder refinar el aceite crudo de palma.

En la tabla 2 se detalla las empresas registradas encargadas de la producción de aceite crudo de palma y refinado en el país y su ubicación.

Tabla 2

Empresas productoras de aceite crudo de palma en el Ecuador

Empresas	Ubicación
Agrícola “La Concordia”	Quinindé km 43
AGROACEITES	Quevedo km 42
AGROPARAISO	Quevedo km 51
AGROSEXTA 1	Quinindé km 82
AGROSEXTA 2	Las Golondrinas
AIQUISA	Quinindé
ALESPALMA	San Lorenzo
ALZAMORA CORDOVEZ	Quinindé km 34
DANAYMA	Quinindé km 54
EXTRAZUR	Quevedo km 65
LA JOYA	Plan piloto

OLEOCASTILLO	Las Golondrinas
OLEORIOS	Vía Quevedo-Ventanas km 20
OLITRASA	El Triunfo
PALESEMA	San Lorenzo
PALMAR DEL RIO	El Coca
PALMERAS DE LOS ANDES	San Lorenzo
PALMERAS DEL ECUADOR	Shushufindi
PALMEX	San Jacinto del Bua
PALMISA	Quevedo km 62
PAMELA	El Coca
PEXA	Quinindé km 46
PROVASA	Valle del Sade
QUEVEPALMA	Quevedo km 95
RIO MANSO	Quevedo km 41
SAN CARLOS	El Vergel
SOPALIN	La Independencia
SOZORANGA	Matamba
TARRAGONA	Quinindé km 29
UNIPAL	Quinindé km 60

Fuente: EKOS, (2020)

3.2.5. Proceso de extracción de aceite de palma

3.2.5.1. Recepción de fruto

Consiste en pesar el camión lleno de fruta proveniente de los productores agrícolas y luego de descargarlo para obtener por diferencia el peso neto de la fruta. Esto ayuda también para conocer el rendimiento del proceso.

3.2.5.2. Esterilización

Es la etapa más importante del proceso; los racimos de fruto fresco de palma se someten a la acción de vapor de agua, donde los factores principales son el tiempo de cocción y la temperatura, dependiendo del tamaño de los racimos y del grado de madurez de los mismos.

3.2.5.3. Desfrutado

Una vez esterilizados los racimos ingresan a un tambor rotatorio que separa el fruto del racimo, el fruto es enviado al digestor por medio de un elevador y el racimo vacío es llevado al campo para utilizarlo como abono orgánico.

3.2.5.4. Extracción

Se extrae mecánicamente el aceite contenido en el mesocarpio. Donde se rompe mediante calor y presión mecánica las celdas que contienen el aceite del mesocarpio. La presión aplicada debe ser tal que se extraiga la mayor cantidad de aceite y se minimice la rotura de nueces y almendras.

3.2.5.5. Clarificación

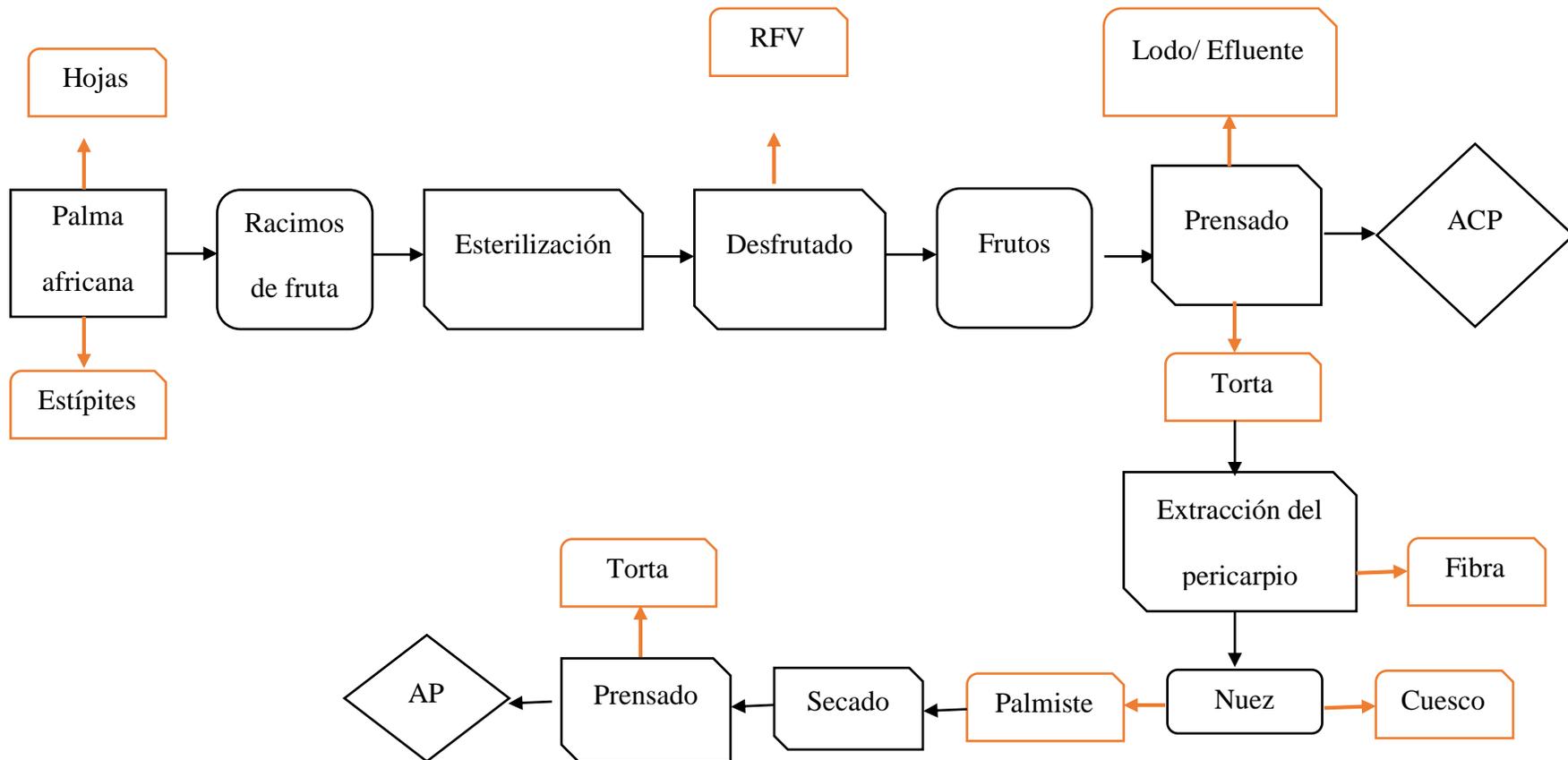
Está conformado por un tanque clarificador continuo de aceite, diseñado para separar el aceite del agua y los sólidos con los cuales están mezclados. En este tanque es necesario tener una dilución adecuada para mejorar la decantación estática y una altura óptima entre la salida del aceite clarificado y el lodo, para lograr un trabajo continuo y acelerado en la separación de aceite.

3.2.5.6. Almacenamiento

Una vez que el aceite alcanza los niveles de pureza requerido es enviado a los tanques de almacenamiento para su posterior despacho.

Figura 6

Proceso de extracción de aceite crudo de palma



Fuente: Soria, (2019).

3.2.6. Generación de residuos

Del proceso de extracción antes mencionado se obtiene no solo aceite crudo, sino también una serie de residuos agroindustriales, entre ellos los racimos vacíos, cascaras, fibra, que son residuos sólidos que poseen alrededor de 55%-65% de humedad y altos contenidos de sílice, los cuales son usados junto a las fibras del mesocarpio como combustibles dentro de las calderas, a su vez estos producen contaminantes al aire, ya que la mezcla de los materiales que se emplea como combustible tiene una combustión incompleta, se produce humo negro y cenizas, que representan problemas de eliminación o disposición.

Figura 7

Emisiones al aire



Figura 8

Residuos sólidos



En el caso de los residuos líquidos, estos generan más impactos negativos al ambiente en comparación con los sólidos, y se estima que son generados en una cantidad tres veces mayor que el total de aceite crudo de palma obtenido. El agua residual generada es conocida como *Palm Oil Mill Effluent (POME)*, por sus siglas en inglés, líquido viscoso y de color oscuro porque contiene gran cantidad de sólidos suspendidos.

Tabla 3

Efluentes generados en el proceso de extracción de aceite crudo de palma

Etapa del proceso	Efluente generado	Destino final
Recepción	Impureza de la fruta	Abono
Esterilización	Líquidos	Lagunas
Desfrutado	Raquis vacías	Control de maleza
	Líquidos	Lagunas
Extracción	Líquidos	Lagunas
Clarificación	Aguas y lodos	Lagunas

3.3. Efluente generado en la extracción de aceite crudo de palma (POME)

POME es el agua residual inevitable que surge de la producción de aceite de palma, se compone principalmente de agua y un pequeño porcentaje de aceite y materia sólida UCO,(2021). Se forma desde la primera etapa en la extracción como es el lavado de la fruta, así también en la esterilización del racimo, extracción de aceite, lavado y procesos de limpieza en la extractora, caldera, tanques y decantadores, es decir, el POME se forma en cada etapa o actividad que se necesite agua, no obstante en el Ecuador no se reportan datos de la cantidad de efluente que las empresas extractoras generan, sin embargo, en un estudio realizado por Malacatus & Llerena,(2017), a 5 empresas extractoras, en el país en el año 2016 se generó un promedio de $0,84 \frac{m^3}{tRFF}$, teniendo en cuenta que según la Federación de palmicultores (FEDEPAL) en el año 2016 hubo una producción de 2,823.180 Tm de fruta de palma se podría decir que en ese mismo año hubo una generación de 2,371.471 m^3 de efluente.

Tabla 4

Características del POME

Parámetros	Valores promedio
DBO	23000 mg/L
DQO	55000 mg/L
Nitrógeno Total	650 mg/L
Fosforo total	120 mg/L
Aceite	10000 mg/L
Ácidos grasos	1000 mg/L
pH	4-5
Temperatura	45°-70°C

*Fuente:*UCO, (2021).

En el efluente se puede encontrar también aguas residuales, fibra y aceite residual conocido como lodo de palma o Sludge Palm Oil (SPO) por sus siglas en inglés, Zuber et al,(2020).

Figura 9

Piscinas del efluente de palma

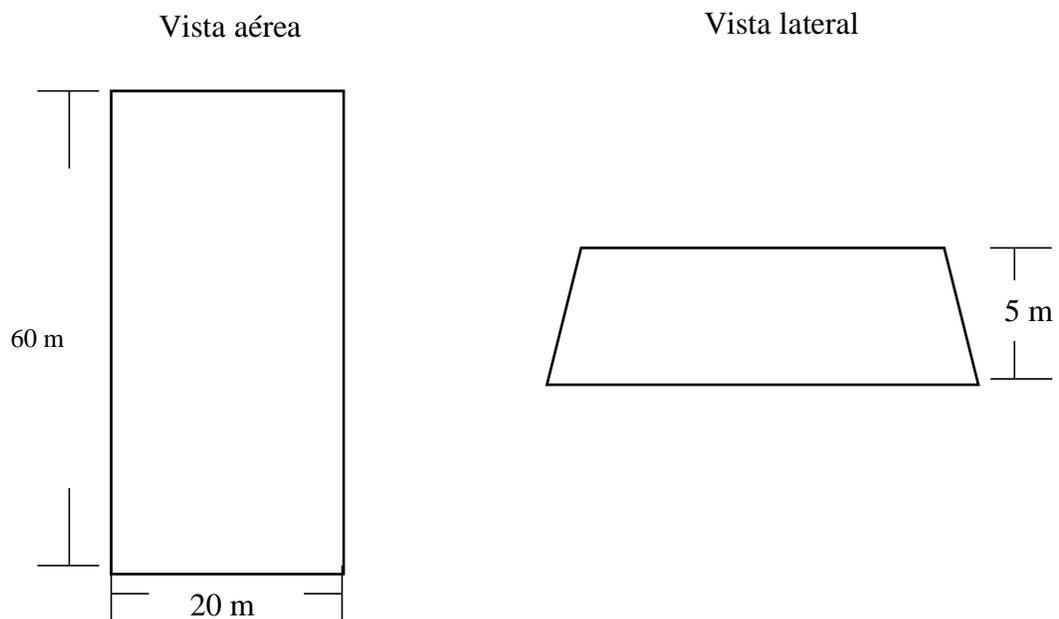


Una empresa extractora de mediana capacidad puede producir de 13 a 14 $\frac{m^3}{h}$ de efluente, que se descarga directamente a piscinas de oxidación mediante tuberías

subterráneas, las dimensiones de estas piscinas pueden variar de acuerdo a la capacidad de la planta extractora, una planta de 150 trff/año necesita lagunas de más de $17,000 \text{ m}^3$. Una ventaja de este sistema es su bajo costo, sin embargo al ser un sistema estático los lodos se acumulan en el fondo, sin mencionar que producen gases de efecto invernadero, malos olores y necesitan más de 35 días de retención, grandes volúmenes y superficies. En la figura 10 se observan las dimensiones de las piscinas de oxidación de una planta mediana Althausen, (2016)

Figura 10

Dimensiones de piscinas de oxidación



3.4. Lodo de palma (SPO)

SPO es el residuo de aceite que se encuentra en el POME. Cuando el POME se descarga en el estanque, los aceites residuales que se filtraron durante el proceso de molienda flotan en el agua. Este aceite se conoce como lodo de aceite de palma (SPO),

sustancia de color marrón oscuro maloliente que se solidifica a temperatura ambiente ,Zuber et al,(2020).

Figura 11

Lodo de palma



3.4.1. Características del lodo de palma

Tabla 5

Características del lodo de aceite de palma (SPO)

Características	Porcentaje
Materia grasa total	95 %
Humedad e impurezas	3 %
Ácidos grasos libres	50 %
Componente principal	Acido palmítico

Fuente: UCO, (2021)

3.5. Biodiesel

3.5.1. Definición

El biodiesel o éster metílico de ácido graso (FAME) por sus siglas en inglés *Fatty Acid Methyl Ester*, Oiltanking - Home,(2015), es un biocombustible producido por

transesterificación de triglicéridos con alcoholes de bajo peso molecular Alonso, (2014). Tiene una serie de ventajas respecto al diésel derivado del petróleo, al ser producido a partir de aceites vegetales o grasas animales de cualquier origen, Okechukwu et al,(2016). El Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN define al biodiesel como: “combustible compuesto de mezclas de ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadenas de carbonos medias y largas derivados de aceites vegetales o grasas animales” INEN, (2013).

3.5.2. Formación química del biodiesel

El biodiesel se produce por dos vías, transesterificación de compuestos grasos con metanol o esterificación de ácidos grasos con metanol. La reacción de esterificación se lleva a cabo la materia prima tiene un contenido de AGL elevado, con el fin de disminuirlos. En la actualidad la mayor parte del biodiesel que se produce en el mundo, se obtiene por la ruta de transesterificación. Campanelli et al,(2010).

3.5.2.1. Esterificación

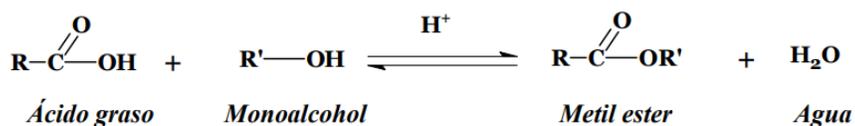
La reacción de esterificación es conocida como esterificación de Fischer debido a que en 1895 Emil Fischer y Arthur Speier la describieron por primera vez, es una reacción especial que consiste en hacer reaccionar un ácido carboxílico y un alcohol en presencia de un catalizador ácido para formar un éster. La mayoría de ácidos carboxílicos son aptos para la reacción, el alcohol utilizado debe ser generalmente un alcohol primario (metanol, etanol) o secundario (isopropílico), ya que los alcoholes terciarios (terbutílico) son susceptibles a la eliminación Monopoli, (2012).

Según Piña, (2020), la reacción de esterificación es necesaria en la adecuada obtención de biodiesel, ya que se la realiza con el fin de disminuir los AGL que están presentes en la muestra, si esta reacción no ocurre, lo que sucedería es que se tendrá

formación de jabón y por ende menor rendimiento de biodiesel. En la reacción de esterificación normalmente se emplea un catalizador para que este acelere la velocidad de la reacción, entre los catalizadores están los catalizadores ácidos, entre los más usados son el ácido clorhídrico (HCl) y el ácido sulfúrico (H₂SO₄), debido a su fuerte acidez. Molinero, (2013).

Figura 12

Reacción de esterificación de ácidos grasos empleando un catalizador ácido



Fuente: Piña, (2020)

3.5.2.1.1. Catalizadores empleados en esterificación

Para poder llevar a cabo la reacción de esterificación se emplean catalizadores ácidos y básicos, los más utilizados son los catalizadores ácidos ya que tienen que ceder protones al ácido carboxílico, los catalizadores básicos son más empleados en la reacción de transesterificación, también pueden ser homogéneos y heterogéneos. Los catalizadores homogéneos de tipo ácido más utilizados son los tradicionales ácidos de Brønsted como el H₂SO₄, HCl, H₃PO₄, HBr, ácidos sulfónicos como el p-toluensulfónico, o también los de Lewis como el SnCl₄, BCl₃ Molinero, (2013). En la actualidad se están estudiando otro tipo de catalizadores que mejoren la reacción química, uno de ellos son las enzimas.

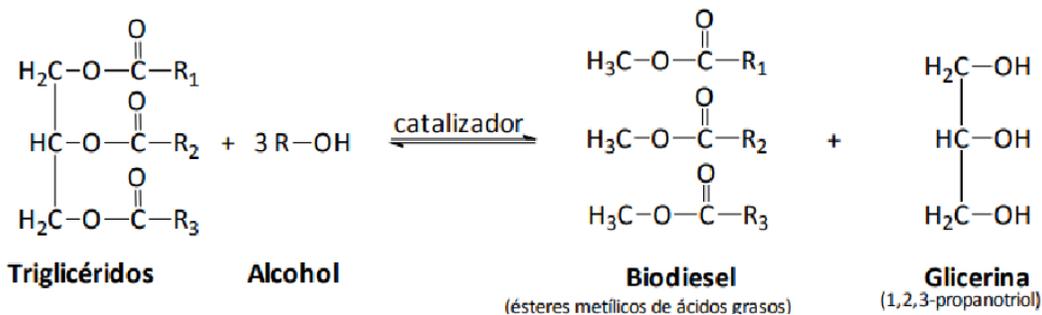
3.5.2.2. Transesterificación

La transesterificación o también llamada alcoholólisis, es una reacción de sustitución, donde los triglicéridos presentes en la grasa o aceite reaccionan con un alcohol para formar

ésteres y glicerol. Usualmente se usa un catalizador para mejorar la velocidad y el rendimiento de la reacción Loaliza Romero, (2003). Para llevar a cabo la reacción se puede emplear como alcohol el metanol (CH₃OH) y etanol (CH₃CH₂OH), y los catalizadores básicos más comunes son, hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH) debido a su bajo costo y disponibilidad.

Figura 13

Mecanismo de reacción de transesterificación



Fuente: Velásquez, (2022).

La metanólisis de un triglicérido es el resultado de tres reacciones reversibles consecutivas: Transesterificación parcial del triglicérido (TG) para formar el di glicérido (DG), transesterificación parcial del DG para formar el mono glicérido (MG), y transesterificación parcial del MG para formar éster metílico (FAME) y glicerol (G), Bello Yaya, (2015).

3.5.3. Variables que intervienen en la reacción de transesterificación

En el proceso de transesterificación para formación de biodiesel intervienen ciertas variables de las cuales la reacción depende para tener un producto de alto rendimiento. Estas variables son: relación molar alcohol aceite, concentración del catalizador, temperatura de reacción, velocidad de reacción, porcentaje de ácidos grasos libres presentes en el aceite, humedad del aceite.

3.5.3.1. Relación molar alcohol: aceite

Estequiométricamente la relación ideal de alcohol aceite es 3:1, para producir tres moles de ésteres y un mol de glicerol, sin embargo puede dificultar la separación de las fases. Diversos estudios han comparado relaciones alcohol: aceite, llegando a determinar que la relación 6:1 es la que mejor propiedades proporciona FAME, y la relación 9:1 es la que mayor rendimiento de FAME se obtiene, Bonilla et al,(2017). Sin embargo la relación molar en la catálisis ácida será mayor que en la catálisis básica.

3.5.3.2. Concentración del catalizador

El empleo de catalizadores básicos como el KOH se ha descrito como el más conveniente para aceites usados. Para aceites con una acidez menor al 5% se sugiere la utilización de un 1% p/p de catalizador, siempre que se mantenga constante los demás parámetros de la reacción, Torossi Baudino, (2006).en los últimos años se han estudiado otro tipo de catalizadores como los enzimáticos, súper críticos, ultrasonido y por microondas.

3.5.3.3. Temperatura de reacción

El aumento en la temperatura influye sobre la producción de FAME. La reacción ocurre a diferentes temperaturas dependiendo del aceite y alcohol empleado. Aunque al incrementar la temperatura el rendimiento aumenta y el tiempo de reacción se reduce, se recomienda que la temperatura no exceda el punto de ebullición del alcohol a emplearse, porque se vaporiza y forma burbujas que limitan la reacción. Según estudios realizados por, Narváez et al,(2014), afirma que después de 0.1 hora de reacción a 32°C, 45°C y 60°C, relación metanol aceite 6:1, y NaOH como catalizador, el contenido de FAME fue de 64%, 87% y 94% respectivamente. Sin embargo, después de una hora de reacción el contenido

fue el mismo para los ensayos a 60°C y 45°C, y solo ligeramente inferior para los ensayos a 32°C.

3.5.3.4. Velocidad de reacción

En una reacción de transesterificación se mezclan alcohol con aceite en presencia de un catalizador por lo que la intensidad de mezclado es muy importante para obtener un buen producto. Según Malagón et al,(2015), reportaron una intensidad de 200 rpm durante un tiempo de 2 horas. Sin embargo, investigaciones realizadas por, Torossi Baudino,(2006), afirma que los reactivos intervinientes así como los que se forman en la reacción, constituyen un sistema heterogéneo que requiere de una constante agitación de 600 rpm.

3.5.3.5. Porcentaje de ácidos grasos libres y humedad

Los AGL y el contenido de humedad son parámetros fundamentales en la reacción de transesterificación, dado que altas concentraciones de uno de los dos o ambos favorece a la formación de jabón mediante saponificación, y resultará en un menor rendimiento de biodiesel. El porcentaje ideal de ácidos grasos libres es de menos del 2% y humedad menor al 0,05 %.

3.5.4. Características del Biodiesel

En Ecuador de acuerdo a la norma INEN 2482 emitida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización existen ciertos análisis que se deben realizar al biodiesel para considerarlo biocombustible. En la tabla 6 se detallan los requisitos del biodiesel.

Tabla 6*NORMA NTE INEN 2482-2009. Requisitos de biodiesel*

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Métodos de ensayo
Densidad a 15 °C	kg/m ³	860	900	ASTM D 1298
Punto de inflamación	°C	120	----	ASTM D 93
Punto de turbidez	°C	Reportar		
Φ Agua y sedimento	%	-----	0,05	ASTM D 1796
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 1552
W carbón residual	%	----	0,05	ASTM D 4530
Corrosión lámina de cobre	clasificación	----	3	ASTM D 130
Numero 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 esteres	%	96,5	----	EN 14103
Índice de yodo	g yodo/100 g	----	120	EN 14111
W contenido de metanol/etanol	%	----	0,20	ASTM D 4815 EN 14110
Contenido de fosforo	mg/kg	----	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na+K)	mg/kg	----	5	EN 14108
Contenido de metales alcalinos (Ca+Mg)	mg/kg	----	5	EN 14538
Numero de acidez	mgKOH/g	----	0,5	ASTM D 664

Fuente: INEN, (2013).

CAPITULO IV

4. Marco Metodológico

4.1. Localización de la investigación

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro de Investigación, ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar.

4.2. Ubicación de la investigación

En la siguiente tabla se detalla la ubicación de la investigación.

Tabla 7

Ubicación de la investigación

Provincia:	Bolívar
Cantón:	Guaranda
Sector:	Laguacoto II
Parroquia:	Veintimilla
Dirección:	Laguacoto II km ½ vía Guaranda-San Simón
Establecimiento:	Universidad Estatal de Bolívar
Unidad de Producción	Laboratorio de investigación

Fuente: Trabajo experimental 2021

4.3. Situación geográfica y climática

En la tabla 8 se detallan los parámetros de la situación geográfica y climática del lugar de la investigación.

Tabla 8

Situación geográfica y climática

Parámetros	Valor
Altitud	2612 msnm
Latitud	01°36'40" sur
Longitud	78°59'50" oeste
Temperatura mínima	8 °C
Temperatura media anual	13 °C
Temperatura máxima	26,44 °C
Humedad	30 %

Fuente: Estación Meteorológica, Universidad Estatal de Bolívar. Laguacoto II,

2021

4.4. Zona de vida (zonificación ecológica)

La ubicación da lugar a desarrollar la investigación correspondiente en la Dirección de Investigación y Vinculación, corresponde a la zona de vida, bosque húmedo montano bajo (BHMB). Según la clasificación propuesta por el botánico climatólogo Leslie Holdridge.

4.5. Materiales

4.5.1. Material experimental

Para el desarrollo del presente estudio se empleó como materia prima: Efluente de palma (POME), el cual fue recolectado en las piscinas de oxidación de la empresa OLEOCASTILLO en la ciudad de Santo Domingo-Ecuador.

4.5.2. Materiales de campo

- Guantes de caucho
- Etiquetas
- Cámara fotográfica.

- Canecas de plástico
- Embudo

4.5.3. Materiales de oficina

- Libreta de apuntes
- Regla
- Esferográfico
- Calculadora
- Marcadores
- Internet
- Impresora
- Cinta adhesiva
- Silla
- Escritorio
- Carpetas
- Impresora
- Hojas de papel boom
- Calculadora
- Computadora
- Flash Memory

4.5.4. Materiales de laboratorio

- Matraces Erlenmeyer
- Buretas graduadas
- Cápsula de porcelana.

- Termómetro.
- Desecador.
- Vasos de precipitación.
- Picnómetro tipo Gay-Lussac.
- Pipetas aforadas
- Balón de destilación
- Embudo de decantación
- Refrigerante
- Micropipetas
- Puntas para micropipetas
- Espátula
- Papel filtro
- Viales
- Probetas
- Frascos boeco
- Agitadores magnéticos
- Balones de aforo

4.5.5. Equipos

En la tabla 9 se detallan las características de los equipos utilizados.

Tabla 9*Equipos de laboratorio*

Equipo	Marca	Código	Origen	Serie
Balanza analítica	Citizen	21743	USA	34007011
Plancha eléctrica de calentamiento	IKA-CMAG	3157284	USA	03412599
Baño de agua	Memmert	8090112	Alemana	128763
Estufa	Memmert	0204448	Alemana	20170012076
Extractor de gases	Flores Valles	20382937	España	FL6155

En la tabla 10 se detalla los reactivos empleados en la investigación con su respectiva concentración.

Tabla 10*Reactivos*

Reactivos	Concentración en porcentaje (%)	Marca	Código	Origen
Ácido sulfúrico	96,9	Fisher Scientific	Cor 10-01	USA
Éter etílico	99,0	Fisher Scientific	I 20-02	USA
Hidróxido de sodio	12,5	Fisher Scientific	Cor 18-01	USA
Metanol	99,9	Fisher Scientific	I 32-01	USA
Éter de petróleo	99,0	Fisher Scientific	I 19-02	USA
Etanol	99,8	Hayman	I 16-01	USA

4.5.6. Material de bioseguridad

- Overol

- Mandil
- Guantes de nitrilo
- Cofia
- Mascarilla
- Alcohol
- Gel antibacterial
- Zapatos de goma

4.6. Métodos

4.6.1. Factores en estudio

Los factores considerados en esta investigación fueron: factor A: relación molar alcohol: aceite, factor B: porcentaje de catalizador en relación al peso de la muestra. Los factores de estudio se describen en la tabla 11

Tabla 11

Factores en estudio

Factores	Código	Niveles
Relación molar alcohol: aceite	A	a_1 : 6:1
		a_2 : 9:1
		a_3 : 12:1
Porcentaje de catalizador en relación al peso de la muestra	B	b_1 : 0,6%
		b_2 : 1,0%

4.6.2. Tratamientos

En la tabla 12 se presenta la combinación de los niveles en estudio.

Tabla 12*Tratamientos*

Tratamiento	Código	A	B
T1	a ₁ b ₁	6:1	0,6%
T2	a ₁ b ₂	6:1	1,0%
T3	a ₂ b ₁	9:1	0,6%
T4	a ₂ b ₂	9:1	1,0%
T5	a ₃ b ₁	12:1	0,6
T6	a ₃ b ₂	12:1	1,0%

4.6.3. Características del experimento

En la tabla 13 se presenta las características del experimento que se realizó.

Tabla 13*Características del experimento*

Detalle del experimento	Detalle
Factores de estudio	2
Nivel factor A	3
Nivel factor B	2
Tratamientos	6
Repeticiones	3
Unidades experimentales	18
Tamaño unidades experimentales	1 L
Variables experimentales	6

4.6.4. Diseño experimental

Se aplicó un Diseño completamente aleatorizado (DCA), en arreglo factorial AxB (3x2) con tres repeticiones.

Modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable sujeta de medición

μ = Media General

A_i = Efecto del Factor A

B_j = Efecto del Factor B

AB_{ij} = Efecto de la Interacción (A x B)

ε_{ijk} = Efecto del Error Experimental

4.7. Análisis de varianza (ADEVA)

Técnica central en el análisis de datos experimentales. La idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento.

Tabla 14*Modelo de ADEVA*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculada	Valor-p
Factor A	SC_A	$a - 1$	CM_A	CM_A/CM_E	$P(F > F_0^A)$
Factor B	SC_B	$b - 1$	CM_B	CM_B/CM_E	$P(F > F_0^B)$
Interacción AB	SC_{AB}	$(a-1)(b-1)$	CM_{AB}	CM_{AB}/CM_E	$P(F > F_0^{AB})$
Error	SC_E	$ab(n - 1)$	CM_E		
Total	SC_r	$(nab - 1)$			

4.7.1. Pruebas de rangos múltiples

Se aplicó el método de la diferencia mínima significativa.

Método LSD (diferencia mínima significativa)

$$LSD = t_{(\alpha/2, gl\ error)} \times \sqrt{2CM_E/n}$$

Dónde:

LSD es la diferencia mínima significativa, t es la tabla de Fisher, $gl\ error$ es grados de libertad del error, CM_E es el cuadrado medio del error, n es el número de réplicas.

4.8. Método experimental

4.8.1. Recolección del efluente de palma

El efluente se recolecta de la empresa OLEOCASTILLO S.A, de la ciudad de Santo Domingo. Con ayuda de paletas se homogeniza la muestra que se encuentra en piscinas de recolección, y se las coloca en canecas con tapa hermética.

4.8.2. Preparación de muestras

La materia prima se llevó hasta las instalaciones del Centro de Investigación ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar.

4.8.3. Filtración

El efluente se lo calienta a 40°C dentro del baño maría hasta que se funde completamente. Se lo pasa a través de un tamiz de tela para eliminar sólidos de mayor tamaño, y posterior se lo filtra a través de papel filtro para eliminar partículas más pequeñas. Los dos filtros se lo realizan dentro de la estufa sobre un vaso de precipitación.

4.8.4. Rendimiento del efluente

Con el fin de obtener el rendimiento del efluente posterior a su filtración, se emplea la ecuación 1

$$\%Rendimiento = \frac{Pf}{Po} * 100$$

Ecuación 1 : *Cálculo del rendimiento*

Donde:

Pf = peso después del filtrado en g

Po = peso antes del filtrado en g

La diferencia entre 100 y el resultado del rendimiento, representa la pérdida de impurezas durante el proceso de filtrado.

4.8.5. Análisis

Los análisis realizados al POME se describen en la tabla 15.

Tabla 15

Análisis del POME

Análisis	Norma empleada
Perdida por calentamiento	INEN 39
Acidez	INEN 38
Densidad relativa	INEN 55
Impurezas insolubles	UNE 663

4.8.6. Tratamiento del POME

4.8.6.1. Desgomado del POME

En un vaso de precipitación se calentó el efluente a 40°C con agitación constante y se agregó lentamente agua destilada a 50°C, con un volumen del 2-3% con respecto al volumen de la muestra. Se calentó hasta los 70°C durante 30 min y se decantó hasta la total separación de las fases. La fase inferior se desechó y la fase superior se lavó 3 veces más. Se secó dentro de la estufa a 105°C por 90 min y se almacenó en frascos herméticos.

4.8.6.2. Reacción de esterificación

Se llevó a cabo en un reactor de vidrio con reflujo, en el cual se calentó 25 mL del efluente desgomado hasta 40°C en un balón de destilación, se adicionó CH₃OH lentamente con una relación molar metanol: efluente de 10:1 y se adicionó H₂SO₄ (1%) que hará el papel de catalizador. La reacción se llevó a 60°C durante 90 min con agitación constante.

Posterior a la reacción se dejó decantar en un embudo de decantación hasta la separación total de sus fases, la fase superior se separó y se midió acidez. Se almacenó en frascos color ámbar.

4.8.6.3. Reacción de transesterificación

Para llevar a cabo la reacción de transesterificación se siguieron los siguientes pasos:

- **Preparación del metóxido de sodio (CH_3NaO)**

En un vaso de precipitación seco y tarado se pesa la cantidad necesaria de NaOH de acuerdo a cada tratamiento, se añade CH_3OH según el tratamiento que corresponda, se somete a agitación en una plancha de agitación hasta la completa disolución del NaOH, se cubre el vaso de precipitación para evitar la evaporación del CH_3OH .

- **Obtención del biodiesel**

En un reactor de vidrio con reflujo calentar hasta los 40°C 50 mL del efluente previamente esterificado, añadir el CH_3OH y con agitación constante a 60°C hacer reaccionar durante 60 min. Posterior a la reacción se dejó reposar en un embudo de decantación por 12 h. Pasado este tiempo la fase inferior que es la glicerina ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) se separó y se pesó, la fase superior que es el biodiesel se lavó tres veces con agua destilada. Una vez limpio se secó a 110°C por 2 h, una vez frío se almacenó en frascos color ámbar.

4.8.7. Análisis de calidad del biodiesel

Para la determinación de calidad del biodiesel se consideraron los siguientes parámetros.

Tabla 16

Análisis de biodiesel

Análisis	Norma empleada
Densidad	UNE-EN-ISO 3838
Viscosidad	UNE-EN-ISO-3104
Flash point	NTE INEN 808
Punto de inflamación	NTE INEN 808
Acidez	UNE-EN-14104
Ácidos grasos libres	UNE-EN-14104

4.9. Análisis estadístico

Se realizó una estadística descriptiva diferencial, análisis de varianza, prueba de rangos múltiples, se utilizó el software Statgraphics.

CAPITULO V

5. Resultados y discusión

5.1. Rendimiento de la filtración y análisis de humedad, acidez, densidad e impurezas

Los resultados de los análisis realizados al efluente se observan en la tabla 17

Tabla 17

Valores promedio rendimiento de filtración, humedad, acidez, densidad e impurezas del POME

Variable	%	Método Utilizado
Rendimiento	67,43	-----
Humedad	0,24	INEN 39
Acidez	51,23	INEN 38
Densidad	0,9	UNE 55
Impurezas	4,24	UNE 663

En la tabla 17 se detallan los valores obtenidos (porcentaje) de humedad, acidez, densidad, e impurezas del efluente de palma. Con relación a la humedad, este es uno de los factores importantes en el momento de la conversión de ácidos grasos a biodiesel, ya que al no eliminar la humedad presente en la muestra esta puede convertirse en jabón. El valor obtenido fue 0,241%, el cual es muy superior al obtenido por Manurung et al,(2017), con un valor de 0,02%. Sin embargo se ha encontrado que en estudios realizados por Wicaksono et al,(2020) los datos obtenidos tienen diferencia, siendo estos 1,72% muy superior a nuestros valor.

El análisis de acidez es un valor necesario para conocer el tratamiento que se le dará al efluente, presenta un valor de 51,23%, el cual es inferior al obtenido por Ricca et al,

(2013) con 52,23%. Así también en el trabajo realizado por Wicaksono et al,(2020) los datos encontrados son superiores, por con 80,72%, sin embargo en los estudios realizados por Hayyan et al,(2010) reportan valores de 25,80%, el cual es un valor bajo en comparación con las demás investigaciones. Un factor que puede afectar la variación de valores puede ser el tiempo de estadía del efluente en las piscinas de oxidación.

Para densidad el valor obtenido es de 0,9086%, no se evidenció estudios que reporten un valor para esta variable.

Con relación a impurezas insolubles se obtuvo un valor de 4,2494%, superior al reportado por Wicaksono et al,(2020) con 0,317%. El análisis de impurezas insolubles nos permite conocer el porcentaje de las mismas y así darle un mejor tratamiento a la filtración para obtener una materia prima más limpia, y que no se altere la conversión de ácidos grasos a biodiesel, estos valores pueden variar debido al momento de recolección de la muestra, o al tipo de impurezas que se pueden encontrar cerca de las piscinas.

5.2. Rendimiento del proceso de esterificación

En la tabla 18 se describen las relaciones molares y porcentaje de catalizador que se emplearon para disminuir la acidez del efluente y el rendimiento en cada caso.

Tabla 18

Proceso de esterificación

Relación molar alcohol: efluente	Porcentaje de catalizador %	Porcentaje de acidez	Rendimiento %
5:1	4,00	26	92,00
10:1	0,75	10	86,10
10:1	1,00	2	79,85

En la tabla 18 se puede observar las diferentes relaciones molares y porcentajes de catalizador para lograr reducir la acidez del efluente a 2% que sería el porcentaje óptimo para realizar la reacción de transesterificación, debido a que si no ocurre este proceso se tendría menor rendimiento en el biodiesel debido a la formación de jabón. Se puede evidenciar que al aumentar la relación molar y el porcentaje de catalizador el porcentaje de acidez disminuye. Se emplearon relaciones molares altas a diferencia de otros autores debido a que el efluente tenía un porcentaje de acidez inicial de 50%, a diferencia de Hayyan et al,(2011) que su acidez inicial fue de 23,2% .

5.3. Resultados del rendimiento del biodiesel

Los porcentajes de rendimiento del biodiesel para cada tratamiento se detallan en la tabla 19.

Tabla 19

Rendimiento del biodiesel

Tratamiento	Relación molar	Porcentaje de catalizador %	Rendimiento %
1	6:1	0,6	79,3050
2	6:1	1,0	74,5350
3	9:1	0.6	79,0700
4	9:1	1,0	73,3250
5	12:1	0.6	73,6250
6	12:1	1,0	65,7300

En la tabla 19 se reporta el rendimiento del biodiesel crudo que se obtuvieron en base al diseño experimental aplicado lo que llevo a realizar 6 tratamientos con diferentes relaciones molares y concentraciones del catalizador. Los resultados de las reacciones mostraron rendimientos de 65% al 79% de biodiesel crudo.

Tabla 20*Resultado de análisis del biodiesel*

Análisis						
Tratamiento	Densidad $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$	Viscosidad cinemática a 40°C mm^2/s	Flash point $^{\circ}C$	Punto de inflamación $^{\circ}C$	Acidez %	Ácidos grasos libres %
1	0,8797	0,768	189	200	0,4316	0,2158
2	0,8888	0,7373	178	193	0,4319	0,2159
3	0,8707	0,576	183	190	0,4315	0,2157
4	0,8862	0,7142	177	204	0,4316	0,2158
5	0,8919	0,7142	155	195	0,4318	0,2159
6	0,8839	0,7142	180	190	0,4319	0,2160

En la tabla 20 se detallan los valores obtenidos (porcentaje) de densidad, viscosidad cinemática, flash point, punto de inflamación, acidez y ácidos grasos libres. De acuerdo a la norma INEN 2482 (INEN, 2013), reporta que el valor de densidad para el biodiesel debe tener un mínimo de 0,860 y un máximo de $0,900 \frac{g}{cm^3}$, se evidencia que nuestros valores de densidad se encuentran dentro de la normativa. Así mismo para viscosidad la norma reporta un mínimo de 3,5 y un máximo de 5, se puede observar en la tabla que nuestros valores de viscosidad no se encuentran dentro del rango mínimo. Para punto de inflamación en la norma se detalla que el valor mínimo es $120^{\circ}C$, se observa que nuestros valores de punto de inflamación se encuentran dentro de la norma debido a que nuestro valor mínimo es de $190^{\circ}C$. En el caso de la acidez la norma reporta que debe tener un mínimo de 0,5%, nuestro biodiesel tiene un promedio de 0,43%.

5.4. Análisis de varianza para los análisis del biodiesel

Tabla 21

Análisis de varianza (ADEVA) para el rendimiento de biodiesel.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-f	Valor-p
Efectos principales					
A:relacion molar	127,315	2	63,6575	53047,90	0,0000**
B:porcentaje catalizador	112,976	1	112,976	94146,69	0,0000**
Interacciones					
AB	5,11292	2	2,55646	2130,38	0,0000**
Residuos	0,0072	6	0,0012		
Total (corregido)	245,411	11			

* Significativo

** Altamente significativo

La tabla 21 indica el efecto que tiene la relación molar y porcentaje de catalizador en el rendimiento del biodiesel. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 valores-P son menores que 0,05, los factores: relación molar y porcentaje de catalizador, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de rendimiento con un 95,0% de nivel de confianza.

Tabla 22

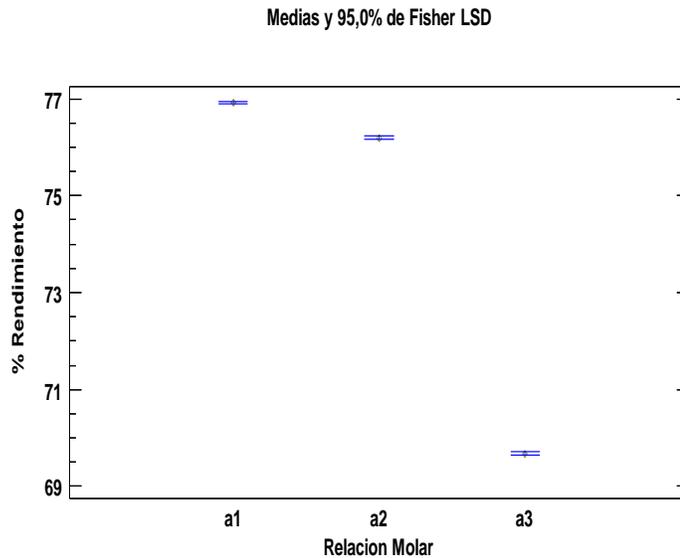
Prueba de comparación de medias para el porcentaje de rendimiento del biodiesel por el Factor A (relación molar alcohol: aceite)

Relación Molar	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
a3	4	69,6775	0,0173205	C
a2	4	76,1975	0,0173205	B
a1	4	76,92	0,0173205	A

Se detalla la aplicación de comparación múltiple en el factor A para determinar cuál de las medias son significativas, en donde se identificó tres grupos homogéneos diferentes, lo que muestra que entre estos tres niveles existen diferencias estadísticas con un nivel del 95,0% de confianza. Además, se puede apreciar que el valor medio para el rendimiento más alto, reporto la relación molar a1 (6:1). Por el contrario, en el nivel a3 y a2 se observan valores más bajos.

Figura 14

Relación del factor A con relación al porcentaje de rendimiento de biodiesel



En la figura 14 cada uno de los niveles del factor A son diferentes, se determinó que estos factores en esta investigación tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de rendimiento del biodiesel con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 23

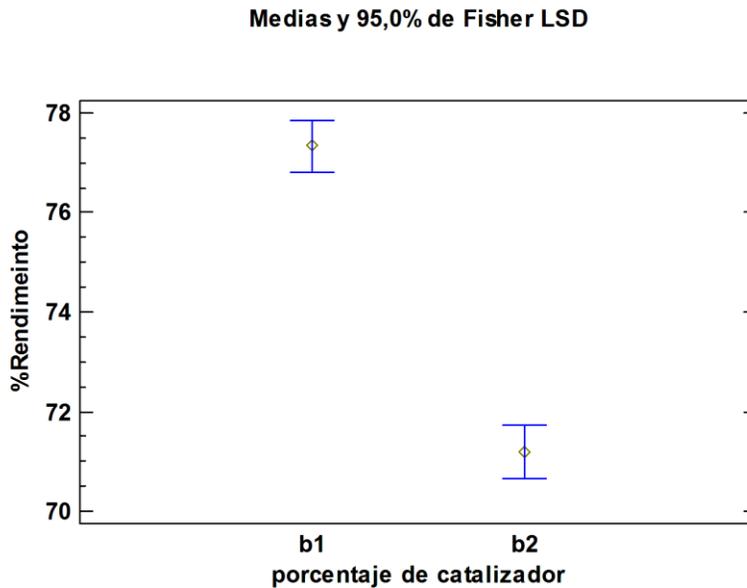
Prueba de comparación de medias para el porcentaje de rendimiento del biodiesel por el Factor B (porcentaje de catalizador)

Porcentaje de catalizador	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
b2	6	71,1967	0,326602	B
b1	6	77,3333	0,326602	A

En la tabla 23 se puede apreciar que los dos grupos son diferentes, el valor medio más alto para porcentaje de catalizador fue el factor b1 (0,6% de NaOH), dando porcentajes de rendimiento del biodiesel más alto.

Figura 15

Relación del factor B con relación al porcentaje de rendimiento de biodiesel



En la figura 15 se observa que cada uno de los niveles del factor B son diferentes, se determinó que estos factores en esta investigación tienen un efecto estadísticamente

significativo sobre el porcentaje de rendimiento del biodiesel con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 24

Análisis de varianza (ADEVA) para la densidad del biodiesel

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Relacion Molar	0,00232021	2	0,0011601	1,73	0,2551
B:Porcentaje catalizador	0,000266021	1	0,000266021	0,40	0,5520
Interacciones					
AB	0,002857	2	0,0014285	2,13	0,1999
Residuos	0,00402315	6	0,000670526		
Total (corregido)	0,00946638	11			

La tabla 24 indica el efecto que tiene la relación molar alcohol: aceite y el porcentaje de catalizador respecto a la densidad del biodiesel. Los valores-P prueban que no existe significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 valores-P son mayores que 0,05, estos factores no tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la densidad del biodiesel con un 95,0% de nivel de confianza.

Tabla 25*Análisis de varianza (ADEVA) para la viscosidad del biodiesel*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Relacion molar	0,0237603	2	0,0118801	594007,17	0,0000**
B:porcentaje de catalizador	0,00385208	1	0,00385208	192604,17	0,0000**
Interacciones					
AB	0,0161896	2	0,00809482	404741,17	0,0000**
Residuos	1,2E-7	6	2,E-8		
Total (corregido)	0,0438021	11			

* Significativo

** Altamente significativo

La tabla 25 indica el efecto que tiene la relación molar y porcentaje de catalizador en la viscosidad del biodiesel. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 valores-P son menores que 0,05, los factores: relación molar y porcentaje de catalizador, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre viscosidad cinemática con un 95,0% de nivel de confianza.

Tabla 26*Prueba de comparación de medias para la viscosidad del biodiesel por el Factor**A (relación molar alcohol: aceite)*

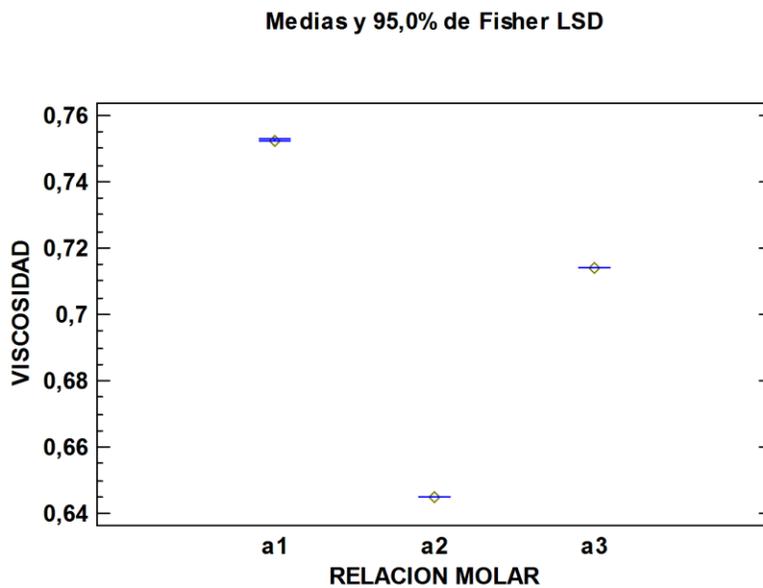
Relación molar	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
a2	4	0,645	0,0000707107	C
a3	4	0,7141	0,0000707107	B
a1	4	0,75255	0,0000707107	A

En la tabla 26 se detalla la aplicación de comparación múltiple en el factor A para determinar cuál de las medias son significativas, en donde se identificó tres grupos

homogéneos diferentes, lo que muestra que entre estos tres niveles existen diferencias estadísticas con un nivel del 95,0% de confianza. Además, se puede apreciar que el valor medio más alto para la viscosidad, reporto la relación molar a1 (0,75255). Por el contrario, en el nivel a3 y a2 se observan valores más bajos. Se presenta de manera gráfica a continuación:

Figura 16

Relación del factor A con relación a la viscosidad del biodiesel



En la figura 16 cada uno de los niveles del factor A son diferentes, se determinó que estos factores en esta investigación tienen un efecto estadísticamente significativo la viscosidad del biodiesel con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 27

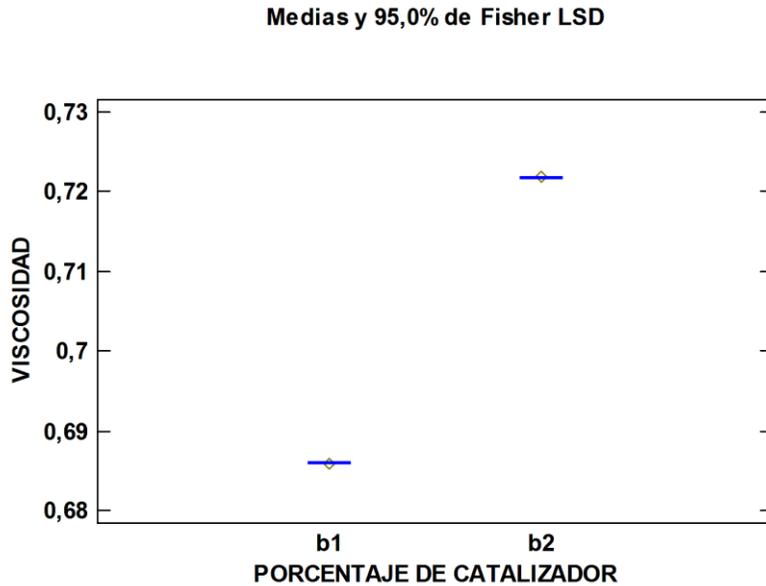
Prueba de comparación de medias para la viscosidad del biodiesel por el Factor B (porcentaje de catalizador)

Porcentaje de catalizador	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
b1	6	0,68596 7	0,000057735	B
b2	6	0,7218	0,000057735	A

En la tabla 27 se detalla la aplicación de comparación múltiple en el factor B para determinar cuál de las medias son significativas, en donde se identificó dos grupos homogéneos diferentes, lo que muestra que entre estos dos niveles existen diferencias estadísticas con un nivel del 95,0% de confianza. Además, se puede apreciar que el valor medio más alto para la viscosidad, reporto al porcentaje de catalizador b2 (0,7218). Por el contrario, en el nivel b1 se observa un valor más bajo. Se presenta de manera gráfica a continuación:

Figura 17

Relación del factor B con relación a la viscosidad del biodiesel.



En la figura 17 cada uno de los niveles del factor B son diferentes, se determinó que estos factores en esta investigación tienen un efecto estadísticamente significativo la viscosidad del biodiesel con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 28*Análisis de varianza (ADEVA) para el flash point del biodiesel*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos Principales					
A:Relacion molar	579,167	2	289,583	289,58	0,0000**
B:porcentaje de catalizador	16,3333	1	16,3333	16,33	0,0068*
Interacciones					
AB	747,167	2	373,583	373,58	0,0000**
Residuos	6,0	6	1,0		
Total (corregido)	1348,67	11			

* Significativo

** Altamente significativo

La tabla 28 indica el efecto que tiene la relación molar y porcentaje de catalizador en el flash point del biodiesel. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 valores-P son menores que 0,05, los factores: relación molar y porcentaje de catalizador, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el flash point con un 95,0% de nivel de confianza.

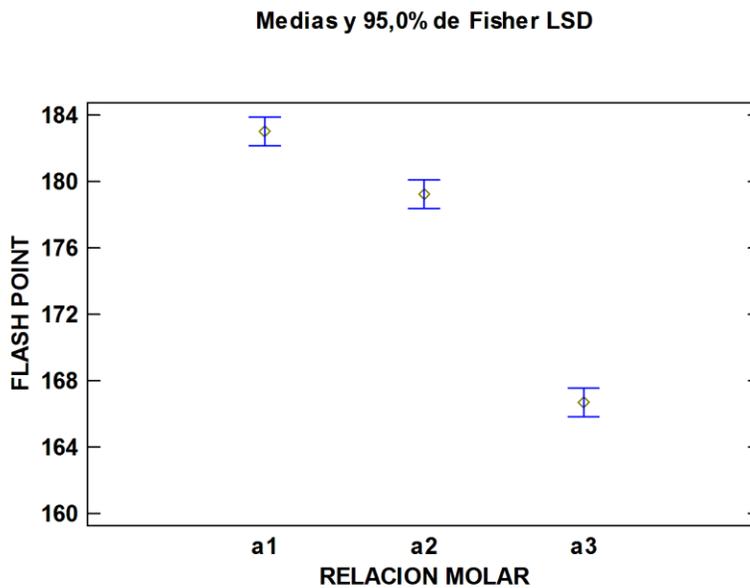
Tabla 29*Prueba de comparación de medias para el flash point del biodiesel por el Factor**A (relación molar alcohol: aceite)*

Relación molar	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
a3	4	166,75	0,5	C
a2	4	179,25	0,5	B
a1	4	183,00	0,5	A

En la tabla 29 se detalla la aplicación de comparación múltiple en el factor A para determinar cuál de las medias son significativas, en donde se identificó tres grupos homogéneos diferentes, lo que muestra que entre estos tres niveles existen diferencias estadísticas con un nivel del 95,0% de confianza. Además, se puede apreciar que el valor medio más alto para el flash point, reporto la relación molar a1 (183,0). Por el contrario, en el nivel a3 y a2 se observan valores más bajos. Se presenta de manera gráfica a continuación:

Figura 18

Relación del factor A con relación al flash point del biodiesel.



En la figura 18 cada uno de los niveles del factor A son diferentes, se determinó que estos factores en esta investigación tienen un efecto estadísticamente significativo en el flash point del biodiesel con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 30

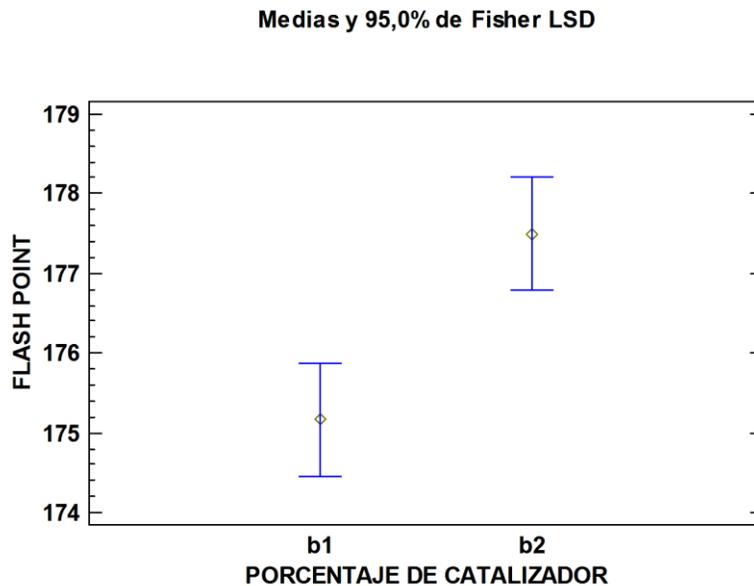
*Prueba de comparación de para el flash point del biodiesel por el Factor B
(porcentaje de catalizador)*

Porcentaje de catalizador	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
b1	6	175,167	0,408248	B
b2	6	177,500	0,408248	A

En la tabla 30 se detalla la aplicación de comparación múltiple en el factor B para determinar cuál de las medias son significativas, en donde se identificó dos grupos homogéneos diferentes, lo que muestra que entre estos dos niveles existen diferencias estadísticas con un nivel del 95,0% de confianza. Además, se puede apreciar que el valor medio más alto para el flash point, reporto la relación molar b2 (177,5). Por el contrario, en el nivel b1 se observa valores más bajos. Se presenta de manera gráfica a continuación:

Figura 19

Relación del factor B con relación al flash point del biodiesel.



En la figura 19 cada uno de los niveles del factor B son diferentes, se determinó que estos factores en esta investigación tienen un efecto estadísticamente significativo en el flash point del biodiesel con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 31

Análisis de varianza (ADEVA) para el punto de inflamación del biodiesel.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Relacion molar	45,5	2	22,75	24,82	0,0013*
B:porcentaje de catalizador	0,75	1	0,75	0,82	0,4006
Interacciones					
AB	298,5	2	149,25	162,82	0,0000*
Residuos	5,5	6	0,916667		
Total (corregido)	350,25	11			

* Significativo

** Altamente significativo

La tabla 31 indica el efecto que tiene la relación molar y porcentaje de catalizador en el punto de inflamación del biodiesel. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que dos valores-P son menores que 0,05, los factores: relación molar y porcentaje de catalizador, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el punto de inflamación con un 95,0% de nivel de confianza.

Tabla 32

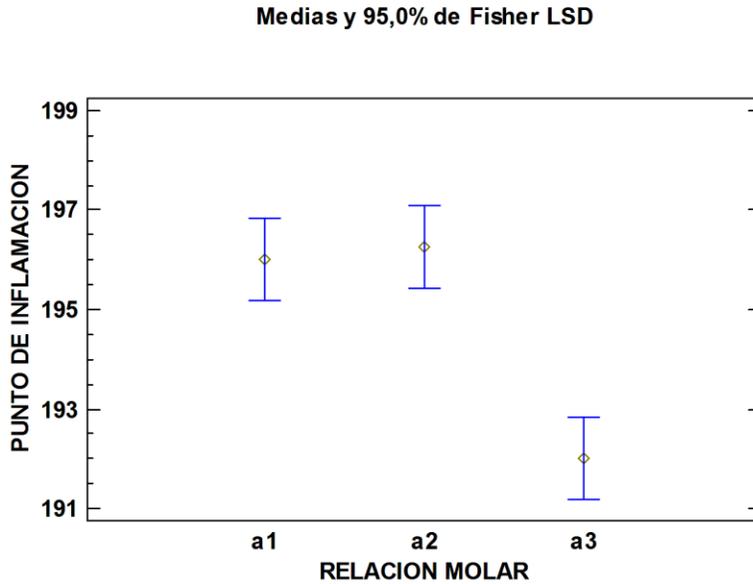
Prueba de comparación de medias para el punto de inflamación del biodiesel por el Factor A (relación molar alcohol: aceite)

Relación molar	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
a3	4	192,0	0,478714	C
a1	4	196,0	0,478714	B
a2	4	196,25	0,478714	A

En la tabla 32 se detalla la aplicación de comparación múltiple en el factor A para determinar cuál de las medias son significativas, en donde se identificó tres grupos homogéneos diferentes, lo que muestra que entre estos tres niveles existen diferencias estadísticas con un nivel del 95,0% de confianza. Además, se puede apreciar que el valor medio más alto para el punto de inflamación, reporto la relación molar a2 (196,25). Por el contrario, en el nivel a1 y a3 se observa valores más bajos. Se presenta de manera gráfica a continuación:

Figura 20

Relación del factor A con relación al punto de inflamación del biodiesel.



En la figura 20 cada uno de los niveles del factor A son diferentes, se determinó que estos factores en esta investigación tienen un efecto estadísticamente significativo en el punto de inflamación del biodiesel con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 33

Prueba de comparación de medias para el punto de inflamación del biodiesel por el Factor B (porcentaje de catalizador)

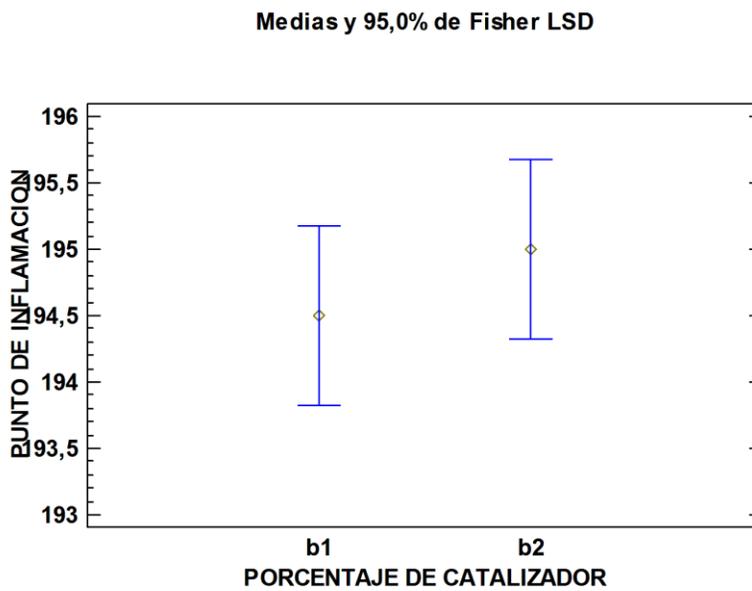
Porcentaje de catalizador	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
b1	6	194,5	0,390868	B
b2	6	195,0	0,390868	A

En la tabla 33 se detalla la aplicación de comparación múltiple en el factor B para determinar cuál de las medias son significativas, en donde se identificó dos grupos homogéneos diferentes, lo que muestra que entre estos dos niveles no existen diferencias

estadísticas con un nivel del 95,0% de confianza. Además, se puede apreciar que el valor medio más alto para el punto de inflamación, reporto el porcentaje de catalizador b2 (195,0). Por el contrario, en el nivel b1 se observa valores más bajos. Se presenta de manera gráfica a continuación:

Figura 21

Relación del factor B con relación al punto de inflamación del biodiesel.



En la figura 21 cada uno de los niveles del factor B son diferentes, se determinó que estos factores en esta investigación tienen un efecto estadísticamente significativo en el punto de inflamación del biodiesel con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 34*Análisis de varianza (ADEVA) para la acidez del biodiesel*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:relacion molar	2,21667E-7	2	1,10833E-7	33,25	0,0006*
B:porcentaje de catalizador	8,33333E-8	1	8,33333E-8	25,00	0,0025*
Interacciones					
ab	1,16667E-8	2	5,83333E-9	1,75	0,2519
Residuos	2,E-8	6	3,33333E-9		
Total (corregido)	3,36667E-7	11			

* Significativo

** Altamente significativo

La tabla 34 indica el efecto que tiene la relación molar y porcentaje de catalizador en la acidez del biodiesel. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que dos valores-P son menores que 0,05, los factores: relación molar y porcentaje de catalizador, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la acidez con un 95,0% de nivel de confianza.

Tabla 35

Prueba de comparación de medias para la acidez del biodiesel por el Factor A (relación molar alcohol: aceite)

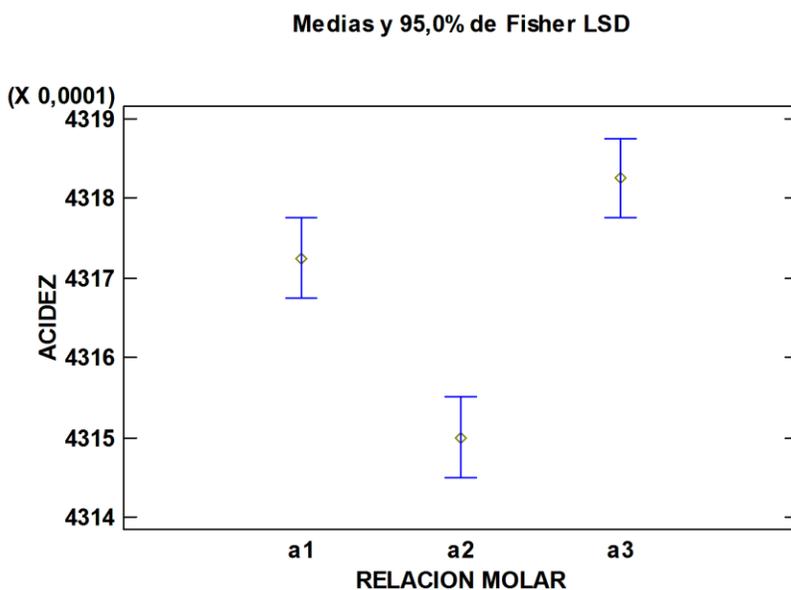
Relación molar	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
a2	4	0,4315	0,0000288675	C
a1	4	0,43172	0,0000288675	B
a3	4	0,43182	0,0000288675	A

En la tabla 35 se detalla la aplicación de comparación múltiple en el factor A para determinar cuál de las medias son significativas, en donde se identificó tres grupos homogéneos diferentes, lo que muestra que entre estos niveles existen diferencias

estadísticas con un nivel del 95,0% de confianza. Además, se puede apreciar que el valor medio más alto para la acidez, reporto la relación molar a3 (0.4318). Por el contrario, en el nivel a1 y a2 se observa valores más bajos. Se presenta de manera gráfica a continuación:

Figura 22

Relación del factor A con relación a la acidez del biodiesel.



En la figura 22 cada uno de los niveles del factor A son diferentes, se determinó que estos factores en esta investigación tienen un efecto estadísticamente significativo en la acidez del biodiesel con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 36

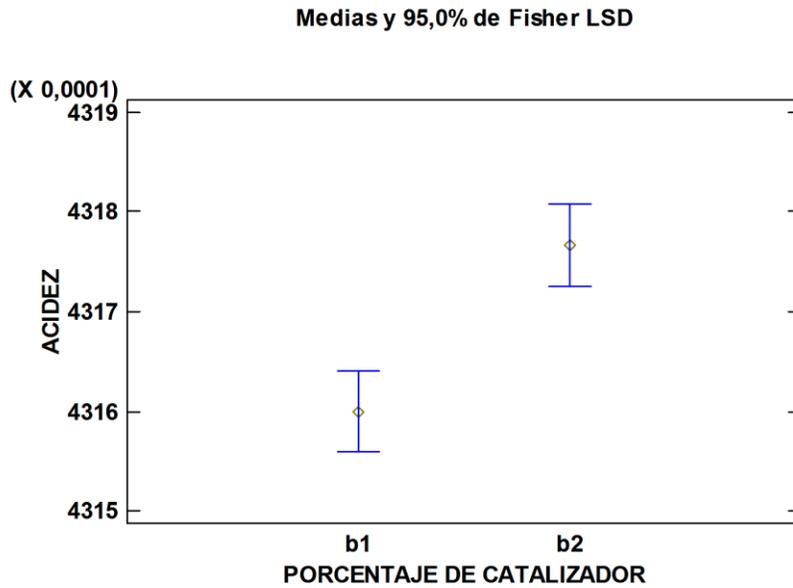
*Prueba de comparación de medias para la acidez del biodiesel por el Factor B
(porcentaje de catalizador)*

Porcentaje de catalizador	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
b1	6	0,4316	0,0000235702	B
b2	6	0,4317	0,0000235702	A

En la tabla 36 se detalla la aplicación de comparación múltiple en el factor B para determinar cuál de las medias son significativas, en donde se identificó dos grupos homogéneos diferentes, lo que muestra que entre estos niveles existen diferencias estadísticas con un nivel del 95,0% de confianza. Además, se puede apreciar que el valor medio más alto para la acidez, reporto el porcentaje de catalizador b2 (0.4317). Por el contrario, en el nivel b1 se observa valores más bajos. Se presenta de manera gráfica a continuación:

Figura 23

Relación del factor B con relación a la acidez del biodiesel.



En la figura 23 cada uno de los niveles del factor B son diferentes, se determinó que estos factores en esta investigación tienen un efecto estadísticamente significativo en la acidez del biodiesel con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 37*Análisis de varianza (ADEVA) para el porcentaje de ácidos grasos libres del**biodiesel*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:relacion molar	6,16667E-8	2	3,08333E-8	18,50	0,0027*
B:porcentaje de catalizador	3,E-8	1	3,E-8	18,00	0,0054*
Interacciones					
AB	5,E-9	2	2,5E-9	1,50	0,2963
Residuos	1,E-8	6	1,66667E-9		
Total (corregido)	1,06667E-7	11			

* Significativo

** Altamente significativo

La tabla 37 indica el efecto que tiene la relación molar y porcentaje de catalizador en el porcentaje de ácidos grasos libres del biodiesel. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que dos valores-P son menores que 0,05, los factores: relación molar y porcentaje de catalizador, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de ácidos grasos libres con un 95,0% de nivel de confianza.

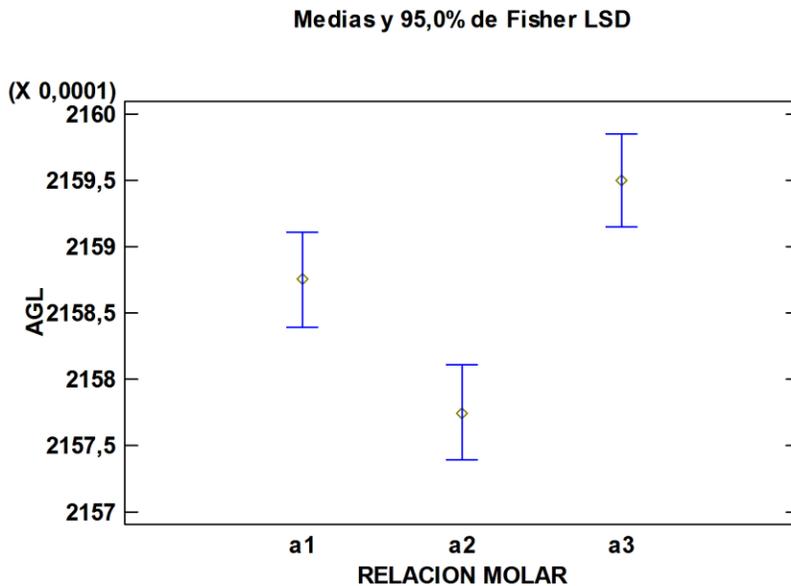
Tabla 38*Prueba de comparación de medias para el porcentaje de ácidos grasos libres del**biodiesel por el Factor A (relación molar alcohol: aceite)*

Relación molar	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
a2	4	0,215775	0,0000204124	C
a1	4	0,215875	0,0000204124	B
a3	4	0,21595	0,0000204124	A

En la tabla 38 se detalla la aplicación de comparación múltiple en el factor A para determinar cuál de las medias son significativas, en donde se identificó tres grupos homogéneos diferentes, lo que muestra que entre estos niveles existen diferencias estadísticas con un nivel del 95,0% de confianza. Además, se puede apreciar que el valor medio más alto para el porcentaje de ácidos grasos libres, reporto la relación molar a3 (0.2159). Por el contrario, en el nivel a1 y a2 se observa valores más bajos. Se presenta de manera gráfica a continuación:

Figura 24

Relación del factor A con relación al porcentaje de ácidos grasos libres del biodiesel.



En la figura 24 cada uno de los niveles del factor A son diferentes, se determinó que estos factores en esta investigación tienen un efecto estadísticamente significativo en el porcentaje de ácidos grasos del biodiesel con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 39

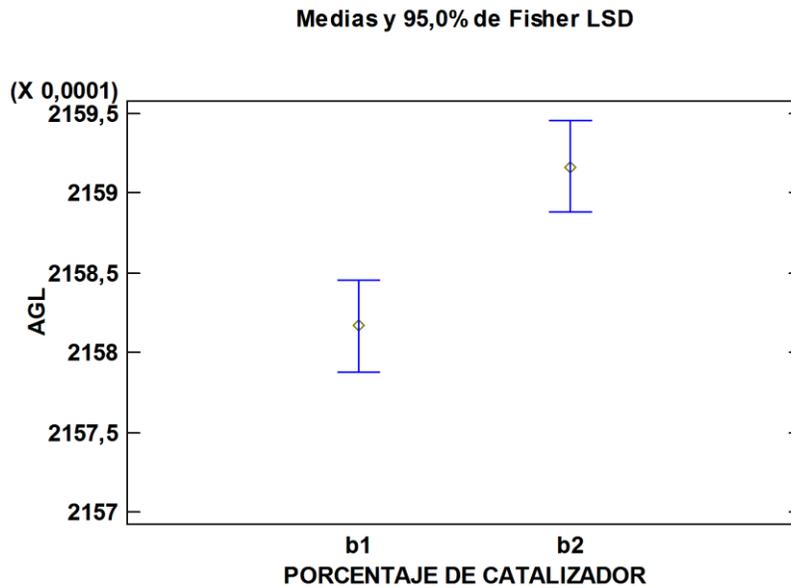
Prueba de comparación de medias para el porcentaje de ácidos grasos libres del biodiesel por el Factor B (porcentaje de catalizador)

Porcentaje de catalizador	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
b1	6	0,215817	0,0000166667	B
b2	6	0,215917	0,0000166667	A

En la tabla 39 se detalla la aplicación de comparación múltiple en el factor B para determinar cuál de las medias son significativas, en donde se identificó dos grupos homogéneos diferentes, lo que muestra que entre estos niveles existen diferencias estadísticas con un nivel del 95,0% de confianza. Además, se puede apreciar que el valor medio más alto para el porcentaje de ácidos grasos libres, reporto el porcentaje de catalizador b2 (0.2159). Por el contrario, en el nivel b1 se observa valores más bajos. Se presenta de manera gráfica a continuación:

Figura 25

Relación del factor B con relación al porcentaje de ácidos grasos libres del biodiesel.



En la figura 25 cada uno de los niveles del factor B son diferentes, se determinó que estos factores en esta investigación tienen un efecto estadísticamente significativo en el porcentaje de ácidos grasos libres del biodiesel con un nivel de confianza del 95,0%.

CAPITULO VI

6. Comprobación de las hipótesis

6.1. Hipótesis a verificar

Las hipótesis de la investigación planteadas fueron

6.1.1. Hipótesis Nula (H_0)

El biodiesel obtenido a partir del efluente de palma no cumple con la normativa vigente para ser considerado biocombustible.

$$H_0: \tau_1 - \tau_2 = 0$$

6.1.2. Hipótesis Alternativa (H_a)

El biodiesel obtenido a partir del efluente de palma cumple con la normativa vigente para ser considerado biocombustible.

$$H_a: \tau_1 - \tau_2 \neq 0$$

De acuerdo a los análisis realizados al biodiesel obtenido se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a), es decir que el biodiesel obtenido a partir del efluente de palma no cumple con la normativa vigente para ser considerado biocombustible.

CAPITULO VII

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1. Conclusiones

- El efluente generado durante el proceso de extracción de aceite crudo de palma es un residuo con altos porcentajes de acidez, humedad e impurezas, esto se puede deber al tiempo de permanencia de estos en las piscinas de oxidación, y por su mezcla con otros desechos como cascara y raquis.
- Los análisis físicos y químicos (humedad, acidez, densidad, impurezas) realizados a la materia prima permitieron conocer el proceso adecuado para la obtención de biodiesel, realizándose así una esterificación previa para disminuir los ácidos grasos libres presentes en la materia prima.
- En el proceso de esterificación se evidencio que para lograr disminuir el contenido de ácidos grasos libres la relación molar alcohol: aceite idóneo fue de 10:1 y el porcentaje de catalizador de 1%, para obtener una acidez de 2%, obteniendo menor rendimiento.
- Una vez realizada la reacción de transesterificación se evidencio que el tratamiento con el cual se obtiene mayor rendimiento de biodiesel es el tratamiento 1 (T1), con relación molar 6:1 y 0,6 de porcentaje de catalizador.
- Posterior a la realización de los análisis al biodiesel se concluye que el biodiesel obtenido del efluente generado durante el proceso de extracción

de aceite crudo de palma puede ser considerado biocombustible según la normativa vigente.

7.2.Recomendaciones

- Emplear efluente con menor tiempo de almacenamiento para que el contenido de ácidos grasos sea menor, y así disminuir costos en la obtención de biodiesel.
- Estudiar el uso de otros reactivos para la reacción de esterificación y transesterificación.
- Buscar otro tratamiento para el efluente que sea económicamente rentable, debido a que es un desecho poco estudiado con gran potencial energético, y altamente contaminante si no se lo trata.
- Actualizar y dar el mantenimiento adecuado a los equipos, materiales y reactivos del laboratorio de investigación, para ayudar a los tesisistas en sus investigaciones.

BIBLIOGRAFIA

- Alonso, E. (2014). Biodiésel de ésteres etílicos de ácidos grasos: Correlación composición-propiedades. 1–89. http://oa.upm.es/23459/2/PFC_Elena_Alonso_Castro_3.pdf
- Althausen, M. (2016). Tratamiento de Efluentes de la Planta de Beneficio- Convertir un residuo en un recurso. *Revista Palmas*, 37(Especial-Tomo II), 31–37.
- Bello Yaya, N. (2015). Producción continua de ésteres metílicos por extracción reactiva, empleando un módulo de membrana de fibra hueca. 137. <http://www.bdigital.unal.edu.co/49984/>
- Bonilla, M., Acosta, I., & Miño, E. (2017). Transesterificación Para La Producción De Biodiesel a Analysis of Factors Influencing the Process of Transesterification At the Production of Biodiesel From. 1–14.
- Campanelli, P., Banchemo, M., & Manna, L. (2010). Synthesis of biodiesel from edible, non-edible and waste cooking oils via supercritical methyl acetate transesterification. *Fuel*, 89(12), 3675–3682. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.07.033>
- CONGOPE. (2020). Perspectivas petroleras y su impacto en el Ecuador y en los. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2020/06/Perspectivas-Petroleras-Ecuador-GAD.pdf>
- Corporacion Financiera Nacional. (2021). Ficha sectorial: sector palmicultor.
- EKOS. (2020). Sector empresarial. Fabricacion de aceites. <https://www.ekosnegocios.com/sector/fabricacion-de-aceites>
- EPOA. (2017). Historia del aceite de palma.
- Erazo, E. (n.d.). Reingeniería de la Planta de Tratamiento de aguas residuales industriales de la Extractora EXTRANATU a través del estudio de la planta actual con fines de

mejoramiento ambiental. SEK.

Hayyan, A., Alam, M. Z., Mirghani, M. E. S., Kabbashi, N. A., Hakimi, N. I. N. M., Siran, Y. M., & Tahiruddin, S. (2011). Reduction of high content of free fatty acid in sludge palm oil via acid catalyst for biodiesel production. *Fuel Processing Technology*, 92(5), 920–924. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.12.011>

INEC-ESPAC. (2020). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC). Espac, 1–43. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion de los principales resultados ESPAC 2019.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion_de_los_principales_resultados_ESPAC_2019.pdf)

INEC. (2014). Información Ambiental en hogares. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares_2014/Documento_tecnico_Modulo_Ambient al_Hogares_2014.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares_2014/Documento_tecnico_Modulo_Ambient_al_Hogares_2014.pdf)

INEN. (2013). Nte Inen 2482. Biodiesel requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 10.

Malacatus, P., & Llerena, G. (2017). Generation of effluents in the process of extraction of crude palm oil in Ecuador. *Dominio de Las Ciencias*, 3, 459–469.

Malagón, D., López, L., & Bocanegra, J. (2015). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado1. *Ingeniería Universidad de Bogota*, 19.

Manurung, R., Ramadhani, D. A., & Maisarah, S. (2017). One step transesterification process of sludge palm oil (SPO) by using deep eutectic solvent (DES) in biodiesel production. *AIP Conference Proceedings*, 1855(June), 1–9. <https://doi.org/10.1063/1.4985531>

- Melado, A. (2008). Modelo de Cultivo de Palma Aceitera en Honduras.
- Mesa, J., & Azuero, A. (2021). Balance 2020 y perspectivas 2021 de la agroindustria de la palma de aceite. Fedepalma, 1–41.
http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/03032021_Balance_y_perspectivas_de_la_agroindustria_de_la_palma_de_aceite_2020-2021_CMG_ASM.pdf
- Molinero, L. (2013). Producción de monoglicéridos por esterificación de glicerina con ácidos cinámico y p-metoxicinámico. 276. <https://eprints.ucm.es/18041/1/T34217.pdf>
- Monopoli, V. (2012). Síntesis ambientalmente compatible de 2-etil-1-hexil acetato y p-metoxiacetofenona catalizada por heteropoliácidos Keggin inmovilizados en soportes no convencionales. 7–52.
- Narváez, C., Fernanda, L., Torres, J., & Ponce, F. (2014). Producción de ésteres metílicos de ácidos grasos. *Ingeniería e Investigación*, January 2004.
- Oil tanking - Home. (2015). Biodiésel (éster metílico de ácido graso / FAME). <https://www.oiltanking.com/es/publicaciones/glosario/detalles/term/biodiesel-ester-metilico-de-acido-graso-fame.html>
- Okechukwu, D., Nwanneka, L., Nonso, C., Ogechukwu, S., & Chukwudi, M. (2016). Optimization of biodiesel production from refined cotton seed oil and its characterization.
- Ortega, D., Macas, J., & Chiriguay, C. (2016). Evaluación del cultivo de Palma Africana en Sistema Agroforestal con *Gliricidia sepium*, *Flemingia macrophylla* Y *Pueraria phaseoloides* El Cantón Joya De Los Sachas.
- Piña, S. (2020). Análisis de la esterificación por catálisis ácida homogénea como

pretratamiento de aceite modelo acidificado.

<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2016.17.58151>

- Ricca, R. N., Md, Z. A., & Mohammed, S. J. (2013). Enzymatic biodiesel production from sludge palm oil (SPO) using locally produced *Candida cylindracea* lipase. *African Journal of Biotechnology*, 12(31), 4966–4974. <https://doi.org/10.5897/ajb2013.12075>
- Sanchez, E. (2012). Analisis de rentabilidad en el cultivo de palma aceitera hibrida en la provincia de Orellana. PUCE.
- Soria, G. (2019). “Evaluar la gestion ambiental de residuos de lodo de palmiste en la empresa PROCEPALMA CEBA S.A, a fin de verificar la posibilidadnde su uso como nutrientes en granjas, en la ciudad de Santo Domingo.
- Torossi Baudino, F. (2006). Reacciones en contexto: la transesterificación en la producción de biodiésel a partir de aceite de fritura usado. *Anales de La Real Sociedad Española de Química*, 3, 43–49.
- UCO. (2021). Guidance Document for the Audit of Wastes and Residues from Palm Oil Mills Palm Oil Mill Effluent (POME). 1(April), 1–11.
- Velasquez, V. (2022). Obtencion de biodiesel a partir de residuos de la industria extractora de aceite de palma africana, *Elaeis guineensis* Jacq.
- Wicaksono, A., Widayat, & Saptadi, S. (2020). Techno-Economic Analysis Small Biodiesel Plant from Palm Sludge Oil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 448(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/448/1/012001>
- Zuber, M. A., Yahya, W. J., Ithnin, A. M., Sugeng, D. A., Kadir, H. A., & Ahmad, M. A. (2020). A brief review of palm oil liquid waste conversion into biofuel. *Environmental Reviews*, 28(1), 67–76. <https://doi.org/10.1139/er-2018-0124>

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación de la empresa extractora de aceite de palma.



Fuente: Google Maps,(2020)

Anexo 2. Mapa de ubicación de la investigación



Fuente: Google Maps(2020)

Anexo 3
Preparación de la muestra



Recolección de la muestra



Calentamiento de la muestra



Filtración de la muestra

Anexo 4
Determinación de humedad del efluente



Pesado de la muestra



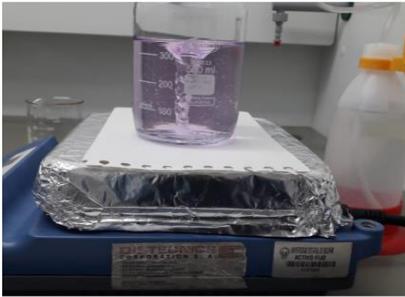
Secado de la muestra



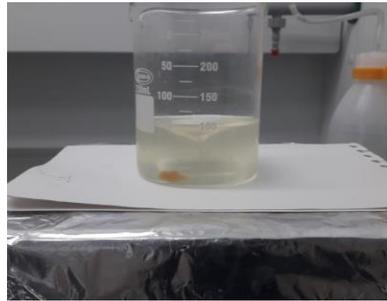
Enfriado de la muestra

Anexo 5

Determinación de acidez del efluente



Neutralización
de la solución



Disolución de la
muestra en la
solución



Neutralización
de los AGL

Anexo 6

Determinación de densidad del efluente



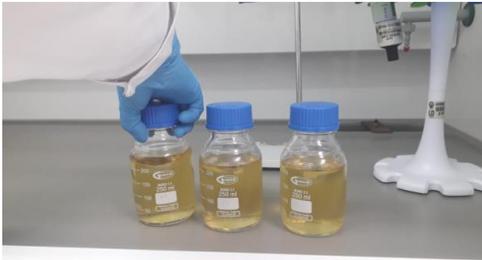
Calentamiento en la
estufa de la muestra
con el picnómetro



Calentamiento en el baño
de agua de la muestra
con el picnómetro

Anexo 7

Determinación impurezas insolubles del efluente



Disolución de muestra con éter



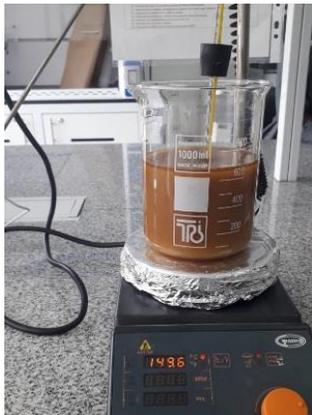
Filtración de la muestra



Impurezas sobrantes en papel filtro

Anexo 8

Desgomado del efluente



Mezcla del POME con agua destilada



Decantación del POME y agua

Anexo 9
Reacción de esterificación



Reactor de vidrio con
reflujo

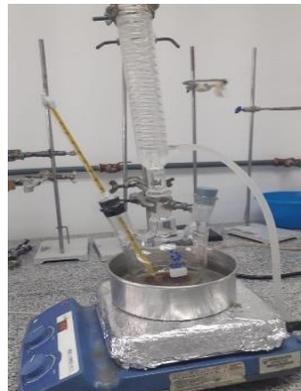


Decantación del éster
y agua

Anexo 10
Reacción de transesterificación



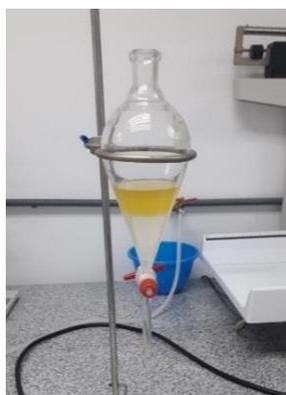
Preparación
del metóxido
de sodio



Reactor de
vidrio con
reflujo



Decantación
de glicerina
y FAME



Lavado del
biodiesel



Lavado del
biodiesel



Almacenado
del biodiesel

Anexo 11

Determinación de la densidad del biodiesel



Calentamiento del
picnómetro con
biodiesel

Anexo 12

Determinación de la viscosidad del biodiesel



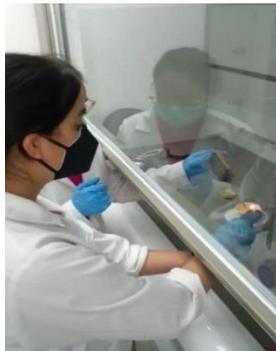
Calentamiento del viscosímetro



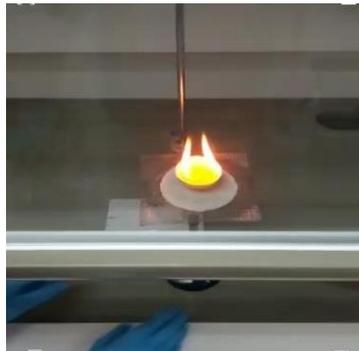
Medición de la temperatura del agua

Anexo 13

Determinación de flash point y punto de inflamación del biodiesel



Colocación de fuente de calor



Inflamación de muestra

Anexo 14

Determinación de acidez y ácidos grasos libres del biodiesel



Preparación del
KOH



Titulación de AGL

<p>Norma Técnica Ecuatoriana</p>	<p align="center">GRASAS Y ACEITES COMESTIBLES DETERMINACION DE LA PERDIDA POR CALENTAMIENTO</p>	<p align="center">INEN 39 1973-08</p>
<p align="center">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma tiene por objeto establecer dos métodos para determinar el contenido de humedad y otras materias volátiles, por calentamiento a 103°C. (pérdida por calentamiento) en las grasas y aceites animales o vegetales.</p> <p align="center">2. ALCANCE</p> <p>2.1 En esta norma se describen los métodos siguientes:</p> <p>a) método del baño de arena o de la plancha eléctrica de calentamiento, y b) método de la estufa.</p> <p>2.2 El método del baño de arena o de la plancha de calentamiento es aplicable a todos los aceites y grasas vegetales o animales.</p> <p>2.3 El método de la estufa es aplicable únicamente a los aceites no secantes y a las grasas vegetales que tengan un índice de acidez menor de 4 (ver norma INEN 38). La grasa de coco, las grasas de palma y las grasas animales no deben, bajo ninguna circunstancia, analizarse mediante este método.</p> <p align="center">3. RESUMEN</p> <p>3.1 Se calienta el producto a 103 °C hasta eliminar completamente la humedad y las materias volátiles.</p> <p align="center">4. INSTRUMENTAL</p> <p>4.1 <i>Cápsula de porcelana o de vidrio</i>, con fondo plano, de 8 cm a 9 cm de diámetro y 3 cm aproximadamente de profundidad, (para el método del baño de arena o de la plancha eléctrica de calentamiento).</p> <p>4.2 <i>Termómetro</i>, con escala de 80° a 120°C y longitud de aproximadamente 10 cm; provisto de bulbo reforzado de mercurio y cámara de expansión en su extremo superior, (para el método del baño de arena o de la plancha eléctrica de calentamiento).</p> <p align="right"><i>(Continúa)</i></p>		

Norma Ecuatoriana	GRASAS Y ACEITES COMESTIBLES DETERMINACION DE LA ACIDEZ	INEN 38 1973-08
<p>1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar la acidez o el índice de acidez en las grasas y aceites animales o vegetales.</p> <p>2. TERMINOLOGIA</p> <p>2.1 <i>Acidez.</i> Es, en una grasa o aceite, el contenido de ácidos grasos libres, expresado convencionalmente como gramos de ácido oleico, láurico o erúxico por cada 100 g de sustancia.</p> <p>2.2 <i>Índice de acidez.</i> Es el número de miligramos de hidróxido de potasio requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en 1 gramo de grasa o aceite.</p> <p>3. RESUMEN</p> <p>3.1 Se disuelve una cantidad determinada de grasa o aceite en una mezcla de alcohol etílico y éter dietílico, y se titulan los ácidos grasos libres con una solución de hidróxido de sodio o de potasio.</p> <p>4. INSTRUMENTAL</p> <p>4.1 <i>Matraces Erlenmeyer</i> de 250 cm³ y 500 cm³.</p> <p>4.2 <i>Buretas</i>, graduadas con divisiones de 0,1 cm³.</p> <p>4.3 <i>Balanza analítica</i>, sensible a 0,1 mg.</p> <p>5. REACTIVOS</p> <p>5.1 <i>Mezcla (1:1) de alcohol - éter.</i> Mezclar un volumen de éter dietílico con un volumen igual de alcohol etílico al 95 % (V/V).</p> <p>5.2 <i>Solución 0,1 N de hidróxido de sodio o de potasio</i>, debidamente estandarizada.</p> <p>5.3 <i>Solución 0,5 N de hidróxido de sodio o de potasio</i>, debidamente estandarizada.</p> <p style="text-align: right; margin-top: 20px;">(Continúa)</p>		



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 0035:2012
Primera revisión

**ACEITES Y GRASAS DE ORIGEN ANIMAL Y VEGETAL
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA.**

Primera edición

Animal and vegetable fats and oils — determination of relative density

First edition

DESCRIPTORES:
AL: 02.07-301
CDU: 665.3
CIU:
ICS:

Aceites y grasas de origen animal y vegetal
Determinación del contenido de impurezas insolubles
(ISO 663:2017)

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico
CTN 34 *Productos alimentarios*, cuya secretaría desempeña FIAB.

norma española

UNE-EN ISO 3838

Diciembre 2004

TÍTULO

Petróleo crudo y productos petrolíferos líquidos o sólidos

Determinación de la densidad o de la densidad relativa

Métodos del picnómetro de tapón capilar y del picnómetro bicapilar graduado

(ISO 3838:2004)

Crude petroleum and liquid or solid petroleum products. Determination of density or relative density. Capillary-stoppered pycnometer and graduated bicapillary pycnometer methods. (ISO 3838:2004).

Pétrole brut et produits pétroliers liquides ou solides. Détermination de la masse volumique ou de la densité relative. Méthodes du pycnomètre à bouchon capillaire et du pycnomètre bicapillaire gradué. (ISO 3838:2004).

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 3838 de mayo de 2004 que a su vez adopta íntegramente la Norma Internacional ISO 3838:2004.

OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN ISO 3838 de junio de 1996.

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 51 *Productos Petrolíferos* cuya Secretaría desempeña AOP.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 51884:2004

© AENOR 2004
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00
Fax 91 310 40 32

21 Páginas

Grupo 15

Este documento ha sido adquirido por UNIVERSIDAD POLITECNICA VALENCIA-HEMEROTECA a través de la suscripción a AENORMás.
Para uso en red interna se requiere de autorización previa de AENOR.

Productos petrolíferos
Líquidos transparentes y opacos
Determinación de la viscosidad cinemática y cálculo de
la viscosidad dinámica
(ISO 3104:2020)

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico
CTN 51 *Productos petrolíferos*, cuya secretaría desempeña
AOP.



Norma Técnica
Ecuatoriana

**PRODUCTOS DE PETROLEO. DETERMINACIÓN DE LOS
PUNTOS DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTION EN VASO
ABIERTO CLEVELAND.**

**INEN 808
1986-11**

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método para determinar los puntos de inflamación y combustión de todos los productos de petróleo, excepto los aceites combustibles (fuel oils) y aquellos productos que tengan un punto de inflamación, en vaso abierto, inferior a 79°C .

2. RESUMEN DEL METODO

2.1 La muestra que debe ensayarse se coloca en un vaso, calentándola al principio rápidamente y, luego, al acercarnos al punto de inflamación, con un aumento de temperatura lento y constante.

2.2 A intervalos determinados, se pasa una pequeña llama sobre el vaso de ensayo, tomándose como punto de inflamación la temperatura a la cual los vapores emitidos por la muestra se inflaman por primera vez.

2.3 Continuando el ensayo, se toma como punto de combustión la temperatura a la cual se produce la combustión de los vapores, por lo menos, durante 5 segundos.

3. INSTRUMENTAL

3.1 **Aparato Cleveland de vaso abierto.** Descrito en el Anexo A. 3.2 **Termómetro.** Descrito en el Anexo A.

4. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

4.1 Preparación del aparato

4.1.1 Colocar el aparato sobre una mesa firme de un laboratorio que no tenga corrientes de aire, protegiendo la parte superior del mismo de la luz intensa, con el objeto de apreciar fácilmente el punto de inflamación (ver nota 1).

4.1.2 Si la muestra desprende vapores molestos, efectuar el ensayo en una campana, utilizando una pantalla de protección, para evitar corrientes de aire sobre el vaso Cleveland, durante los 56°C que preceden al punto de inflamación.

NOTA 1. Evitar cualquier perturbación en los vapores emitidos por la muestra durante los 17°C que preceden al punto de inflamación, perturbación que puede producirse, incluso, por la respiración o movimiento brusco del operador.

(Continúa)

Derivados de aceites y grasas
Ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME)
Determinación del índice de acidez

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico
CTN 34 *Productos alimentarios*, cuya secretaría
desempeña FIAB.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

POME.- Palm oil mill effluent, residuo que se genera a partir de la extracción del aceite de palma.

FAME.- Fatty Acid Methyl Ester, Éster metílico de ácido graso o también llamado biodiesel. Es un biocombustible producido por transesterificación de triglicéridos con alcoholes. En el caso de que el alcohol utilizado para la producción sea metanol, el biodiesel se denomina éster metílico de ácido graso FAME.

Biodiesel.- biocombustible que se emplea como reemplazo del diésel, también conocido como gasóleo o gasoil. Sustancia que se produce mediante grasas animales o aceites de origen vegetal que son sometidos a distintos procesos industriales.

Catalizador.- Sustancia capaz de favorecer o acelerar una reacción química sin intervenir directamente en ella; al final de la reacción el catalizador permanece inalterado.

Esterificación.- Reacción de obtención de un éster a partir de un ácido carboxílico y un alcohol. Se realiza en presencia de un catalizador ácido.

Biocombustible.- Un biocombustible es un tipo de combustible cuya producción se desarrolla a través del tratamiento químico o físico de desechos orgánicos o de plantas.

Plancha de calentamiento.- Pequeño aparato de sobremesa, portátil y autónomo, que posee uno o más elementos de calefacción eléctrica, y que se emplea para calentar recipientes con líquidos, de forma controlada.

Fenolftaleína.- La fenolftaleína es un compuesto orgánico que se usa a menudo como indicador de pH. La fenolftaleína se vuelve rosada a un pH superior a 8,3 e incolora en soluciones ácidas.

Estufa.- Equipo utilizado para secar y esterilizar los recipientes de vidrio y metal en un laboratorio. Se conoce también como horno de secado. Trabajan entre la temperatura ambiente y los 350°C.

Hexano.- Hexano es un hidrocarburo alcano con la fórmula química $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$. Los isómeros de hexano son altamente reactivos, y se utilizan a menudo como disolvente inerte en reacciones orgánicas.