



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE RESIDUOS DE LA
INDUSTRIA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA, *Elaeis***

guineensis Jacq.

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

AUTOR:

ROSA VIVIANA VELASQUEZ BORJA

DIRECTOR:

MARCO VINICIO LARA FIALLOS

Ibarra – Ecuador

2021-2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la ley de educación superior, hago la entrega del presente documento a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0850047465
APELLIDOS Y NOMBRES:	Velásquez Borja Rosa Viviana
DIRECCIÓN:	Esmeraldas
EMAIL:	rvvelasquezb@utn.edu.ec
TELÉFONO FIJO 0960813344	TELÉFONO MÓVIL: 0960813344

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO: OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA, <i>Elaeis guineensis Jacq.</i>	
AUTOR: Velásquez Borja Rosa Viviana	
FECHA: 15-09-2021	

SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO		
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO	<input type="checkbox"/> POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agroindustrial	
ASESOR / DIRECTOR:	Lara Fiallos Marco Vinicio	

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días de septiembre del 2021.

EL AUTOR:

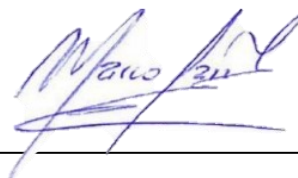

Viviana Velásquez

C.I.: 085004746-5



CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita Rosa Viviana Velásquez Borja, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Lara Fiallos', is written above a solid horizontal line.

Lara Fiallos Marco Vinicio

DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

A mi mamá Beatriz Borja por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrea universitaria y a lo largo de mi vida y enseñarme el valor de la dedicación.

A mi director Marco Lara por acompañarme en cada paso que di a lo largo de esta investigación y redacción de este trabajo aportando con ideales e información que fueron importantes, además me enseñó que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez.

A mis amigos en especial al señor Christian Fierro, quienes fueron partícipes de todas las experiencias que atravesé para lograr de esta investigación una realidad, además de los gratos momentos que pasamos durante esos años de la vida Universitaria.

Al docente Jimmy Núñez que con mucho amor y dedicación me apoyo con información para la ejecución de este proyecto.

Viviana Velásquez

AGRADECIMIENTO

A Geovanny Silva, esposa e hijos por darme fortaleza para continuar firme, además de su ayuda desinteresada y de su buena voluntad por haberme brindado el apoyo suficiente para no decaer cuando parecía complicado e imposible.

A todos los docentes que sirvieron como pilar para crecer como persona, y gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme contenta.

A mi querida Universidad y a todas las autoridades, por permitirme concluir una etapa de mi vida, gracias por la paciencia, orientación y guiarme en el desarrollo de esta investigación.

A Palmera de los Andes por ser la empresa que proporciono la materia prima y me abrió sus puertas brindándome información y apoyo para que esta investigación llegara a su fin.

Al Ingeniero Edison Cacuangó, por brindar información y apoyo en cada etapa de esta investigación.

A Lola Morales, Mery Caicedo, RH7 por apoyarme en cada decisión que tome y hacer de mi paciencia una virtud.

A mis asesores Rosario Espín y Juan Carlos García por siempre guiarme y apoyarme en cada decisión que di en esta investigación.

A mi gran amigo Wilfrido Cepeda por apoyarme a lo largo de la carrera universitaria.

Viviana Velásquez

Índice de contenido

Resumen.....	9
Abstract.....	10
Capítulo I.....	11
Introducción.....	11
Problema.....	11
Justificación.....	12
1.1. Objetivos.....	13
1.3.1. Objetivo General.....	13
1.3.2. Objetivos Específicos.....	13
Hipótesis De Trabajo.....	13
<i>Hipótesis Nula</i>	13
<i>Hipótesis Alternativa</i>	13
Capítulo II Marco Teórico.....	14
2.1. Palma Africana.....	14
2.2. Industria Aceitera.....	15
2.2.1. <i>Aceite de Palma en el Ecuador</i>	16
2.3. Potencial de los Residuos.....	17
2.3.1. <i>Racimo de Fruto Vacío (Rfv)</i>	18
2.3.2. <i>Fibra</i>	19
2.3.3. <i>Cuesco</i>	19
2.3.4. <i>Aguas y Lodos</i>	19
2.3.5. <i>Torta de Palmiste</i>	19
2.4. Torta de Palmiste.....	19
2.4.1. <i>Tipos de Torta de Palmiste</i>	20
2.4.2. <i>Usos</i>	21
2.5. Análisis previos de los residuos.....	21
2.5.1. <i>Humedad</i>	22
2.5.2. <i>Grasa</i>	22

2.6.	Biodiesel	23
2.6.1.	<i>Propiedades Biodiesel</i>	23
2.6.2.	<i>Biodiesel en el Mundo</i>	25
2.6.3.	<i>Métodos para la obtención de Biodiesel</i>	26
2.6.4.	<i>Factores que afectan la calidad del Biodiesel</i>	27
2.7.	Análisis Económico	28
	Capítulo III	30
	Materiales y métodos	30
3.1.	Caracterización del área de estudio	30
3.2.	Materiales y equipos	32
3.3.	Descripción de la metodología	33
3.3.1.	<i>Determinación de las características fisicoquímicas de los residuos de la Palma Africana</i> .	33
3.3.2.	<i>Generación de Biodiesel mediante la transesterificación</i>	34
3.3.3.	<i>Factibilidad económica en la generación de Biodiesel</i>	36
3.4.	Manejo específico del experimento	38
3.4.1.	<i>Descripción del proceso</i>	39
	Capitulo IV	42
	Resultados y discusiones	42
4.1.	Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de los residuos de la palma africana, para la determinación del mejor subproducto a usar en la elaboración del biocombustible.	42
4.2.	Evaluación del proceso de generación de biodiesel mediante la transesterificación.....	45
4.3.	Análisis de la factibilidad económica de la generación del biodiesel en comparación con el comercial.....	51
	Capítulo V	56
	Conclusiones y recomendaciones	56
	Conclusiones	56
	Recomendaciones	57
	Anexo 1	58
	Bibliografía	64

Resumen

Los residuos provenientes de la palma africana *Elaeis guineensis Jacq*, son desechos que no se reutilizan a menudo, los cuales se pueden aprovechar dándoles múltiples aplicaciones en la industria de la biorrefinería.

El presente trabajo de investigación está enfocado en la obtención de biodiesel a partir de residuos de la industria extractora de aceite de palma africana, en primera instancia se realizan pruebas fisicoquímicas de humedad y grasa que permiten confirmar cuál es el residual adecuado para ser utilizado en la obtención de biodiesel mediante el mecanismo de transesterificación. Durante la fase de investigación se analizó la incidencia de los factores que influyen en el proceso, estudiando la influencia de la reacción del metanol en presencia de hidróxido de sodio al 1% como catalizador. La conversión en función de la relación alcohol/aceite en escala 6:1 constituye la condición más adecuada, donde se obtuvo un volumen de Biodiesel de 40.9 ml acorde a la norma ASTM D 93 donde el punto de inflamación fue de 121°C; siendo la torta de palmiste el residuo más favorable para la elaboración de Biodiesel por el alto contenido de grasa y humedad.

PALABRAS CLAVE: Palma africana, Transesterificación, Biodiesel.

Abstract

The residues from the African palm *Elaeis guineensis* Jacq, are wastes that are not reused often, which can be used by giving them multiple applications in the biorefinery industry.

The present research work is focused on obtaining biodiesel from waste from the African palm oil extraction industry, in the first instance, physicochemical tests of humidity and fat are carried out that allow to confirm which is the appropriate residual to be used in the Obtaining biodiesel through the transesterification mechanism. During the research phase, the incidence of the factors influencing the process was analyzed, studying the influence of the methanol reaction in the presence of 1% sodium hydroxide as a catalyst. The conversion as a function of the alcohol / oil ratio on a 6: 1 scale constitutes the most suitable condition, where a Biodiesel volume of 40.9 ml was obtained according to the ASTM D 93 standard where the flash point was 121 ° C; palm kernel cake being the most favorable residue for the production of Biodiesel due to its high fat and moisture content.

KEY WORDS: African palm, Transesterification, Biodiesel.

Capítulo I

Introducción

Problema

En la actualidad, la contaminación ambiental se ha convertido en un asunto de gran importancia en todo el mundo, tan crucial es el tema que no es sino en la década actual donde yace su apogeo, la humanidad a lo largo de su desarrollo ha visto como la explotación demográfica y el uso indiscriminado de los recursos naturales por parte de la industria, ha producido grandes alteraciones al ecosistema (agua, suelo y aire), Garrido, (2009)

Por otro lado, algo semejante ocurre con la problemática de los residuos industriales producidos por la industria palmera, ya que en la actualidad representan un problema de contaminación medioambiental, esto sin olvidar que no existe una clara conciencia de la preservación de los recursos naturales.

Dentro de la industria aceitera existen varios residuos del proceso de la obtención de aceite de palma los cuales son; fibra, cuesco, raquis, efluente, torta de palmiste, dichos residuos en la actualidad generan diariamente 400 toneladas de despojos dentro de los procesos productivos (Palmera de los Andes San Lorenzo, 2020), siendo en la mayoría de los casos desechado a los vertederos, contaminando así el medio ambiente, y promoviendo la degradación de la flora y fauna.

Justificación

La presente investigación tiene la finalidad de generar una propuesta de aprovechamiento para los residuos agroindustriales provenientes de la Industria Aceitera de Palma Africana, teniendo como resultado un biocombustible a partir de la torta de palmiste, de esta manera se impulsa directamente al sector palmicultor, claramente al aprovechamiento de la biomasa quien es desechada de forma inadecuada, promueve a la reducción del impacto ambiental que dicha biomasa genera.

En la actualidad, existen empresas extractoras de aceite de palma que buscan implementar un modelo de producción amigable con el medio ambiente, aplicando procesos de aprovechamiento de residuos e incrementando la capacidad productiva de la planta. En el Ecuador, existe solo una empresa que ha adoptado esta iniciativa obteniendo buenos resultados, lo cual demuestra que será favorable para otras industrias aceiteras nacionales llevar a cabo el modelo planteado, ya que se caracteriza por procesos económicamente factibles, sustentables y sostenibles.

Es así como la tecnificación y optimización del proceso de obtención de biocombustible y la reducción del empleo de combustibles fósiles, promueven una alternativa innovadora para aprovechar el despojo agroindustrial, siendo estos un gran potencial de reutilización dándoles así un valor agregado de aprovechamiento. Es por lo que se propone mediante la obtención de biodiesel aprovechar este residuo. De acuerdo con Tovar, (2013) El biodiesel representa una importante fuente alternativa de energía ya que es un combustible renovable que puede ser obtenido de gran variedad de especies vegetales oleaginosas y grasas animales.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo General*

- Obtener biodiesel a partir de los residuos de la Industria Extractora de aceite de Palma Africana.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Establecer las características físico- químicas de los residuos de la Palma Africana, para la determinación del mejor subproducto a usar en la elaboración del biocombustible.
- Evaluar el proceso de generación de biodiesel mediante la transesterificación.
- Analizar la factibilidad económica de la generación del biodiesel en comparación con el comercial.

1.4. Hipótesis De Trabajo

1.4.1. *Hipótesis Nula*

H₀ =. La variación del porcentaje de metanol y catalizador no influyen en el rendimiento final de la obtención del biodiesel.

1.4.2. *Hipótesis Alternativa*

H_a =. La variación del porcentaje de metanol y catalizador influyen en el rendimiento final de la obtención del biodiesel.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Palma Africana

Desde años atrás la Palma africana es un cultivo destacado dentro del desarrollo industrial del país Iniap, (2016). Su introducción a América se atribuye a los colonizadores y comerciantes de esclavos, y no fue hasta 1953 que fue introducida a Ecuador, por lo cual en dicha época las plantaciones eran relativamente pequeñas. No es sino hasta el año de 1967 cuando comienza a entrar en auge con más de 1.000 hectáreas sembradas, sin embargo, su expansión inicia con fuerza en los años 70 y 80, momento a partir del cual no ha parado de expandirse Zambrano, (2013).

Tabla 1.

Características principales de la Palma Africana

Características	Descripción
Nombre Científico	<i>Elaeis guineensis Jacq.</i>
Ciclo Vegetativo	Perenne
Clima	22-23°C (optimo 28°C)
Familia	Arecaceae
Porte	Palmera monoica con tronco recto solitario que puede alcanzar más de 40 m d altura en estado natural.

Nota: Esta tabla muestra características importantes de la Palma Africana para un buen cultivo. Tomado de **Lasso**, (2018)

En la actualidad, de acuerdo con el INEC existen más de 319 000 hectáreas de Palma Africana a nivel nacional, de las cuales se producen aproximadamente 577 000 toneladas, de lo que se deriva el 39% a consumo nacional y el 61% a exportación Aguilar, (2017).

La *Elaeis guineensis*, se cultiva en el Ecuador a aproximadamente en 11 de las 23 provincias; las cuales son; Pichincha, Esmeraldas y los Ríos las mismas que representan el 70% de producción nacional.

2.2. Industria Aceitera

La industrialización de la palma aceitera se da gracias a la creación de un ente regulador, que constituye con el bienestar de los palmicultores. Es ahí donde nace “ANCUPA” en el año de 1970, con su objetivo principal de servir al palmicultor para que tenga conocimientos claros sobre la Palma Aceitera. Esta institución da lugar a la creación de un Consejo Latinoamericano de Cultivadores y Productores de Aceite de Palma, con los representantes gremiales de México, Colombia, Guatemala, Perú y Ecuador. En general, este consejo se establece con el fin de generar estrategias y acciones para una palmicultura sostenible y competitiva con otras regiones, así como también el posicionamiento de la agroindustria en la región, es por ello que se ha establecido un límite entre los racimos cosechables para la extracción de aceite de Palma Africana, es por lo cual el tiempo óptimo para una cosecha adecuada es la coloración del fruto, es decir cuando empiezan a desprenderse frutos del racimo Vides, (2019).

Figura 1.

Maduración de los racimos de palma



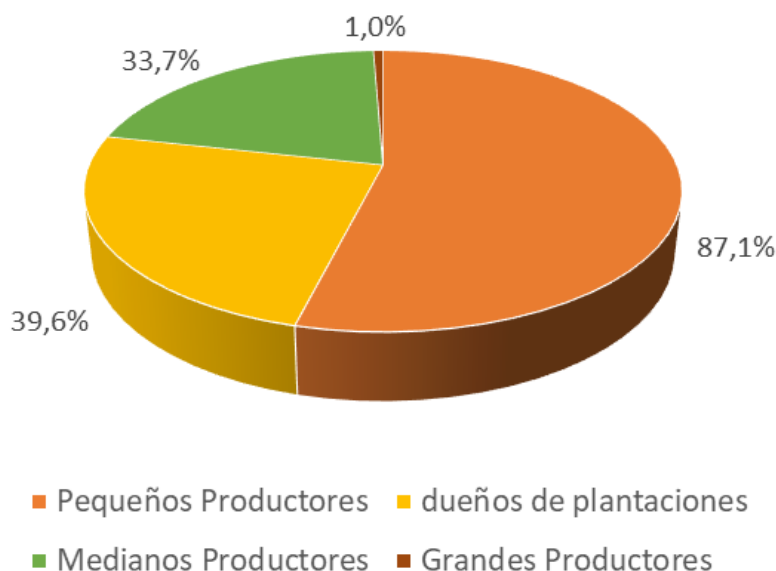
Nota: El gráfico representa el tiempo óptimo de cosecha del fruto de Palma Africana para la extracción de aceite.

2.2.1. Aceite de Palma en el Ecuador

En la actualidad, Ecuador ocupa el segundo lugar en Latinoamérica, después de Colombia, en la producción de aceite crudo de palma y es el séptimo productor a nivel mundial; la producción de aceite de Palma ha crecido de forma sostenida Martínez & Potter, (2011). Según el último censo nacional en el país existen 5.278 productores, los cuales están divididos en tres grupos pequeños como se muestra a continuación en la figura 2:

Figura 2

Producción de la Palma Africana.



Nota: Este gráfico representa los tipos de productos en el Ecuador en forma porcentual

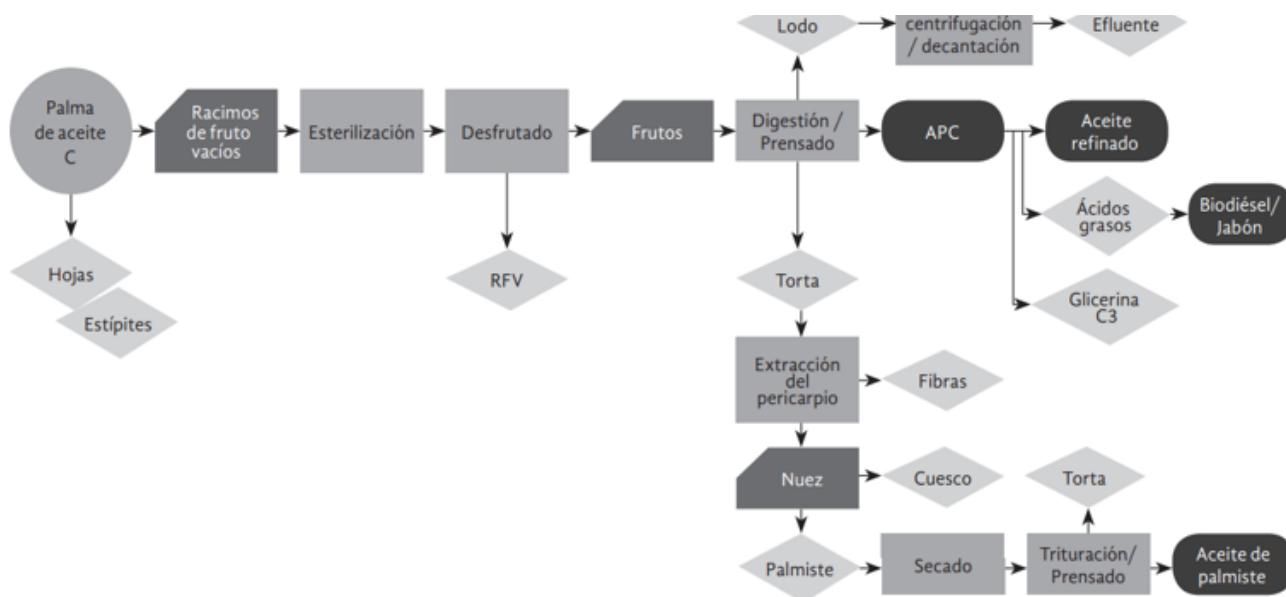
De acuerdo a los datos obtenidos podemos clasificarlos en: plantaciones de menores de 50 ha que representan el 87.10% del total de productores y son dueños de un 39.59% de las plantaciones, productores medianos que son los que tienen entre 50 a 200 ha y tienen un 33.74% de la superficie sembrada y los productores grandes que son los que tienen más de 200 ha y que son el 1% de los productores, pero son los dueños de un 26% de plantaciones Álvarez,(2010).

2.3. Potencial de los Residuos

La extracción del aceite de Palma Africana deja como resultado residuos agroindustriales que no son utilizados por algunas empresas, los mismos que no están interesadas en generar otros gastos para la reutilización de estos. Según Moran & Ramirez, (2015), dentro de los procesos productivos de la obtención de aceite de palma existen un sinnúmero de despojos que pueden ser aprovechados, los cuales se muestran en la figura 3.

Figura 3.

Procedimiento de la torta de Palmiste



Nota: Alternativas del uso integral de los productos y residuos que deja la extracción de aceite de la Palma Africana. Recuperado de Lideres, (2015)

De acuerdo con la estadística de investigación por Dam,(2016), se describen los diferentes despojos producidos por la industria aceitera y que a continuación se describen los posibles usos en los pueden emplear:

2.3.1. Racimo de Fruto Vacío (Rfv)

Los racimos de fruto vacíos son un residuo que dentro de su estructura su biomasa es voluminosa compuesta de; lignocelulosa y fibrosa, son un residuo poco utilizado por la industria extractora de aceite, es por lo que se han investigado varias tecnologías para su debida reutilización tanto en biorefinamiento y conversión termodinámica.

2.3.2. Fibra

Este residuo que deja la extracción de aceite posee las mismas características que la de otras fibras vegetales, por lo tanto, pueden ser procesadas fácilmente para generar nuevos usos en su aplicación.

2.3.3. Cuesco

Este residuo tiene un valor agregado muy limitado por lo tanto tiene pocas facilidades de aplicación.

2.3.4. Aguas y Lodos

Este subproducto que deja la industria aceitera, según estudios realizados se destinan para la obtención de biogás.

2.3.5. Torta de Palmiste

La torta de palmiste es otro residuo proveniente de la extracción de aceite de Palma, es un subproducto que menos se ha investigado en la actualidad, esto debido a que se destina para alimentación de uso animal, es por lo que dentro de las investigaciones que se han realizado a lo largo de los años se han identificado potenciales usos, siendo uno de esos la producción de bioetanol, además de otros intereses.

2.4. Torta de Palmiste

La torta de palmiste es un subproducto resultante de la extracción de aceite de Palma Africana (*Elaeis guineensis Jacq*), el cual ha sido poco estudiado especialmente en lo que se refiere a alternativas para su aprovechamiento, esto se debe a que en su totalidad se destina para alimentación animal, por su alto contenido energético, fibra y proteínas, el mismo que se

caracteriza por poseer en su estructura diferentes compuestos como se puede observar en la tabla 2, es por lo que dentro de las investigaciones que se han realizado a lo largo de los años se han identificado potenciales usos, siendo uno de esos la producción de bioetanol, además de otros intereses Gómez, Benavides, & Diaz, (2007).

Tabla 2.

Especificaciones características de la torta de palmiste

Variable	Parámetro
Humedad	12% Max.
Aceite	8 min 12 Max

Nota: Datos recuperados de Unipalma,(2017)

De acuerdo con Ahmad,(2012), la composición química y la digestibilidad de torta de palmiste varían con el contenido de tegumentos de la semilla, así como en relación con el contenido en aceite residual. La torta de palmiste, conocida también como torta de la almendra de palma, puede ser obtenida por métodos químicos (solventes) el cual oscila entre 1 y 2% de aceite o por extracción mecánica (expeller) donde el porcentaje de residual esta entre 8 y 12%, lo que ocasiona que varíe su composición y porcentaje de aceite presente en este subproducto.

2.4.1. Tipos de Torta de Palmiste

Según Mosquera 2015, los tipos de torta de palmiste radica en la forma de extracción del aceite presente en el residuo, es por ello por lo que se pueden dividir en dos grupos que se detallan a continuación.

2.4.1.1. Tipo Expeller. “La torta de palmiste tipo expeller es un subproducto granular fino”,

obtenido de la extracción física del aceite de palmiste, se caracteriza por su alto contenido

de aceite, utilizándose, así como base para alimento concentrado para animales Calvo, (2012).

2.4.1.2. Tipo Mecánico. La torta de palmiste por solvente está compuesta por el coquito integral de palma africana, al cual se le extrae el aceite que contiene mediante solventes, generalmente hexano, este subproducto es bajo en grasa y su composición es afectada por la cantidad de cascarilla residual que contiene el coquito integral. Vargas & Zumbado, (2003).

2.4.2. Usos

En la actualidad, el uso de la torta de palmiste está destinado como ingrediente a la alimentación animal, esto gracias a su bajo costo, contenido nutricional y disponibilidad. Algo muy importante de destacar es que hoy en día existe poca información acerca del empleo por lo que se recomienda que se debe investigar este subproducto por lo que se debe investigar su tecnología y aplicabilidad.

2.5. Análisis previos de los residuos

Los residuos agroindustriales que deja la extracción de aceite son muy variables en su contenido físico y químico, por ende reaccionan de forma distinta cada uno, como por ejemplo; las propiedades físicas de una muestra se pueden medir sin que afecte la composición de la muestra; y las propiedades químicas, se observan cuando una muestra sufre un cambio químico Corredor & Pérez, (2018), a continuación se detallan los análisis previos a cada despojo que deja la extracción de aceite de la palma africana por la Industria.

2.5.1. *Humedad*

Según la norma ISO 662:2016, la humedad es un paso obligado antes de cualquier proceso posterior, esto debido a que mediante este análisis se evalúa el contenido de agua del producto; ya que es una técnica importante en el análisis de los despojos agroindustriales; siendo este la base de referencia que permite: comparar valores expresados en base seca y expresarlos en base tal como se recibió. En la tabla 3 se encuentra detallado el método utilizado para la determinación de humedad, señalando brevemente sus ventajas, limitaciones y aplicaciones.

Tabla 3.

Método utilizado para la determinación de la humedad

Método	Tiempo	Limitaciones	Ventajas
Método por desecación por estufa	3 horas Peso constante de la muestra	No aplicable a alimentos azucarados	Rápido

Nota: información recuperada de Thomas & Cheriyeath, (2018)

2.5.2. *Grasa*

Según la norma NTE INEN 0038: El contenido de grasa presente en los residuos agroindustriales que deja la Industria extractora de aceite de palma para la elaboración de biodiesel es uno de los parámetros más importantes a analizar, lo cual se determina como grasa bruta según el proceso de extracción sólido-líquido por medio del equipo “soxhlet”, donde se extrae por medio de un solvente (éter de petróleo), calculando su contenido de grasa presente con la diferencia entre el peso inicial y el peso final. Véase tabla 4

Tabla 4.*Método utilizado para la determinación de Grasa*

Método	Tiempo	Limitaciones	Ventajas
Soxhlet	4 horas Peso constante de la muestra	Solvente controlado Éter de petróleo	Rápido

Nota: Información recuperada de Gerhardt, (2019)

2.6. Biodiesel

Según la normativa INEN, (2482: 2009) “el Biodiesel es un combustible compuesto de mezclas de ésteres monos alquílicos de ácidos grasos de cadena de carbonos medias y largas derivadas de aceites vegetales o grasas animales “.

Las primeras pruebas técnicas con este combustible vegetal se realizaron en 1982 en Austria y Alemania, aunque fue en 1985, en Silberberg (Austria), donde se construyó la primera planta piloto productora de biodiesel a partir de las semillas de colza o canola. Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles. El biodiesel es un combustible líquido muy similar en propiedades al aceite diésel, pero se obtiene a partir de productos renovables, como aceites vegetales. Rodríguez & Jorge, (2008)

2.6.1. Propiedades Biodiesel

Las propiedades del Biodiesel son muy similares a las del GAS OIL de origen fósil, en cuanto a densidad, número de cetano, eficiencia y rendimiento de los motores gasoleros (diésel), destacándose que el biodiesel presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el

Biodiesel puede mezclarse en cualquier proporción que se desee: B5 (5% Biodiesel, 95% diésel de petróleo)- B10 (10% Biodiesel, 90% diésel puro)- B30 (30%Biodiesel, 70% diésel de petróleo) - B50 (50% Biodiesel, 50% diésel de petróleo), etc. E inclusive sustituirlo totalmente: B100 (Biodiesel puro) Murillo,(2003).

Razón por lo cual la ASTM, ha especificado distintas pruebas y parámetros que se deben realizar a los biocombustibles para asegurar su correcto funcionamiento. En la tabla 5 se encuentran enumeradas las especificaciones establecidas para el biodiesel y los métodos de ensayo correspondientes.

Tabla 5.

Pruebas y Parámetros del Biodiesel según la norma ASTM (Americcan Society For Testing And Materials)

Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo	Métodos de Ensayo
Densidad a 15°C	<i>kg/m³</i>	860	900	ASTM D 1298
Punto de Inflamación	°C	120	130	ASTM D 93
Número de cetano	-----	47	51	ASTM D 613
Azufre total	% masa	-----	0.05	ASTM D 1552
Contenido de metanol	% masa	-----	0.20	ASTM D 4815 EN 14110
Glicerol total	%	-----	0.25	ASTM D 6584
Índice de yodo	-----	-----	120	EN 14111
Numero de acidez	Mg KOH/g	-----	0.5	ASTM D 664

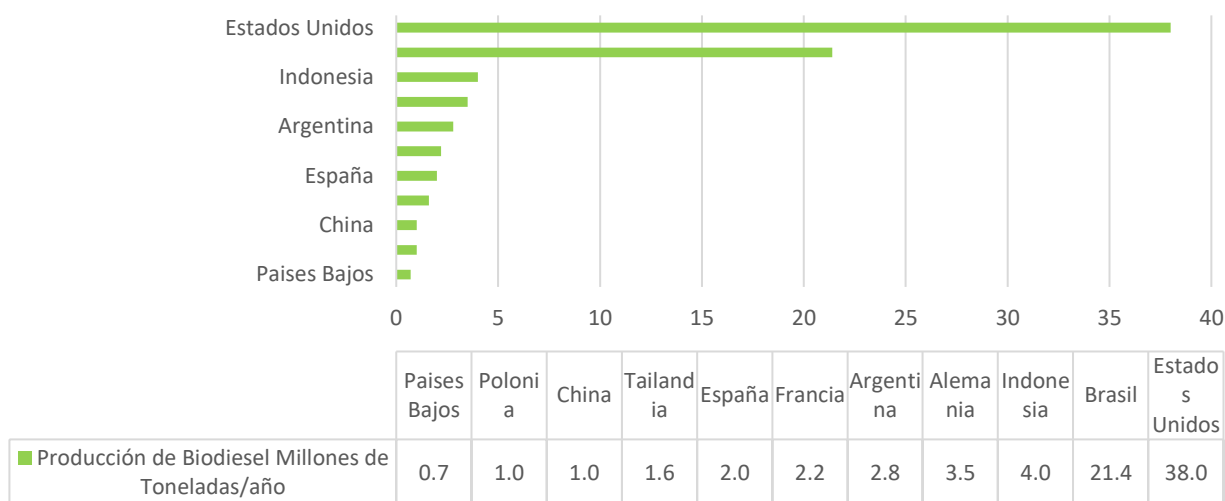
Nota: Información recuperada de INEN, (2482: 2009)

2.6.2. Biodiesel en el Mundo

En los últimos años la producción mundial de Biodiesel ha incrementado considerablemente, debido a un mayor interés de ciertos sectores Industriales por utilizar Biocombustibles con el fin de aprovechar recursos y disminuir el impacto ambiental. Como resultado de esto actualmente se encuentra una mayor oferta de Biocombustible en el mercado siendo estados unidos y Brasil los principales productores a nivel mundial como detalla la figura 4.

Figura 4.

Producción de Biodiesel Millones de Toneladas/año



Nota: Principales países productores de biodiesel.

Según Fernandez, (2020), Estados Unidos, tuvo una producción que ascendió a los 38 millones de toneladas aproximadamente, mientras que Brasil tuvo una producción de 21.4 millones de toneladas de biocombustible seguido del resto de países.

2.6.3. Métodos para la obtención de Biodiesel

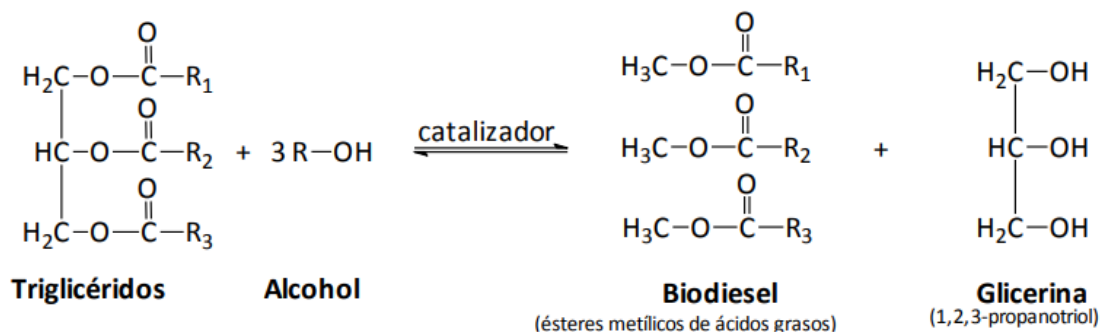
Hoy en día gracias a diversas investigaciones en el amplio campo de la producción de biodiesel, existen algunos métodos para la obtención de este, en esta revisión se considerará solamente el método más simple, ecológico, amigable y eficiente de los tres;

- Pirolisis
- Micro emulsificación
- Transesterificación

2.6.3.1. Transesterificación. Por lo general la reacción de transesterificación es el método más utilizado para la obtención de biodiesel con alcoholes de bajo peso molecular, en presencia de un catalizador adecuado. Básicamente dicha reacción consiste en el desplazamiento del alcohol, formando tres moléculas de ácidos grasos que forman el triglicérido, quedando como resultado el éster metílico Sánchez, (2015). En la figura 5 se representa la reacción global del éster metílico.

Figura 5.

Reacción de transesterificación de un triglicérido presente con metanol



Como se ilustra en la figura 5 según Cano, (2004), la reacción de transesterificación transcurre mediante el desarrollo de tres reacciones reversibles las cuales son; triglicéridos, diglicéridos, monoglicéridos. Los triglicéridos son convertidos en diglicéridos, los mismos en monoglicérido y por último en glicerina.

2.6.4. Factores que afectan la calidad del Biodiesel

Si bien es cierto el biodiesel resultante del proceso, no debe ser igual por lo que hay diversos métodos de obtención de este, y sus propiedades variarían en pequeñas escalas, es por lo que en cierta medida varían sus características, pero el resultado óptimo de la generación de biocombustible es que la calidad no disminuya en presencia de algún factor extraño, considerado como contaminante la producción de oxidación del biocombustible, generando por la inestabilidad de tipo químico Murillo & Bernal, (2016). Es por lo que se detalla a continuación ciertos factores.

2.6.4.1 Efecto de la temperatura.

Acorde con varios investigadores el rango óptimo de temperatura en la que se debe trabajar mediante el proceso de transesterificación oscila entre 45 y 65°C, por lo cual una temperatura mayor al punto de ebullición del alcohol provocaría una evaporación de este y por ende un menor rendimiento. Demostrando así que una temperatura mayor a 50°C provocaría que la transesterificación tenga un impacto negativo al momento de trabajar para su obtención aceite puro y un efecto positivo cuando se trabaja con aceite usado, ya que este tiene mayor viscosidad Leung (2006).

2.6.4.2 Efecto de la agitación.

Este factor juega un papel muy importante dentro del proceso de obtención de biodiesel, ya que mediante este se obtendría un mejor rendimiento, en consecuencia, el tiempo de agitación óptimo es de 200 rpm, ya que una agitación de 180

rpm está incompleta y su rendimiento sería menor. M.Mathiyazhagan A.Ganapathi, (2011)

2.6.4.3 Tiempo de reacción. De acuerdo con varios autores la conversión del aceite a biodiesel se incrementa con el tiempo de reacción. Se ha estudiado que con una relación molar de metanol/aceite con 0.5 de metóxido de sodio se obtienen rendimientos que oscilan entre 93-98% de conversión para uno u dos horas de reacción. El porcentaje de conversión se incrementa con el tiempo de reacción. López, Bocanegra, & Malagón-Romero, (2015)

2.7. Análisis Económico

En la actualidad, el precio del biodiesel es fuertemente dependiente del precio de los aceites vegetales, el cual representa entre un 60 y 80% del precio final del biocombustible. Considerando esta circunstancia, el costo de producción de biodiesel según la Unión Europea (UE), durante el año 2010, estaba comprendido entre 0.73 y 1.10 euros el litro de este Sánchez, (2015). Por otro lado, Ecuador es también un potencial para la producción de biodiesel, sin este producto es un incipiente en producción.

Actualmente una única empresa, La Fabril, realiza la producción y exportación de biodiesel en el país, quien inicio su operación agrícola de conversión en el año 2005-2006 con aceite de palma como materia prima.

La fabril ha exportado 16.6 millones de galones a EE. UU., siendo su principal comprador Perú, no obstante, su enfoque es convertirse en el principal proveedor del país; ya que, en el 2006, mediante el Decreto nro. 3103 se dispuso que el diésel sea mezclado con biocombustible vegetal de producción nacional. CFN, (2017)

De acuerdo con estimaciones recientes de La Fabril, el costo de producción del biodiesel a partir de la palma aceitera supera los US\$1000/t, de los cuales el 76% se debe al costo de la materia prima. Es claro que el costo del biodiesel está en función del costo del cultivo de origen o materia prima que se usa para su producción.

Capítulo III

Materiales y métodos

3.1. Caracterización del área de estudio

La presente investigación se desarrolló en el Laboratorio de Bioprocesos de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial perteneciente a la Universidad Técnica del Norte como se visualiza en la figura 6, los residuos (torta de palmiste, cuesco, efluente, raquis y fibra) se almacenaron en un lugar seco a temperatura ambiente de 17.9 °C.

Figura 6.

Almacenamiento de los residuos en la Universidad Técnica del norte.



Por otro lado, la obtención del Biodiesel como tal se debe a la reutilización de residuos agroindustriales (torta de palmiste, cuesco, efluente, raquis y fibra) en donde se encuentran almacenados dentro de la empresa Extractora de aceite Palmeras de los Andes, la misma que está ubicada en la provincia de Esmeraldas, cantón San Lorenzo, a una temperatura ambiente de 33°C.

A continuación, en la tabla 6, se detallan las condiciones climatológicas de la ciudad de Ibarra y del cantón San Lorenzo además de los sitios en que se desarrolló la investigación.

Tabla 6.

Ubicación del área de estudio

Región	Zona 1
Provincia 1	Imbabura
Cantón 1	Ibarra
Altitud	2256 m.s.n.m
Humedad Relativa Promedio	62%
Temperatura media	17.9°C
Sitio 1:	Unidades Edu-productivas Agroindustrias
Sitio 2:	Laboratorio de Análisis Experimental e Innovación
Sitio 3:	Laboratorio de Bioprocesos
Provincia 2	Esmeraldas
Cantón 2	San Lorenzo
Altitud	12 m.s.n.m
Humedad Relativa Promedio	84°C
Temperatura media	33°C +

Nota: Datos recuperados de SENPLADES, (2017)

3.2. Materiales y equipos

Para la obtención de biodiesel y desarrollo de los objetivos planteados en la investigación se utilizó los materiales y equipos detallados a continuación en la tabla 7.

Tabla 7.

Descripción de material de laboratorio, equipos y reactivos que intervinieron en el proceso de obtención de Biodiesel.

Materiales de laboratorio y utensilios	Reactivos
Vasos de precipitación de (500 y 100) ml	Hidróxido de sodio (NaOH)
Balón aforado 100 ml	Ácido acético (C ₂ H ₄ O ₂)
Frascos ámbar	Agua destilada
Mortero	Éter de petróleo
Espátula	Metanol (CH ₃ OH)
Pipetas de 10 ml	
Embudo de separación (250 ml)	
Equipos	Capacidad
Agitador magnético	10 litros/1500 rpm
Balanza analítica	2.600 gramos
Termómetro digital	300 Celsius
Equipo Soxhlet	250 mililitros
Soporte universal	250 kilogramos
Potenciómetro	10 000 ohmios
Balanza infrarroja	50 gramos

3.3. Descripción de la metodología

3.3.1. Determinación de las características fisicoquímicas de los residuos de la Palma Africana

Los análisis se realizaron en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador, los métodos que se llevaron a cabo para la determinación de las características fisicoquímicas en los residuos (fibra, cuesco, torta de palmiste, raquis y efluente), provenientes de la industria aceitera se detallan en la tabla 8. Cabe mencionar que los análisis realizados se especificaron con la finalidad de determinar el mejor subproducto a usar en la elaboración del biocombustible (humedad y grasa).

Tabla 8.

Descripción de los métodos utilizados para adecuación los residuos

Análisis	Método	Unidad	Referencia
Humedad	AOAC. 925.10	%	D'Antonio L, 1993
Grasa	AOAC 945.16	%	Franz Ritter Von Soxhlet, 1879

Se determinó el contenido de humedad según la norma AOAC. 925.10, la cual se basa en el método de valor gravimétrico, tomado en cuenta la pérdida de masa, esta técnica usa una muestra desecada hasta obtener una masa constante a una temperatura determinada. La humedad del producto se calcula en porcentaje referente a la expresión de la ecuación 1.

$$H \% = \frac{Mb - Ma}{M} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

H %: porcentaje de humedad en base húmeda

Ma: masa de la cápsula vacía en (gramos)

Mb: masa de la cápsula y la muestra desecada en (gramos)

M: masa de la cápsula más la muestra antes del secado en (gramos)

Por otro lado, se consideró el método AOAC 945.16 en la determinación del porcentaje de aceites y grasas presentes en las diferentes muestras. Este método también es conocido como método Randall el cual disuelve sustancias mediante inmersión de las muestras en disolventes en ebullición Buchi, (2016)

3.3.2. Generación de Biodiesel mediante la transesterificación

La presente investigación se ejecutó por medio de la reacción de transesterificación, utilizando NaOH y metanol para formar metóxido. Se trabajó con dos factores de estudio: Factor A: hidróxido de sodio (catalizador) en diferentes porcentajes (1, 2, 3) % y B: Relación aceite recuperado/metanol (6:1, 9:1), la reacción se mantuvo constante en un lapso de dos horas bajo un diseño experimental DCA con arreglo factorial AxB.

3.3.2.1. **Factores de estudios.** El volumen de cada unidad experimental es de 50 ml de la mezcla total de todos los componentes. Se trabajarán 18 unidades experimentales.

- **Factor A:** hidróxido de sodio (catalizador)

Porcentaje de la mezcla 1: 1%

Porcentaje de la mezcla 2: 2%

Porcentaje de la mezcla 3: 3%

- **Factor B:** Relación aceite recuperado/metanol

Relación 1: 6:1

Relación 2: 9:1

3.3.2.2. **Descripción del diseño.** En la tabla 9, se describen las combinaciones de los factores evaluados en la obtención de Biodiesel, para dar cumplimiento al objetivo.

Tabla 9.

Descripción de las combinaciones entre los factores de estudio

Nº De Tratamientos	Factor A	Factor B	Combinación
T1	A1	B1	A1B1
			A1B2
T2	A2	B2	A2B1
			A2B2
T3	A3		A3B1
			A3B2

3.3.2.3. **Análisis de varianza.** Para el análisis de los datos se procedió a utilizar un análisis de varianza (ADEVA) como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10.

Análisis estadístico de los grados de libertad del diseño experimental

F de Variación	GL
Total	20
Tratamientos	6

Factor A: hidróxido de sodio (catalizador)	2
Factor B: Relación molar metanol/residuo de la palma	1
Interacción	2
Error experimental	14

Dentro de los parámetros y variables a evaluar en la obtención de Biodiésel, se analizó la relación e influencia de la temperatura de reacción, la concentración del catalizador y el tiempo de reacción en el rendimiento de obtención del biodiesel, como única variable de respuesta.

Factores Controlables

- Temperatura de reacción
- Concentración del catalizador
- Tiempo de reacción
- Humedad del residuo
- Relación aceite recuperado/metanol
- Intensidad de mezclado

Factor No Controlable

- No se registra para el experimento.

Variable Dependiente

- Rendimiento del biodiesel g/ml

3.3.3. Factibilidad económica en la generación de Biodiesel

Debido al enfoque que tiene la presente investigación, proponiendo una nueva alternativa para la producción de Biodiesel utilizando residuos de la Industria extractora de aceite, se ha planteado realizar un estudio de factibilidad económica analizando los costos directos e

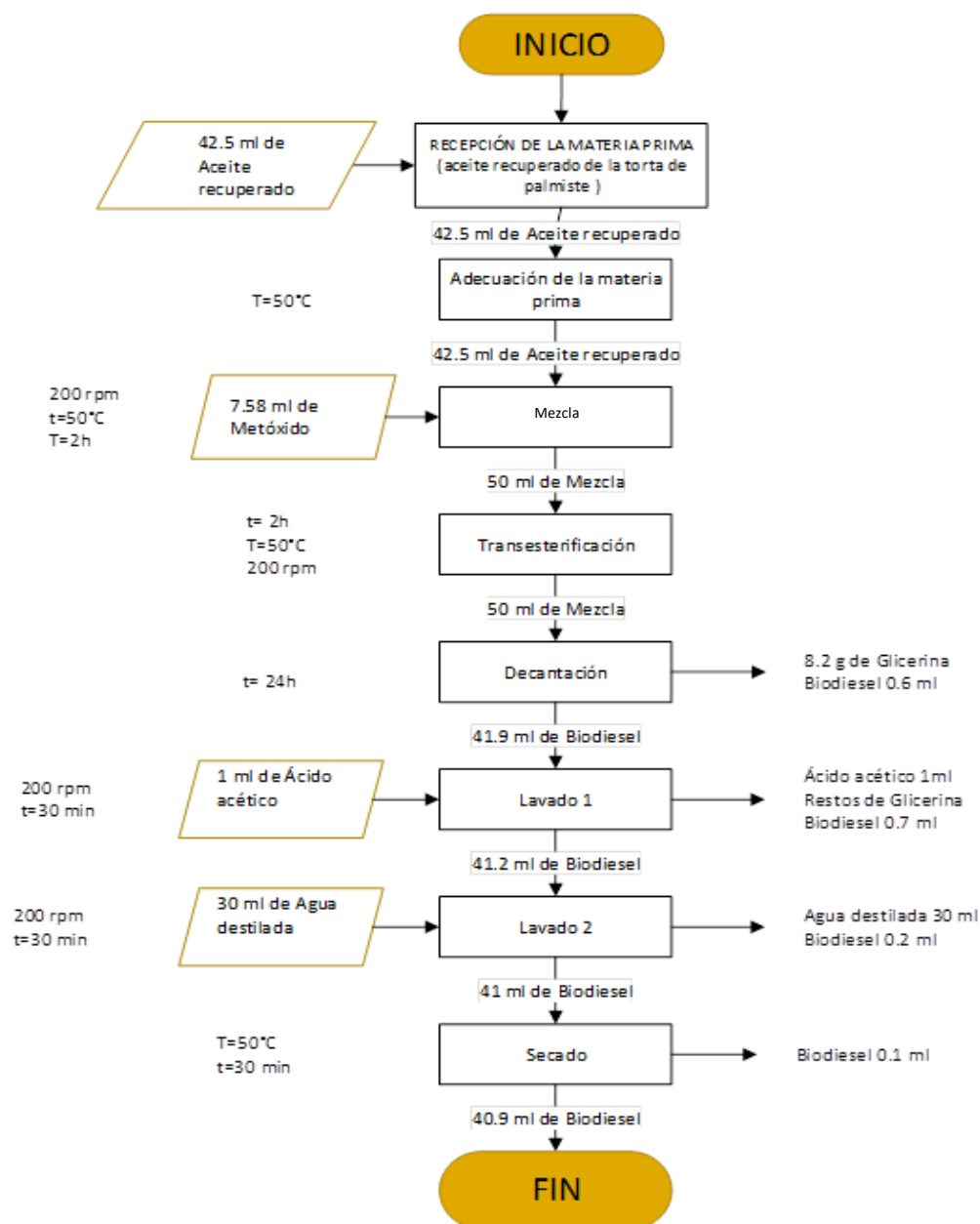
indirectos resultantes de la parte experimental, con el fin de determinar qué tan favorable resulta este proceso realizando una comparación con los costos del producto comercial.

3.4. Manejo específico del experimento

El procedimiento para la obtención de biodiesel a partir de residuos agroindustriales de la palma africana se describe a continuación en la Figura 7:

Figura 7.

Diagrama de obtención de biodiesel



3.4.1. Descripción del proceso

3.4.1.1. **Preparación de la materia prima.** Generalmente cuando se habla de la preparación de la materia prima (aceite), se destacan las adecuaciones en las que esta debe estar; ya que el proceso de obtención de biodiesel depende de las condiciones en las que se encuentre, es por lo cual dicha materia prima debe estar en condiciones óptimas para iniciar el proceso, siendo estas las siguientes; temperatura entre (50 a 55) °C y libre de agua e impurezas.

Figura 8.

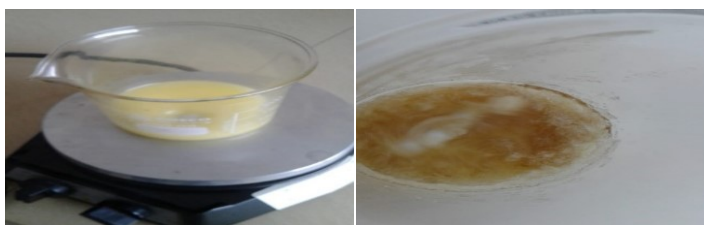
Adecuación de la materia prima



3.4.1.2. **Mezcla.** La agitación es uno de los puntos críticos en la obtención de biodiesel debido a que una mala agitación hecha a perder todo el proceso del biodiesel; es por lo que gracias a investigaciones se pudo determinar la agitación óptima en 200 rpm.

Figura 9.

Agitación de cuerdo a la investigación



3.4.1.3. Transesterificación. Es la etapa donde los alcoholes de bajo peso molecular (metanol) en presencia de hidróxido de sodio, forman un metóxido que se añade por goteo, quienes se desplazan formando tres moléculas de ácidos grasos que forman el triglicérido, quedando como resultado el éster metílico, además cabe recalcar que el tiempo del alcance de la transesterificación es de 2 horas para poder observar la separación de la glicerina y el biocombustible como resultado.

Figura 10.

Reacción de transesterificación luego de dos horas



3.4.1.4. Decantación. Consiste en dejar reposar durante 24 horas el resultante de la transesterificación, donde luego de este tiempo determinado se podrá observar claramente la separación de glicerina y biodiesel, este proceso se lo realizo en un embudo de separación para su fácil recolección luego del tiempo estimado. Alvarez, (2013)

Figura 11.

Decantación durante 24 horas



3.4.1.5. **Lavado 1.** En dicha etapa se purifica el producto obtenido de la reacción de transesterificación, por lo que durante el lavado uno, se agrega un porcentaje de 50/50 de ácido acético en base a la proporción obtenida de biodiésel, el mismo que elimina cualquier tipo de impurezas o trazas de glicerina presente en el biocombustible.

Figura 12.

Lavado 1 con una solución de ácido acético durante 12 horas de decantación



3.4.1.6. **Lavado 2.** En esta etapa se realiza un lavado por segunda ocasión, lo que permite obtener mayor pureza en el producto final, es por lo que se le adiciona agua destilada para quitar olores presentes en el biocombustible que dejó el lavado 1, se lo realiza con una agitación de 200 rpm durante 15 minutos para obtener mejores resultados, dejándolo decantar durante 12 horas.

Figura 13.

A) Lavado 2 con una solución de agua destilada y B) Biodiesel después del lavado



Capítulo IV

Resultados y discusiones

A continuación, se describen los resultados alcanzados mediante el empleo de la metodología aplicada, con la finalidad de evaluar los objetivos de estudio durante la investigación “Obtención de biodiesel a partir de residuos de la industria extractora de aceite de palma africana, *Elaeis guineensis Jacq*”.

4.1. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de los residuos de la palma africana, para la determinación del mejor subproducto a usar en la elaboración del biocombustible.

Los análisis se realizaron en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador para la determinación del grado de utilidad de los residuos de Palma Africana como el mejor subproducto a utilizar en la elaboración del biocombustible siendo estos análisis cuantitativos: Grasa y Humedad. Cabe recalcar que la materia prima que se utilizo es heterogénea, por lo que se ha catalogado un muestreo en cinco partes: Raquis, Cuesco, Residuos de palmiste, Efluente y Fibra.

Por otra parte, la grasa presente en los residuos es sumamente importante en cuanto al rendimiento, debido a que a mayor porcentaje de grasa su rendimiento se elevará, ya que el mismo porcentaje de aceite que ingresa al proceso es el mismo porcentaje que saldrá de biodiesel, por ende, se analizó para dar un criterio aceptable ya que la presencia de este factor en los residuos ayuda en la obtención de Biocombustible.

Se tomó tres muestras de cada una de las fracciones antes mencionadas para verificar la fluctuación que puede haber en el contenido de grasa y humedad. Además, se aplicó la prueba de normalidad Shapiro Wilk, la cual dio como resultado los siguientes valores, tal como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11.

Descripción característica de la prueba de normalidad Shapiro Wilk

Residuo	Grasa	CV	Humedad	CV
Raquis (RFV)	2.00±0.10	5.00%	63.34±0.06	0.09%
Cuesco	2.04±0.01	0.28%	11.55±0.01	0.05%
Residuos de palmiste	86.20±0.10	0.12%	64.95±0.05	0.08
Efluente	2.60±0.140	3.85%	99.9±0.00	0.00
Fibra	1.55±0.05	3.23%	15.5±0.01	0.65%

Se realizó el análisis estadístico como se muestra en la tabla 11, lo que permite identificar sus características descriptivas, se pudo analizar la grasa y humedad, los cuales provienen de una distribución normal ($P\text{-value} > 0.05$) y un comportamiento homogéneo (0 -5%), siendo los datos diferente de otros autores en investigaciones anteriores realizadas como Cuadrado, (2017), este cambio se debe al tipo de tratamiento para la extracción total del aceite que le da la empresa extractora a fin, donde se ve reflejado en los residuos de palmiste, ya que si bien es cierto este es destinado a alimentación animal, en cuanto a la empresa extractora deja esta cualidad en la torta debido a que el método que usa es el de prensado que consiste en aplicar presión por medio de una prensa.

Por otro lado, al realizar una comparación entre los resultados obtenidos (véase, tabla 11), se logró identificar que los residuos de palmiste son los adecuados para realizar el proceso de obtención de biocombustible, ya que este residuo ostenta mayor proporción de grasa, aunque también presenta un valor relativamente alto de humedad, dicho parámetro como lo es la humedad no intervino en el proceso de transesterificación.

4.2. Evaluación del proceso de generación de biodiesel mediante la transesterificación.

Para la evaluación del proceso de biodiesel se analizaron dos variables que fueron el porcentaje de Hidróxido de Sodio en la mezcla y la relación entre la cantidad de aceite recuperado y el metanol. Para esto se usó la herramienta estadística Infostat.

Al tratarse de un diseño completamente al azar con arreglo factorial AxB, se estableció el análisis de varianza el cual arrojó los siguientes resultados:

Tabla 12.

Análisis de la Varianza

Variable	N	R ²	R ² AJ	CV
Volumen Biodiesel	18	1.00	1.00	1.96

Tabla 13.

Análisis de Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	17417.19	5	3483.44	8164.31	<0.0001
Porcentaje de NaOH	13467.54	2	6733.77	15782.27	<0.0001
Relación aceite/metanol	1573.61	1	1573.61	3688.14	<0.0001
Porcentaje NaOH*Relación aceite	2376.04	2	1188.02	2784.43	<0.0001
Error	5.12	12	0.43		
Total	17422.31	17			

A partir de este análisis estadístico se pudo determinar que en la interacción entre las dos variables estudiadas hay diferencia significativa puesto que el p – valor es menor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis alternativa, es decir, se confirma que tanto la cantidad de hidróxido de sodio como de metanol influyen en el rendimiento de biodiesel. Para complementar la información conseguida se realizó una prueba Tukey con el fin de identificar la interacción que presentó mayor diferencia y mejores resultados.

Figura 14.

Descripción gráfica del análisis de varianza

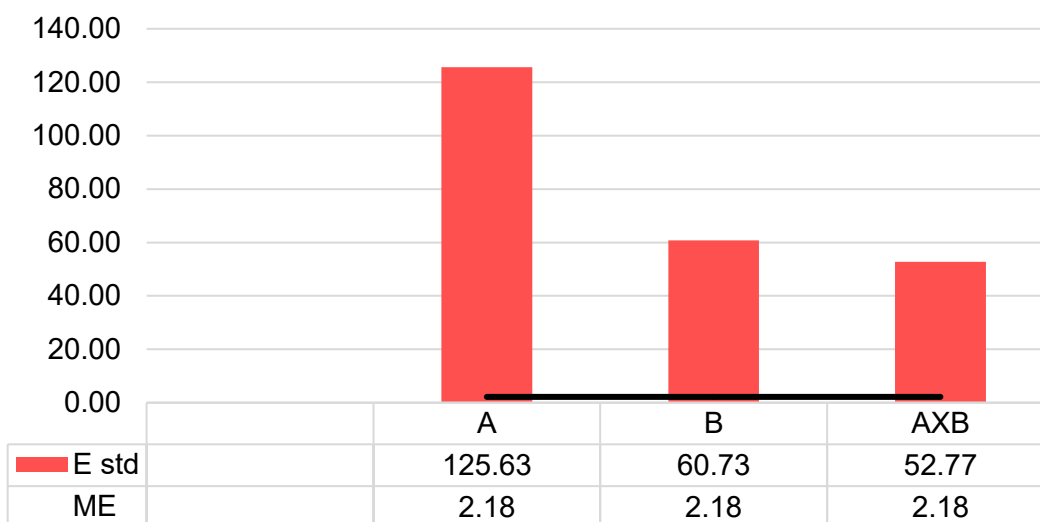
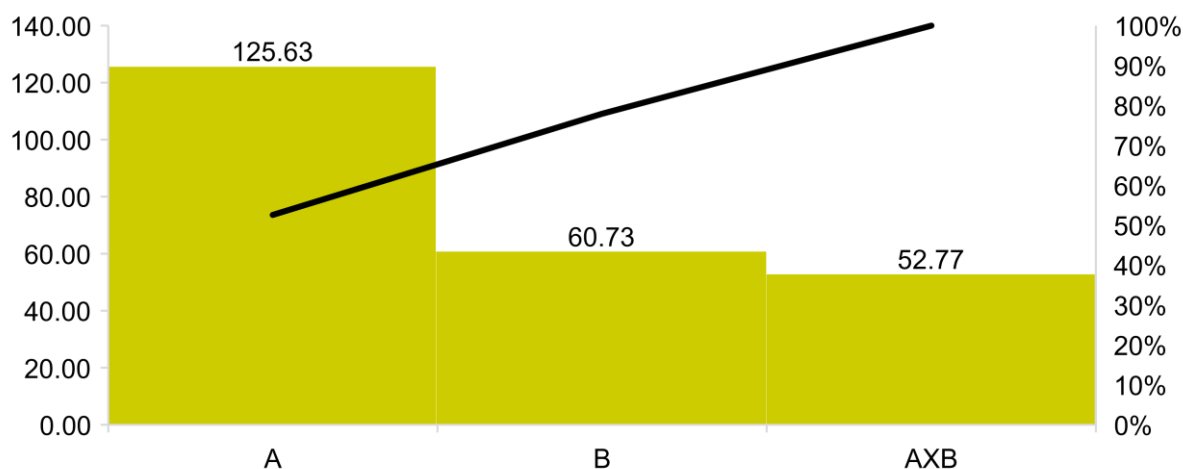


Figura 15.

Descripción grafica del análisis de varianza representado por Pareto



Al momento de determinar f calculada (f_c) para cada uno de los factores y para la interacción, se establece que hay diferencia significativa en los tres casos ya que el valor de f_c supera el valor de f_t .

El efecto estándar es un valor estadístico como se puede observar en la figura 15, es determinado a partir de f calculado (f_c) permitiendo establecer si una de las variables o su interacción presenta diferencia significativa, expresándose en dos gráficos diferentes (gráfico de Pareto figura 16 y comparación del efecto estándar figura 15) para conseguir una mejor interpretación. A partir de los resultados obtenidos en la experimentación realizada se determinó que el factor A es aquel que más influye pues esta sobre el 80 % en la gráfica de Pareto que se encuentra en la figura 16. Esto se corrobora en la comparación del efecto estándar que se encuentra en la figura 15 pues a pesar de que los dos factores, el factor A supera por más del doble con relación al factor B y a la interacción.

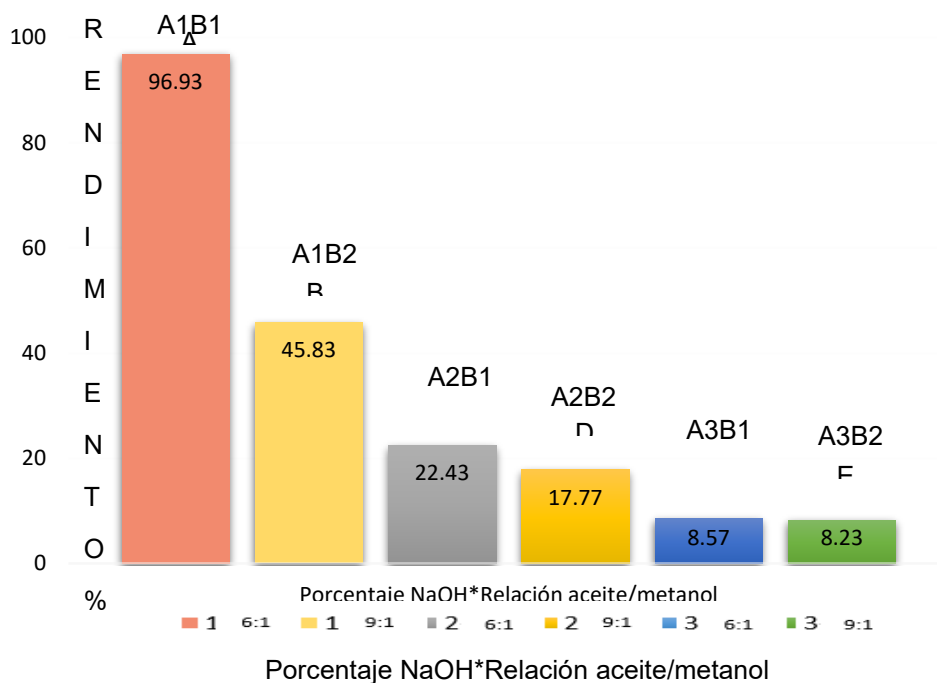
Tabla 14.*Comparación de resultados del método Tukey*

Error: 0.4267 gl: 12					
Porcentaje NaOH	Relacion aceite/metanol	Medias	N	E.E.	
1	6:1	96.93	3	0.38	A
1	9:1	45.83	3	0.38	B
2	6:1	22.43	3	0.38	C
2	9:1	17.77	3	0.38	D
3	6:1	8.57	3	0.38	E
3	9:1	8,23	3	0.38	E

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 16.

Comparación de los tratamientos mediante la Prueba Tukey



En base a los datos reflejados en esta prueba, se comprobó que la interacción que dio mejor resultado fue aquella en la que se aplicó 1% de hidróxido de sodio del total de la mezcla, con una relación de aceite recuperado/metanol de 6:1, consiguiendo un volumen promedio de biodiesel de 40.9 ml.

Tabla 15.

Selección del Solvente en la recuperación del aceite

Métodos	Característica
<p data-bbox="201 716 289 743">Soxhlet</p> <p data-bbox="479 562 760 905">Es un método muy utilizado por su alta efectividad y además es económico. Cabe recalcar que el procedimiento se lo realizo con el solvente éter de petróleo, debido a que el rendimiento del aceite recuperado fue del 50% en menor tiempo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="833 436 1344 779">- Éter de petróleo: es un solvente apolar no miscible con el agua, por lo que puede ser utilizado para la extracción de productos naturales en tejidos vegetales y animales con alto contenido de agua, el porcentaje de obtención depende de la materia prima, además el punto de ebullición de 45°C de este solvente permite que los resultados sean del 50% aproximadamente en un tiempo de dos horas. <li data-bbox="833 789 1344 1029">- Hexano: se utiliza como solvente en la extracción de aceite de semillas vegetales, el punto de ebullición de este solvente lo cual es de 69°C permite que el procedimiento demore 4 horas realizando un gasto energético comparación que el éter de petróleo.

Nota: Información obtenida de Vazquez & Cotar, (2012)

4.3. Análisis de la factibilidad económica de la generación del biodiesel en comparación con el comercial.

Después de identificar al mejor tratamiento se realizó el análisis de costo respectivo estableciendo un costo de 0.36 dólares americanos por 40.9 ml de muestra procesada véase la Tabla 16. Se reportó un valor de \$8.80 por litro. En relación con datos reportados por La Fabril y La Unión Europea Tabla 17 el costo obtenido a nivel de laboratorio es considerablemente más alto. Esta diferencia se debe a la escala de producción, a mayor escala los costos se reducen. Otro factor que influyó en los costos de este experimento fue la etapa de extracción, en la cual se necesitó de un solvente (éter de petróleo) y se obtuvo un rendimiento del 50%.

Tabla 16.

Detalle del costo de producción del Biodiesel a partir de residuos de extracción de aceite de Palma.

Detalle	Costo
Reactivos	0.28
Consumo energético	0.08
Total	0.36

Tabla 17.

Comparación de costos de producción de Biodiesel.

Fuente	Costo de producción/L
Unión Europea	1.28
La Fabril	1.06
Experimento desarrollado	8.80

Nota: Información obtenida de Vega, Arce, & Lizano, (2010)

Para realizar un análisis más profundo, se desglosó los rubros de la estructura de los costos de producción de biodiesel de la Fabril Tabla 18 y del proceso experimental Tabla 19.

Tabla 18.

Estructura del costo de producción de Biodiesel en la Fabril

Rubros de materia prima	Consumo de Kg materia prima/ kg de biodiesel	Costo\$/kg materia prima	Costo\$/kg Biodiesel	Participación/del costo total%
Aceite Vegetal	1.05	0.77	0.81	76.32
Metanol	0.14	0.40	0.06	5.31
Catalizador	0.014	0.99	0.014	1.31
Valor de transformación	-	-	0.18	17.06
Costo total	-	-	1.06	-

Nota: Información obtenida de Vega, Arce, & Lizano, (2010)

Tabla 19.

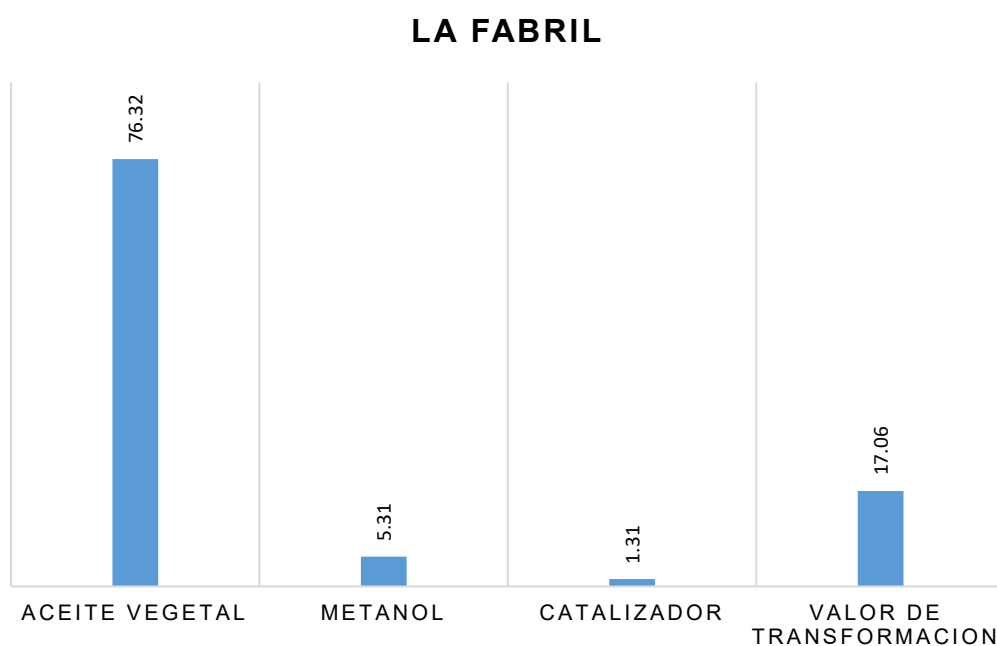
Estructura del costo de producción de Biodiesel en el Experimento

Rubros de materia prima	Consumo kg de materia prima/kg de biodiesel	Costo\$/kg materia prima	Costo\$/kg Biodiesel	Participación/del costo total%
Aceite Vegetal (Extracto de residuos)	0.79	0.82	0.65	95.42
Metanol	0.15	0.11	0.02	2.28
Catalizador	0.013	0.83	0.01	1.61
Valor de transformación	.	.	0.00	0.69
Costo total	.	.	0.68	-

Con respecto a la comparación de la tabla 18 y 19 de costos en función de la materia prima utilizada, se determinó que el costo de La Fabril es mayor en 0.38 centavos de dólares americanos que el costo del proceso experimental.

Figura 17.

Porcentaje de participación con relación al costo de producción.



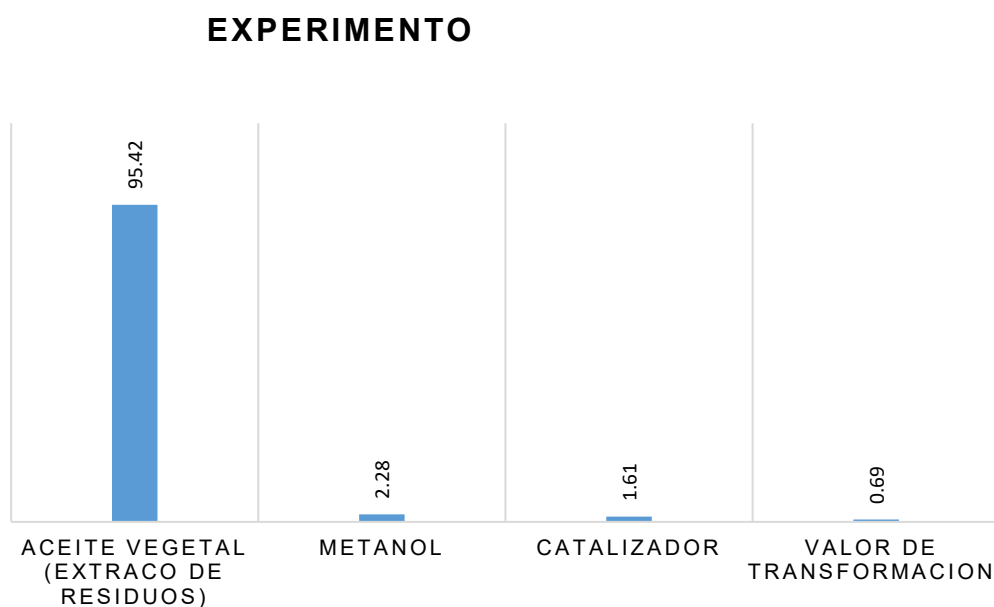
En base a los resultados obtenidos en las tablas 18 y 19, se estableció el porcentaje de participación de los componentes de cada uno de los casos:

En el caso de La Fabril como detalla en la figura 18, el componente con mayor participación en los costos es el aceite con más del 76%, mientras que el componente con menor participación es el catalizador con el 1%. En el caso del proceso experimental como detalla la

figura 18, el aceite también es el elemento de mayor participación en los costos con un 95% mientras que el menos representativo es el valor de transformación con menos del 1 %.

Figura 18.

Porcentaje de participación con relación al costo de producción.



Realizando la comparación se determinó que los dos casos tienen como componente más representativo al aceite, pero en el experimento presenta un 20% más de participación que en la empresa. En cambio, en lo que se refiere a componentes menos representativos se obtuvieron resultados diferentes puesto que en La Fabril resultó ser el catalizador mientras que en el experimento fue el valor de transformación.

Esta investigación se enfocó en la obtención de biodiesel mediante el método de transesterificación utilizando residuos de la industria de aceite de palma. Para ello, se evaluaron

diferentes residuos analizando tanto el porcentaje de humedad como de grasa, aspectos importantes que influyen considerablemente en el rendimiento del proceso. Tras el análisis se determinó que el residuo de palmiste es el más adecuado para realizar la experimentación, ya que presentó el mayor porcentaje de contenido de grasa (86.20%) y según Álvarez, (2013) este factor es relevante pues la cantidad de biodiesel obtenido es directamente proporcional a la cantidad de grasa presente en la materia prima. Sin embargo, hay otro factor que se puede considerar limitante en el proceso, el alto porcentaje de humedad de los residuos de palmiste (64.95%), esto debido a que la humedad puede reaccionar con el catalizador provocando una reacción de saponificación, alterando el producto final disminuyendo el rendimiento. Afortunadamente este parámetro no influyó significativamente en el proceso, presentando así las características necesarias para transesterificación al momento de realizar la experimentación.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Los residuos provenientes de la extracción de aceite pueden ser aprovechados para la obtención de subproductos, sin embargo, para el proceso de producción de biodiesel el subproducto que dio mejor resultado fue la torta de palmiste por su alto contenido en grasa y porcentaje de humedad, mismos que no altera al proceso de transesterificación
- El proceso de obtención de Biodiesel por transesterificación está influenciado por la concentración del catalizador y la cantidad de alcohol utilizada, con lo que se acepta la hipótesis alternativa. En esta investigación se determinó que utilizar hidróxido de sodio al 1% y una relación 6:1 de aceite recuperado/metanol son las condiciones más favorables para obtener un rendimiento considerable de biocombustible.
- El costo de producción de biodiesel a nivel de laboratorio resulta mayor en comparación al reportado a nivel industrial, esto debido a que los rubros que intervienen dentro del proceso encarecen mayor productividad. Además, se estableció que a nivel de laboratorio el aceite tiene un valor mayor de participación, mientras que a nivel industrial el mismo componente tiene una influencia menor pues el alcohol y el valor de transformación presentan valores más significativos.

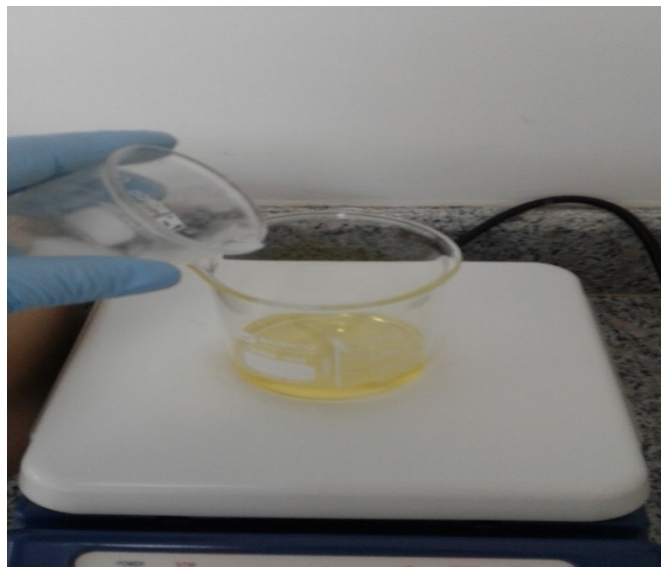
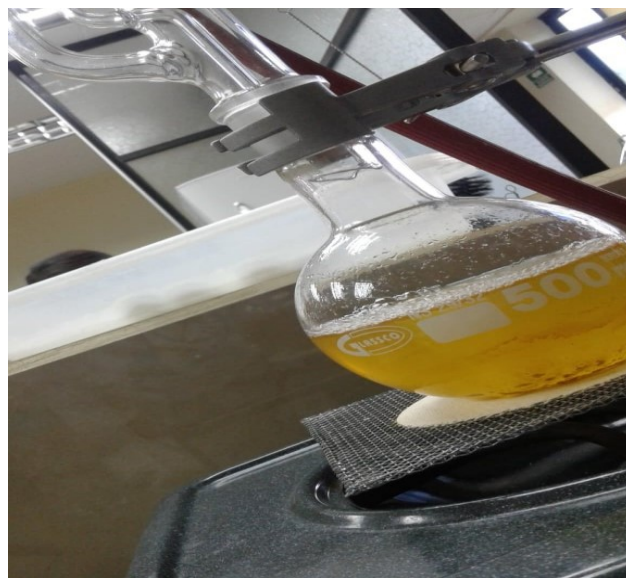
Recomendaciones

- Estudiar otros métodos de extracción de aceite podría disminuir los costos, manteniendo un rendimiento de biodiesel aceptable.
- Investigar el residuo que deja la obtención de Biodiesel (Glicerina), para su rendimiento y así darle un valor agregado.
- Se debería utilizar una réplica de esta investigación con químicos similares en la industria a gran escala.

Anexo 1



Anexo 2



Anexo 3



Anexo 4



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS PETRÓLEO

Informe N° 21-03-17-P-1

Fecha 2021-04-15

Referencia: OT-21-03-17-P
 Empresa: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Atención: Srta. Rosa Viviana Velásquez Borja
 Dirección: Ibarra
 Tipo de ensayo: Análisis fisicoquímicos
 Tipo de muestra: BIODIÉSEL
 Identificación de la muestra: BIODIÉSEL
 Descripción de la muestra: Sin descripción específica
 Fecha de ingreso de muestra: 2021-03-21
 Código de la muestra: OE-21-03-17-P-1
 Fecha de realización de ensayo: 2021-03-22 al 2021-04-15

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	OBSERVACIÓN (K-3)
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	ASTM D-92	121	-
		ASTM D-93	190	-
-	-	-	-	-

Nota - los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Nota: Los resultados que constan en el presente informe solo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.

Condiciones Ambientales. - Presión 542,4 mm Hg; Temperatura: 19,9°C

AN: APJ

Realizado por: VRT

Revisado por:

Ing. Fernanda Toasa L.
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

Ing. Gherb. Carvajal C.
DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC


ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolívar

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26

E-mail: fig.secretaria@dpec@uce.edu.ec

Anexo 5



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE ALIMENTOS
INFORME DE RESULTADOS


INF. LAB. ALI- 27350
 ORDEN DE TRABAJO No. 61701

SOLICITADO POR:	VELASQUEZ BORJA VIVIANA
DIRECCIÓN DEL CLIENTE:	IBARRA – ECUADOR
MUESTRA DE:	TORTA DE PALMISTE
DESCRIPCIÓN:	TORTA DE PALMISTE
LOTE:	----
FECHA DE ELABORACIÓN:	----
FECHA DE VENCIMIENTO:	----
FECHA DE RECEPCIÓN:	03/07/2019
HORA DE RECEPCIÓN:	14:01
FECHA DE ANÁLISIS:	09-10/07/2019
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARÍA:	18/07/2019

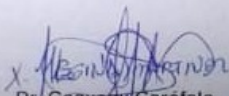
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	
COLOR:	Característico
OLOR:	Característico
ESTADO:	SOLIDO
Contenido: 100 g	
OBSERVACIONES:	
Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP.	
MUESTREADO POR:	El Cliente

INFORME

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
Grasa	%	63.11	MAL-03/ AOAC 991.36



1 / 1



Dr. Geovany Garófalo
JEFE ÁREA DE ALIMENTOS

RAL-4.1-04

OSP

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sabal - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 13, 18, 21, 31, 33
 Telefax: 3216-740 - Web: www.fucquimuce.edu.ec - E-mail: laboratorioosp@ucem.edu.ec

Anexo 6



Bibliografía

Aguilar, D. (4 de 10 de 2017). *Mongabay*. Obtenido de La palma africana se apodera silenciosamente de la Amazonía de Ecuador: <https://es.mongabay.com/2017/10/ecuador-palma-africana-en-la-amazonia-norte/>

Ahmad, J. (2012). *Aspectos técnicos y económicos de la harina de palmiste como alimento para animales*. Obtenido de Fedepalma: http://nutriciondebovinos.com.ar/MD_upload/nutriciondebovinos_com_ar/Archivos/TORTA_DE_PALMISTE_WWW.pdf

ALS Environmental. (2019). *Analytical Services*. Obtenido de Laboratorios ambientales de los Estados Unidos: <http://www.caslab.com/Laboratory-Locations/>

Álvarez, J. P. (Diciembre de 2010). *Caracterización del sector de la palma aceitera en Ecuador*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/215/1/AGN-2010-T027.pdf>

Buchi. (2016). *Como desarrollar métodos de cromatografía flash y de preparación vol. 4: Desarrollo de métodos*. Estados Unidos: Buchi Lab.

Calvo, J. L. (10 de junio de 2012). *Extracción de aceite de palmiste*. Obtenido de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/505-Texto-505-1-10-20120719.pdf>

Cano, G. J. (2004). *Estudio experimental de las variables que afectan la reacción de transesterificación del aceite crudo de palma para la producción de biodiesel*. Obtenido de Scientia et Technica: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7323>

Castellar Ortega, E. R. (06 de 10 de 2014). *Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v12n2/v12n2a10.pdf>

CFN. (septiembre de 2017). *FICHA SECTORIAL: Cultivo de Palmas de Aceite (Palma Africana)*. Obtenido de GDGE – SUBG. DE ANÁLISIS E INFORMACIÓN: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2017/09/Ficha-Sectorial-Palmas-de-Aceite.pdf>

Corredor, Y. A., & Pérez, L. I. (2018). APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE. *Fundación Universitaria de San Gil–Unisangil*, 1-14.

Cuadrado, J. K. (08 de 06 de 2017). *EVALUACIÓN DE LA TORTA DE PALMISTE EN LA ALIMENTACIÓN DE CUYAS EN LA ETAPA DE GESTACIÓN Y LACTANCIA*. Riobamba.

Fernandez, L. (2020). *Países líderes en la producción de biocarburante 2018*. España: Statista.

Geovanna Lasso. (10 de 06 de 2018). Obtenido de LA PALMA ACEITERA EN EL ECUADOR: UN CULTIVO SOCIAL Y SUSTENTABLE: <https://lalineadefuego.info/2018/07/10/la-palma-aceitera-en-el-ecuador-un-cultivo-social-y-sustentable-por-geovanna-lasso/>

Gerhardt. (agosto de 2019). *DETERMINACIÓN DE GRASA*. Obtenido de Determinación del contenido de grasa libre mediante extracción SÓLIDAS/LÍQUIDAS: <https://www.gerhardt.de/es/analisis-metodos/determinacion-de-grasa/>

Gómez, A. S., Benavides, C. I., & Diaz, C. M. (5 de febrero de 2007). *EVALUATION OF CAKE OF OIL PALM (Elaeis guineensis) IN FEEDING OF PIGS FATTEN*. Obtenido de EVALUACIÓN DE TORTA DE PALMISTE (Elaeis guineensis) EN ALIMENTACIÓN DE CERDOS DE CEBA: <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeTortaDePalmisteElaeisGuineensisEnAlime-6117630.pdf>

González, A. F., Gallego, E. G., & Castañeda, H. G. (12 de 2009). *Operations variables in the transesterification process of vegetable oil: a review - chemical catalysis*. Obtenido de REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN VOL. 29 No. 3: <http://www.bdigital.unal.edu.co/19223/1/15177-45993-1-PB.pdf>

INEN, N. (2482: 2009). *BIODIESEL. REQUISITOS*. Quito- Ecuador: First Edition.

Iniap. (10 de 2016). *Manual del Cultivo de la Palma Aceitera*. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3871/1/iniapesdmt102.pdf>

J. N. Coelho Dos Santos, B. J.-M. (2016). *sistema de la UE para la certificación de los biocarburantes sostenibles*. Obtenido de TRIBUNAL DE CUENTAS EUROPEO: https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR16_18/SR_BIOFUELS_ES.pdf

Lascarro, D. J. (2006). *POTENCIAL DEL PROCESO Y DE LA TECNOLOGÍA DE BIODIESEL CON OLEAGINOSAS*. Obtenido de http://www.copimerainternacional.org/publicaciones/revista techno/ener_re/8_potencial.pdf

León, Y. d. (2012). *Análisis de factibilidad técnica, económica y estratégica para la prestación de servicios logísticos de mensajerías*. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/jotmi/v6n1/art09.pdf>

Leung, D. Y. (enero de 2006). *Degradation of biodiesel under different storage conditions*. Obtenido de Bioresource Technology: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852405001252>

Lideres, R. (2015). *La Fabril llena mas tanques con biodiesel*. Obtenido de Lideres: <https://www.revistalideres.ec/lideres/fabril-llena-tanques-biodiesel.html>

López, L., Bocanegra, J., & Malagón-Romero, D. (enero- junio de 2015). *Transesterification, Production of Biodiesel from Waste Cooking Oil by*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/inun/v19n1/v19n1a08.pdf>

M.Mathiyazhagan, & A.Ganapathi. (01 de junio de 2011). *Factors Affecting Biodiesel Production*. Obtenido de Biodiesel is a renewable alternate: <https://pdfs.semanticscholar.org/ba7d/c61c76fba3869cf63a17a841d3153f6a109b.pdf>

Martínez, L., & Potter, L. (octubre de 2011). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de Revista de Desarrollo Economico Territorial (EUTOPIA-2): <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/3980/1/RFLACSO-E02-02-Potter.pdf>

Moran, O., & Ramirez, A. (agosto de 2015). *Los productos de la palma africana y su control*. Obtenido de Instituto Nacional Autonomo de Investigaciones Agropecuarias, Santo Domingo de los Colorados (Ecuador). Estacion Experimental Santo Domingo:

<http://www.sidalc.net/cgi->

[bin/wxis.exe/?IsisScript=INIAP.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000645](http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=INIAP.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000645)

Murgueitio, C.-D. y. (5 de 2017). *Aprovechamiento de la biomasa de la palma africana: productos artesanales e industriales reportados para el material foliar y el estípite*. Obtenido de Potencial económico de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq): http://www.mag.go.cr/rev_meso/v28n02_523.pdf

Murillo, J. E. (2003). *PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE PALMA*. Colombia: DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA.

Murillo, D. B., & Bernal, M. M. (08 de marzo de 2016). *INFLUENCIA DE FACTORES DE ALMACENAMIENTO EN LA ESTABILIDAD QUÍMICA DE BIODIESEL DE PALMA*. Obtenido de ENERGÍAS ALTERNATIVAS: [https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/8907/INFLUENCIA%20DE%20FACTORES%20DE%20ALMACENAMIENTO%20EN%20LA%20ESTABILIDAD%20QU%20C3%8DMICA%20DE%20BIODIESEL%20DE%20PALMA%20\(1\).pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/8907/INFLUENCIA%20DE%20FACTORES%20DE%20ALMACENAMIENTO%20EN%20LA%20ESTABILIDAD%20QU%20C3%8DMICA%20DE%20BIODIESEL%20DE%20PALMA%20(1).pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Murillo, J. E. (2003). *Produccion de Biodiesel a partir de aceite de Palma*. Colombia: DEPARTAMENTO DE INGENIERA QUIMICA.

OCDE/FAO. (2017). *Perspectivas Agrícolas 2017-2026*. Obtenido de PRODUCTOS BÁSICOS: <http://www.fao.org/3/a-BT092s.pdf>

Palmera de los Andes San Lorenzo. (2020). *Proceso de producción de fruta palma*. Esmeraldas- Ecuador: PDA- DANEC.

Parra, M. A. (20 de 12 de 2015). *EFEECTO DEL CUESCO DE LA PALMA AFRICANA EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES NOX EN LA COMBUSTIÓN DE GAS NATURAL*. Obtenido de

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/18583/u722464.pdf?sequence=1>

Prasertsan, P. y. (1996). *Alternativas del uso integral de los productos y subproductos industriales y biotecnológicos reportados para el fruto de la palma africana*. Obtenido de http://www.mag.go.cr/rev_mes0/v28n02_523.pdf

Reinoso, D. A. (2014). *Mezcla de Cascarilla de nuez de palmiste y raquis como combustible alternativo para generacion electrica*. Quito: T-UCE.

Rodríguez, A. C., & Jorge, R. A. (17 de octubre de 2008). *World scientific production on biodiesel*. Obtenido de Red de Estudios Cienciométricos para la Educación Superior: <http://scielo.sld.cu/pdf/aci/v18n5/aci041108.pdf>

Sánchez, N. S. (2015). *Obtencion de Biodiesel mediante transesterificacion*. Bogota : Universidad de extremadura.

SENPLADES. (2017). *Agenda Zonal, Zona 1 - Norte, Provincias de: Esmeraldas, Imbabura, Carchi y Sucumbíos. Seceretaria Nacional de Planificacion y Desarrollo*. Quito, Pichincha, Ecuador: El Telégrafo EP.

TEJADA TOVAR, CANDELARIA; TEJEDA BENÍTEZ, Z, LESLY; VILLABONA ORTIZ, ÁNGEL MONROY. (enero-junio de 2013). *OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE DIFERENTES TIPOS DE GRASA RESIDUAL DE ORIGEN ANIMAL*. *Revista Luna Azul; Red de Revistas Científicas de América Latina, el*

Caribe, España y Portugal, págs. núm. 36; pp.10-25. Obtenido de OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE DIFERENTES TIPOS DE GRASA RESIDUAL DE ORIGEN ANIMAL.

Thomas, D. L., & Cheriyeath, M. S. (2018). Tecnicas del analisis de la humedad. *New Medical Life Sciences*, 12-27.

TOVAR, C. T. (17 de 1 de 2013). *OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE DIFERENTES TIPOS DE GRASA RESIDUAL DE ORIGEN ANIMAL*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n36/n36a02.pdf>

Unipalma. (2017). *Hacienda la Cabaña*. Obtenido de Torta de Palmiste: <https://www.lacabana.com.co/nuestra-empresa/>

Valdés, J. E. (19 de 11 de 2004). *Biodiesel production using palm oil as a reactant*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: https://www.academia.edu/36395566/Producci%C3%B3n_de_biodiesel_a_partir_de_aceite_de_palma_Biodiesel_production_using_palm_oil_as_a_reactant

Vargas, E., & Zumbado, M. (1 de junio de 2003). *Composición de los subproductos de la industrialización de la Palma Africana* . Obtenido de Universidad de Costa Rica: <https://www.redalyc.org/pdf/436/43627101.pdf>

Vega, O., Arce, O. P., & Lizano, K. C. (2010). Atlas de groingeniería y los biocombustibles en las Americas: II Biodiesel. En *IICA, Programa Hemisferico en Agroingeniería y Biocombustibles* (pág. 208). San Jose, Costa Rica.

Vides, R. E. (Diciembre de 2019). *GrePalma; La Palma Africana*. Obtenido de Calidad de la Cosecha para la obtencion de aciete de Palma: <https://www.grepalma.org/wp-content/uploads/2018/09/boletin-5-La-Palma.pdf>

Zambrano, P. V. (Diciembre de 2013). *INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL*. Obtenido de ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3646/1/236T0112%20UDCTFC.pdf>