

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL A PARTIR DE ACEITE
COMESTIBLE RESIDUAL DEL COMEDOR DE LA UNAC”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR

Bach. DE LA CRUZ LOPEZ CHRISTIAN JUNIOR

Bach. TRUJILLO LUNA CARLOS ANDRES

**Callao, Febrero 2017
PERÚ**

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Expuesto por los Bachilleres **DE LA CRUZ LOPEZ CHRISTIAN JUNIOR** y **TRUJILLO LUNA CARLOS ANDRES**, ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios:

ING° SANEZ FALCON LIDA CARMEN	PRESIDENTE
ING° TOLEDO PALOMINO MARÍA ESTELA	SECRETARIO
ING° CHAMPA HENRIQUEZ OSCAR MANUEL	VOCAL
ING° ANCIETA DEXTRE CARLOS ALEJANDRO	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro N° 1 Folio N° 13 y Acta N° 012 de Sustentación por la Modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, de fecha **28 DE FEBRERO 2017**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 082-2011-CU de fecha 29 de abril de 2011 y Resolución N° 221-2012-CU de fecha 19 de setiembre de 2012.

DEDICATORIA

Agradecemos a Dios que nos ha dado fortaleza, confianza y esperanza para lograr nuestro objetivo. A nuestros padres por el apoyo incondicional, sus consejos y la motivación constante que nos ha permitido salir adelante.

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres por su apoyo y comprensión en los momentos más difíciles de la vida, gracias a ellos estamos logrando nuestros objetivos.

A nuestro asesor, el Ingeniero Carlos Ancieta Dextre por su continuo apoyo y sus consejos para realizar con éxito la tesis.

Al Ingeniero Jacobo Avalos por su apoyo en la coordinación del ciclo de tesis y la constante motivación que nos ha dado para la realización de este trabajo de investigación.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1. Determinación del problema	4
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1 Problema general	4
1.2.2 Problemas específicos	5
1.3. Objetivos de la investigación	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4. Justificación	5
1.4.1. Legal	6
1.4.2. Teórica	6
1.4.3. Tecnológica	6
1.4.4. Económica	6
1.4.5. Ambiental	7
1.5. Importancia	7
II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes de Investigación	8
2.2. Bases Teóricas	10

2.2.1.	Fundamento de la Transesterificación alcalina	10
2.3	Marco Conceptual	13
2.3.1	Sistema energético en el Perú	13
2.3.2	Biodiésel	14
2.3.3	Características generales	15
2.3.4	Ventajas del biodiésel	16
2.3.5	Desventajas del biodiésel	16
2.3.6	Demanda de biodiésel mundial	17
2.3.7	Materia prima para biodiésel en el Perú	19
2.3.7.1	Importación de biodiésel en el Perú	19
2.3.8	Materias primas para la obtención del biodiésel	19
2.3.8.1.	Aceites y grasas	19
2.3.8.2.	Catalizadores	21
2.3.8.3.	Alcoholes	21
2.3.9	Tecnología actual para el biodiésel	23
2.3.9.1	Transesterificación ácida	24
2.3.9.2	Transesterificación enzimática	24
2.3.9.3	Transesterificación heterogénea	25
2.3.9.4	Transesterificación básica	25
2.3.10	Proceso de producción para el biodiésel	26
2.3.10.1.	Pretratamiento del aceite	26
2.3.10.2.	Transesterificación	27
2.3.10.3.	Separación de fases	27
2.3.10.4.	Lavado	27

2.3.10.5. Postratamiento del biodiésel	28
2.4. Definiciones de términos	28
2.4.1. Biodiésel	28
2.4.2. Transesterificación	28
2.4.3. Triglicéridos	28
2.4.4. Catalizadores	29
2.4.5. Catálisis	29
II. VARIABLES E HIPÓTESIS	30
3.1. Variables	30
3.1.1. Variable independiente	30
3.1.2. Variable dependiente	30
3.2. Operacionalización de variables	31
3.3. Hipótesis	31
3.3.1. Hipótesis general	31
3.3.2. Hipótesis específicas	32
V. METODOLOGÍA	33
4.1. Tipo de Investigación	33
4.1.1. Por su finalidad	33
4.1.2. Por su diseño de investigación	33
4.1.3. Por su énfasis en la naturaleza de los datos manejados	33
4.2. Diseño de la Investigación	34
4.2.1. Definición del escenario de la investigación.	34
4.2.2. Elección del método de diseño de equipo de laboratorio	34
4.2.3. Determinación de las variables del diseño.	35

4.2.4.	Recolección de información necesaria para el objeto de este estudio.	35
4.3	Población y Muestra	36
4.3.1	Población.	36
4.3.2	Muestra	36
4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
4.5	Plan de análisis estadísticos de datos	37
V.	MATERIALES Y PROCEDIMIENTO	38
5.1	EQUIPOS, MATERIALES, INSUMOS Y REACTIVOS	38
5.1.1	Equipos	38
5.1.2	Materiales	38
5.1.3	Insumos y reactivos	38
5.2	Procedimiento para la obtención de biodiésel	39
5.2.1	Filtración del aceite residual	39
5.2.2	Análisis del aceite residual	39
5.2.2.1	Porcentaje de ácidos grasos libres	39
5.2.2.2	Porcentaje de humedad	40
5.2.2.3	Densidad	40
5.2.2.4	Viscosidad	40
5.2.3	Reacción de transesterificación alcalina	41
5.2.4	Postratamiento del biodiésel obtenido	42
5.2.5.	Análisis del biodiésel	42
5.2.5.1	Densidad	42
5.2.5.2	Viscosidad	43

5.2.5.3 Corrosión	43
5.2.5.4 Índice de acidez	44
VI. RESULTADOS	46
6.1. Filtración del aceite residual	46
6.2. Análisis del aceite residual	48
6.2.1. Porcentaje de ácidos grasos libres	48
6.2.2. Porcentaje de humedad	49
6.2.3. Densidad	52
6.2.4. Viscosidad	53
6.3. Proceso de transesterificación	54
6.3.1. Preparación del metóxido de sodio	54
6.3.2. Reacción de transesterificación alcalina	55
6.4. Postratamiento del biodiésel obtenido	57
6.5. Análisis del biodiésel	60
6.5.1. Relación tiempo- conversión	60
6.5.2. Relación temperatura – conversión	61
6.5.3. Relación agitación – conversión	63
6.5.4. Densidad	65
6.5.5. Viscosidad	67
6.5.6. Corrosión	69
6.5.7. Índice de acidez	70

VII.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
VIII.	CONCLUSIONES	74
IX.	RECOMENDACIONES	75
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
XI.	ANEXOS	80

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA N° 2.1 PAÍSES PRODUCTORES DE BIODIÉSEL EN EL MUNDO	17
TABLA N° 2.2 NORMA INTERNACIONAL DEL BIODIÉSEL	18
TABLA N° 2.3 ACEITES UTILIZADOS PARA OBTENER BIODIÉSEL	20
TABLA N° 2.4 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL METANOL	22
TABLA N° 2.5 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ETANOL	23
TABLA N° 4.1 DISEÑO FACTORIAL	34
TABLA N° 6.1 PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL ACEITE RESIDUAL	51
TABLA N° 6.2 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL ACEITE RESIDUAL	53
TABLA N° 6.3 VOLUMEN DE GLICERINA OBTENIDO	55
TABLA N° 6.4 RENDIMIENTO DE CADA EXPERIENCIA	59
TABLA N° 6.5 EFECTO DEL TIEMPO EN EL RENDIMIENTO	60
TABLA N° 6.6 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL RENDIMIENTO	62
TABLA N° 6.7 EFECTO DE LA AGITACIÓN EN EL RENDIMIENTO	64
TABLA N° 6.8 DENSIDAD A 20°C	67
TABLA N° 6.9 VISCOSIDAD CINEMÁTICA 40°C	69
TABLA N° 6.10 VOLUMEN DE HIDRÓXIDO DE POTASIO GASTADO	71
TABLA N° 6.11 ÍNDICE DE ACIDEZ DEL BIODIÉSEL	72

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA N° 2.1 REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN	11
FIGURA N° 2.2 REACCIONES CONSECUTIVAS DESDE TRIGLICÉRIDO HASTA GLICERINA	12
FIGURA N° 2.3 CICLO DE BIODIÉSEL	14
FIGURA N° 2.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL	26
FIGURA N° 5.1 ESCALA DE COLORES DE CORROSIÓN	44
FIGURA N° 6.1 FILTRACIÓN DEL ACEITE RESIDUAL	47
FIGURA N° 6.2 CÁLCULO DE PORCENTAJE DE ÁCIDOS GRASOS	49
FIGURA N° 6.3 ELIMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL ACEITE RESIDUAL	50
FIGURA N° 6.4 PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL ACEITE RESIDUAL	52
FIGURA N° 6.5 PREPARACIÓN DEL METÓXIDO DE SODIO	54
FIGURA N° 6.6 PRODUCTO OBTENIDO	56
FIGURA N° 6.7 RENDIMIENTO DE BIODIÉSEL EN CADA MUESTRA	57
FIGURA N° 6.8 LAVADO DEL BIODIÉSEL	58
FIGURA N° 6.9 MUESTRAS DE BIODIÉSEL	59
FIGURA N° 6.10 RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO	61
FIGURA N° 6.11 RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA	63
FIGURA N° 6.12 RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DE LA AGITACIÓN	65
FIGURA N° 6.13 DENSIDAD DEL BIODIÉSEL	66
FIGURA N° 6.14 VISCOSIDAD DEL BIODIÉSEL A 40°C	68
FIGURA N° 6.15 CORROSIÓN DE LA LÁMINA DE COBRE A 50°C	70

RESUMEN

La finalidad de este trabajo es la obtención de biodiésel a partir de aceite comestible residual del comedor de la UNAC, la cual se realizó mediante una reacción de transesterificación alcalina, usando metanol como alcohol, catalizador que es el hidróxido de sodio y aceite residual.

La obtención de biodiésel se realiza en tres etapas: la primera etapa es el acondicionamiento del aceite residual, la segunda etapa es el proceso de metanólisis (reacción del metanol con el hidróxido de sodio) y la última etapa es la transesterificación alcalina. Se realizó 8 experiencias en el laboratorio obteniendo los siguientes parámetros de operación óptimos: volumen de alcohol/volumen de aceite 1/5, peso de catalizador 1 gramo, temperatura 60°C, tiempo de reacción 60 minutos y número de revoluciones 600 rpm obteniéndose un rendimiento de 87%.

Con las condiciones óptimas trabajadas experimentalmente, el biodiésel obtenido cumple con los estándares de calidad de la norma ASTM D 6751-09.

Palabras clave: biodiésel, aceite comestible residual, transesterificación, metanólisis, tiempo de reacción.

ABSTRACT

The purpose of this work is to obtain biodiesel from residual edible oil from the UNAC dining room, which was carried out by an alkaline transesterification reaction using methanol as an alcohol, a catalyst that is sodium hydroxide and residual oil.

The biodiesel is produced in three stages: the first stage is the conditioning of the residual oil, the second stage is the methanolysis process (reaction of methanol with sodium hydroxide) and the last stage is alkaline transesterification. Eight experiments were carried out in the laboratory, obtaining the following optimum operating parameters: volume of alcohol / volume of oil 1/5, weight of catalyst 1 gram, temperature 60 °C, reaction time 60 minutes and speed 600 rpm yielding a yield of 87%.

With optimum conditions worked experimentally, the biodiesel obtained meets the quality standards of ASTM D 6751-09.

Keywords: biodiesel, residual edible oil, transesterification, methanolysis, reaction time.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso de energía se ha incrementado en el planeta, obligado por las personas que utilizan equipos que requieren una fuente de energía distinta para su funcionamiento. Teniendo como base principal el consumo de combustibles fósiles como el petróleo y el gas natural, liberando emisiones hacia la atmósfera en su utilización, produciendo efectos negativos sobre nuestra salud y medio ambiente. A esto hay que sumarle el aumento que ha tenido el uso de aceite comestible en el sector alimentario debido a la demanda de alimentos fritos, el cual al no ser reciclado correctamente y desechado irresponsablemente al desagüe provoca grandes problemas de contaminación del agua, afectando a la salud de las personas, animales y medio ambiente. Debido a estos problemas mencionados es necesario encontrar nuevas alternativas de combustibles renovables como el biodiésel que utiliza como materia prima los aceites comestibles residuales, el cual reduce los efectos negativos sobre el medio ambiente. Este biocombustible se obtiene mediante una reacción de transesterificación entre el aceite comestible residual y metanol con ayuda de un catalizador básico, produciendo el biodiésel y glicerina como subproducto para su uso en la industria cosmética.

Por estos motivos el objetivo de este trabajo es estudiar la obtención de biodiésel a partir de aceite comestible residual del comedor de la UNAC, echando así este aceite que es considerado como desperdicio.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Determinación del problema

Actualmente el consumo de combustibles presenta un crecimiento importante por la dependencia petrolera que se ha generado en el país, provocando una gran cantidad de contaminación emitida hacia la atmósfera atentando a la calidad de vida en el planeta y con la que se ha potenciado el efecto invernadero, considerando además que estos carburantes no son renovables. Ante este crecimiento se necesita obtener nuevas alternativas de energía como la obtención de biodiésel procedente de aceites comestibles residuales, el cual ayudara a reducir el consumo de petróleo y minimizar el impacto negativo sobre el medio ambiente.

Dentro de la Universidad Nacional del Callao se encuentra un comedor estudiantil que atiende alrededor de 2000 estudiantes diarios y que desecha 80 litros de aceite comestible residual al mes, sin tratamiento alguno lo que implica aprovecharlo para la obtención de biodiésel.

1.2. Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo se obtiene el biodiésel a partir de aceite comestible residual del comedor de la UNAC?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son las características físicas y químicas del aceite comestible residual del comedor de la UNAC?
- b) ¿Cuáles son las condiciones de operación del proceso de transesterificación que optimizan la obtención de biodiésel?
- c) ¿Cuáles son las características físicas y químicas del biodiésel obtenido?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Obtener el biodiésel a partir de aceite comestible residual del comedor de la UNAC

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Determinar las características físicas y químicas del aceite comestible residual del comedor de la UNAC
- b) Establecer las condiciones de operación del proceso de transesterificación que optimizan la obtención de biodiésel
- c) Identificar las características físicas y químicas del biodiésel obtenido.

1.4. Justificación

El presente proyecto de tesis de investigación radica en el uso del aceite reciclado que es desechado por el comedor de la UNAC, siendo nuestro

proyecto una alternativa de obtención de biocombustible, el cual tendrá valiosos aportes por las siguientes razones:

1.4.1. Legal

Tiene como base la ley N°28054 del Ministerio de Energía y Minas, la cual regula la producción y comercialización de los biocombustibles para la disminución de la contaminación ambiental y ofrecer un mercado alternativo.

1.4.2. Teórica

Los conceptos teóricos desarrollados servirán de sustento para estudios posteriores a fines al tema.

1.4.3. Tecnológica

En el campo de recuperación de aceites residuales se aplicará el proceso de transesterificación en condiciones favorables para generar biodiésel que cumpla con los estándares de calidad.

1.4.4. Económica

Existirá un ahorro en la reducción de la compra de combustible, debido a que los costos para la obtención de biodiésel son más bajos.

1.4.5. Ambiental

Tiene un valioso aporte ya que, al utilizar el aceite residual, se disminuirá el consumo de combustibles fósiles, reduciendo el impacto ambiental sobre el agua, suelo y nuestro ecosistema.

1.5 Importancia

La presente investigación radica su importancia en encontrar una alternativa de combustible que se genere de aceites residuales, siendo un recurso biodegradable con bajas emisiones de dióxido de carbono y sin presencia de sulfuros, por lo que le hace más amigable con el medio ambiente además de ser una fuente renovable de energía.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Investigación

A) Barros Piñeiro (2014), desarrolló una investigación: **“Obtención biodiésel a partir de aceite de cocina usado en la ENM”** con el objetivo de obtener biodiésel en la Escuela Naval Militar de España. Se apoyó en las investigaciones de Martínez Aguirre (2013) para conocer el proceso de transesterificación alcalina. Empleó un baño de ultrasonidos para obtener el biodiésel. Su estudio reportó que el tiempo de reacción óptimo es de 60 minutos, el catalizador usado fue hidróxido de potasio y la temperatura de reacción óptima fue de 40°C la cual mejora la cinética de la reacción.

B) Bulla Pereira (2014), desarrollo una investigación **“Diseño del proceso de producción del biodiésel a partir de aceites de fritura”** con el objetivo de diseñar un proceso de producción de biodiésel a partir de aceites de fritura. La metodología empleada fue la transesterificación de aceites oleaginosos. Los resultados que el efecto que posee el etanol en la reacción de esterificación es poco importante teniendo en cuenta que el valor ácido del producto final se mantiene constante en un intervalo entre 4,3 y 4,8 mg KOH/mg aceite y se logró establecer que el biodiésel con mejor rendimiento (88,9%), obtenido en el laboratorio a partir de aceite usado de fritura de soja y etanol, se desarrolló a partir del proceso de producción que tiene la relación molar aceite:alcohol de 1:7,

temperatura de 60 °C, una agitación de 600 rpm y un agente de lavado agua a 40 °C.

C) García, Alfaro y Ruiz (2012), desarrollaron una investigación **“Estudio de prefactibilidad para la generación de Biodiésel a partir de aceite quemado en el restaurante Tip Top, Estelí, Nicaragua”**, con el objetivo de obtener biodiésel a partir de aceite quemado del restaurante Tip Top. Respecto a la metodología, utilizó la transesterificación básica para obtener el biodiésel. Su estudio reportó que el biodiésel obtenido a una temperatura de reacción de 55°C y una relación molar metanol/aceite 5:1 por un tiempo de reacción de 1 hora, se utilizó en distintos dispositivos que funcionan con diésel consiguiendo resultados favorables.

D) Arias Tamayo (2012), desarrollo una investigación **“Obtención de biodiésel a partir de aceites comestibles vegetales usados (ACVUs), como una alternativa para el reciclaje de material de desecho altamente contaminante para el medioambiente”**, con el objetivo de comparar las condiciones óptimas de obtención de biodiésel, utilizando dos metodologías A y B que consistió en el uso de calor por convección y por microondas respectivamente. Obteniendo las condiciones de operación para la metodología A, una relación molar metanol/aceite 7.5:1, 0.5% de sodio metálico como catalizador y 60 minutos de reacción; para la metodología B, una relación molar metanol/aceite 6:1, 0.5% de sodio

metálico, 30 minutos de reacción y una potencia de 200W de salida. Siendo la metodología B la más eficiente.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1. Fundamento de la Transesterificación alcalina

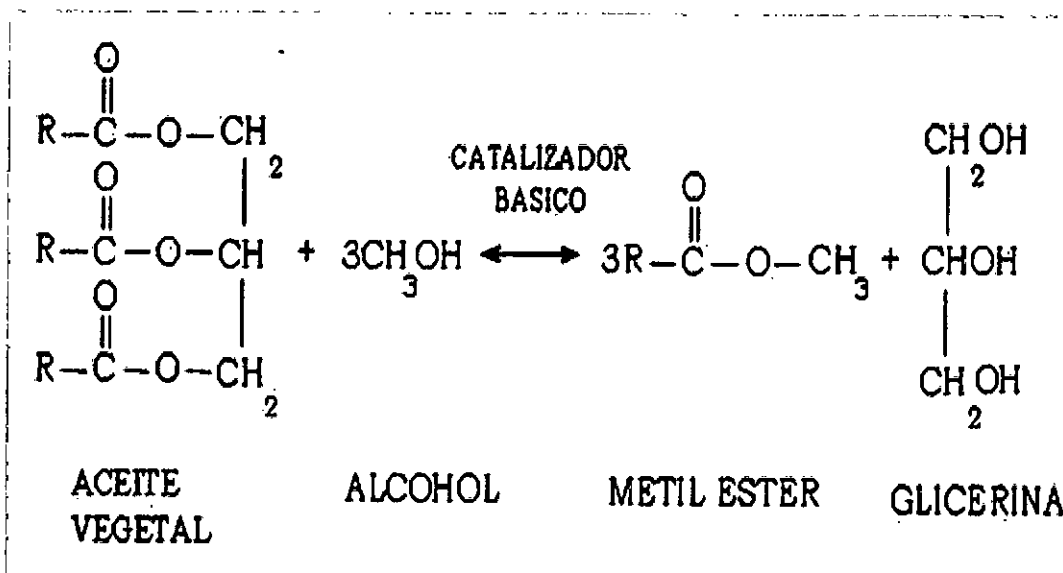
La transesterificación es una reacción reversible que consiste en el desplazamiento de un alcohol de un éster por otro. El alcohol a utilizar es el metanol (CH_3OH), debido a que a lo largo de la reacción se da la formación de emulsiones las que son disueltas fácilmente, formando una capa rica en glicerol y otra de ésteres metílicos.

Sin embargo, el metanol no es miscible en los triglicéridos, por lo que se hace necesaria una agitación mecánica para favorecer la transferencia de masa. Químicamente, la transesterificación consiste en tres reacciones reversibles consecutivas, el triglicérido es convertido sucesivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerol.

Obteniéndose como productos finales, metiléster de ácido graso del aceite y glicerol. En la figura N° 2.1 se muestra la reacción general de transesterificación.

FIGURA N° 2.1

REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN

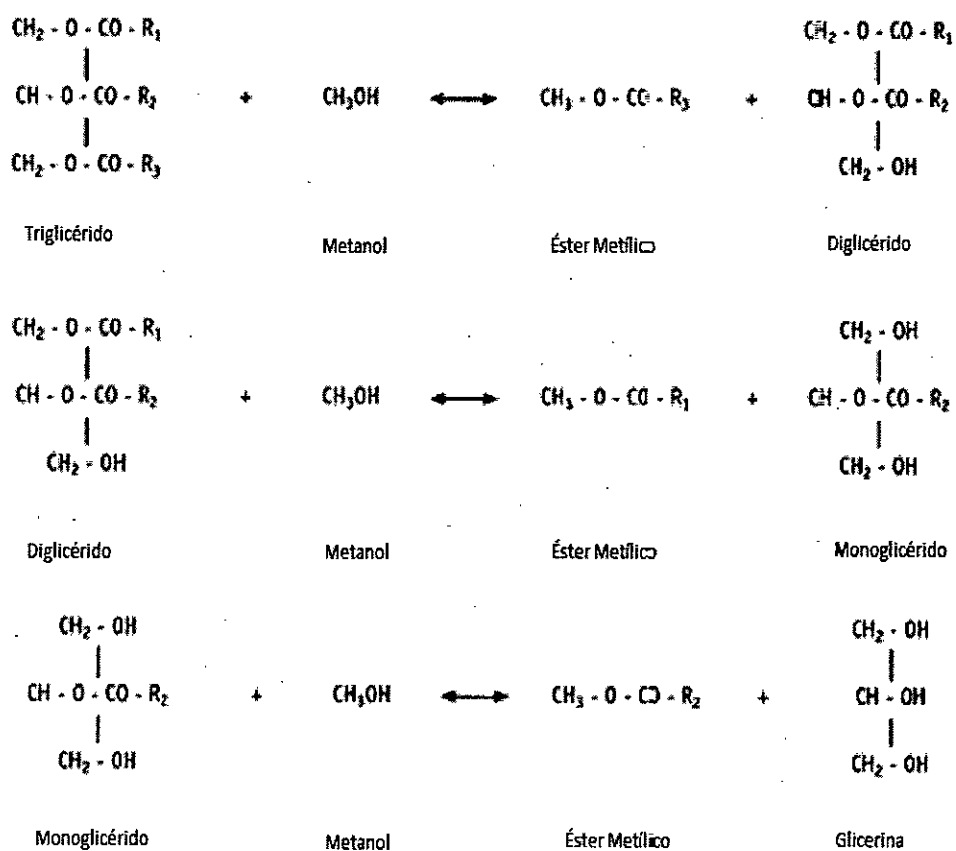


Fuente: <http://www.bluer.es/incineracion-de-glicerina,-subproducto-de-la-industria-de-biodiesel.html>

En la figura N° 2.2 se presentan las tres reacciones que tienen lugar en la transesterificación.

FIGURA 2.2

REACCIONES CONSECUTIVAS DESDE TRIGLICÉRIDO HASTA GLICERINA



Fuente: <http://www.biodisol.com/biodiesel-que-es-el-biodiesel-definición-de-biodiesel-materias-primas-mas-comunes/la-producción-de-biodiesel-materias-primas-procesos-calidad/>

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Sistema energético en el Perú

En la última década, el Sector Energía peruano ha registrado un importante crecimiento debido al incremento de la demanda interna ligada al desarrollo económico de productos y servicios de calidad a precios que reflejaron las condiciones óptimas de un mercado competitivo en las actividades petroleras, y a tarifas resultantes de subastas en el mercado de producción de gas natural y generación eléctrica.

En esta década, de auge económico para nuestro país, se contó con el soporte de un suministro de energía seguro. Esto se debe principalmente al gas natural, que permitió atender la demanda adicional, así como iniciar la exportación de este recurso en cantidades equivalentes al consumo interno según el Ministerio de energía y minas (MINEM, 2014).

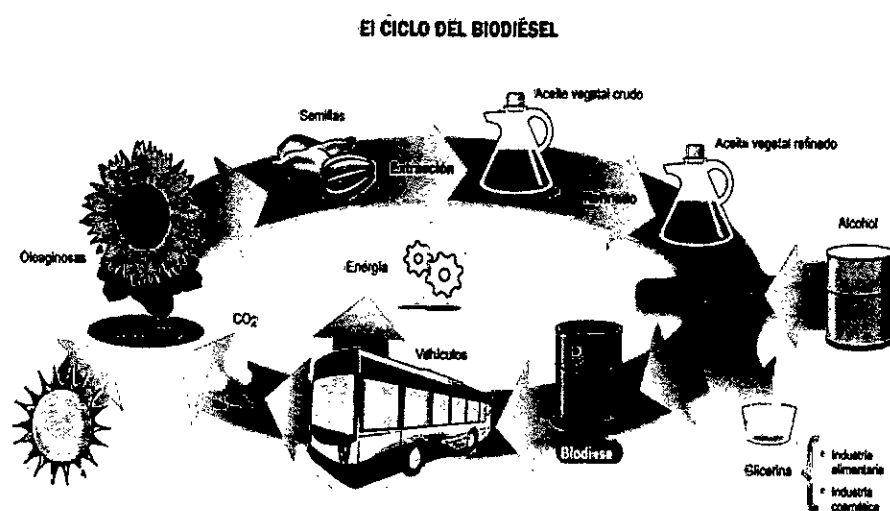
Actualmente el Ministerio de Energía y Minas ha pronosticado que el creciente consumo final de energía, que se estima pase de 800 miles de Tera Joule (TJ) a la fecha, a un rango entre 1321 miles de TJ a 1612 miles de TJ en el 2025, según el escenario de crecimiento del PBI, será abastecido con recursos energéticos internos y con tecnologías de generación de energía a costos competitivos, donde el gas natural será el recurso más utilizado en el consumo final como en el sector transformación.

Las otras fuentes relevantes continuarán siendo la electricidad, el diésel y el GLP. (MINEM, 2014). Ante este crecimiento futuro de energía y el impacto ambiental que generan el consumo de estas fuentes de energía se necesita incorporar la alternativa de los biocombustibles con el fin de mitigar el efecto adverso en el medio ambiente.

2.3.2 Biodiésel

El biodiésel o FAME (Fatty Acid Methyl Ester) es un combustible renovable proveniente de aceites vegetales o grasas de origen animal, que puede ser usado total o parcialmente para reemplazar el combustible diésel de los motores de autoignición sin requerir una modificación sustancial de los mismos. (García, et. al., 2012).

FIGURA N° 2.3
CICLO DE BIODIÉSEL



Fuente: <https://energía12.com/2012/11/13/plantas-de-producción-de-biodiesel-en-argentina/>

2.3.3 Características generales

El biodiésel presenta propiedades similares al combustible diésel y puede utilizarse puro llamado B100 o en mezclas de diferentes concentraciones con el diésel de petróleo. Se usa el símbolo Bxx para designar la proporción de biodiésel, xx designando el porcentaje de biodiésel en el diésel. Uno de sus principales beneficios es su bajo contenido de azufre, debido a la presencia de oxígeno en su composición química, su combustión es más completa, reduciendo la emisión de partículas, monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados, entre otros contaminantes. (Barriga, 2011).

El biodiésel obtenido debe de cumplir con los altos estándares de calidad según las normas técnicas internacionales y nacionales, para poder recién ser utilizados en motores diesel.

En los últimos años varios programas nacionales e internacionales están alentando y apoyando la mejora y desarrollo de formas de producción, así como usos de la biomasa como recurso para la generación de calor y energía eléctrica. Las principales motivaciones de los gobiernos de los países que cuentan con estos biocombustibles son la reducción de las emisiones de gases producidos en la combustión de las fuentes no renovables y la reducción de los residuos sólidos urbanos. (Alva y Cipra, 2015).

2.3.4 Ventajas del biodiésel

- Es un recurso fácilmente biodegradable y no es tóxico.
- Su ausencia de azufre evita la producción de emisiones de dióxido de azufre (SO₂).
- La existencia de oxígeno en su composición química nos genera una combustión completa, por lo que no se produce monóxido de carbono (CO) el cual es más contaminante que el CO₂.
- Reduce el desgaste del motor debido a su gran poder de lubricación en comparación con el diésel.
- Posee punto de inflamación muy alto cercano a los 130°C y además no produce vapores explosivos, lo cual hace más seguro al momento de operar, transportar y almacenar. (Barriga, 2011).
- Su transporte y almacenamiento resulta más seguro que el de los petroderivados ya que posee un punto de ignición de 148°C contra los escasos 51°C del gasoil. (Alva, et. al., 2015).

2.3.5 Desventajas del biodiésel

- Su almacenamiento tiene un periodo máximo de 6 meses, debido a que se degrada más rápido que el gasóleo extraído del petróleo (petrodiesel).
- Su proceso de combustión incrementa los compuestos de óxido de nitrógeno (NOx), colaborando con la formación de la lluvia ácida.

- Presenta problemas de fluidez a bajas temperaturas, bajo los 0°C se puede congelar o generar depósitos en el motor. (Barriga, 2011).
- No es compatible con tanques cuyo material sea de cobre, plomo, zinc y estaño y sus aleaciones, pues estos metales pueden catalizar reacciones químicas de degradación del combustible. (Barriga, 2011).

2.3.6 Demanda de biodiésel mundial

Actualmente el biodiésel se ha vuelto una alternativa de recurso renovable y ecológico, ayudando a reducir la contaminación del medio ambiente, por ende, a continuación, se muestra una tabla de los principales países que elaboran estos biocombustibles.

TABLA N° 2.1

PAÍSES PRODUCTORES DE BIODIÉSEL EN EL MUNDO

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE BODIESEL Y PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES(en millones de toneladas)						
	País	2014 (Estimado)	2013	2012	2011	2010
1º	USA	4,30	4,53	3,30	3,22	1,14
2º	INDONESIA	3,80	2,63	1,99	1,38	0,68
3º	BRASIL	3,00	2,56	2,39	2,35	2,10
4º	ALEMANIA	2,75	2,70	2,63	2,79	2,80
5º	ARGENTINA	2,05	2,00	2,45	2,43	1,82
6º	TAILANDIA	1,00	0,95	0,92	0,79	0,65
7º	HOLANDA	1,00	0,98	0,80	0,48	0,36

Fuente: Alva, et. al., 2015

No obstante, el biodiésel obtenido tiene que cumplir con los estándares de calidad de la norma americana ASTM D 6751-09 para su utilización como biocombustible.

TABLA N° 2.2
NORMA INTERNACIONAL ASTM D 6751-09 DEL BIODIÉSEL

Tabla 1. Norma astm para biodiésel D6751-09

Propiedad	Limite		Unidad	Método de prueba
	Min	Max		
Punto de inflamación	93		°C	D 93
Control de alcohol Debe cumplir con una de las siguientes: 1. Contenido de metanol 2. Punto de inflamación	130	0.2	masa % °C	en 14110 D93
Agua y sedimento		0,050	% volumen	D2709
Número ácido		0,50	mg KOH / g	D664
Ceniza sulfatada		0,020	% masa	D874
Corrosión lámina de cobre		No. 3		D130
Residuo de carbono		0,050	% masa	D4530
Viscosidad cinemática	1,9	6,0	mm ² /s	D445
Número de cetano	47			D613
Punto de turbidez		Repone	°C	D2500
Filtrabilidad de impregnado en frío		360	Segundos	Anexo A1
Estabilidad de oxidación	3		horas	en 14112
Glicerina libre		0,020	% masa	D6584
Glicerina total		0,240	% masa	D6584
Sodio y potasio, combinados		5	ppm (µg/g)	en 14538
Calcio y magnesio, combinados		5	ppm (µg/g)	en 14538
Azufre*		0,0015 0,05	% masa (ppm)	D5453
Contenido de fósforo		0,001	% masa	D4951
Temperatura destilación, Temperatura atmosférica equivalente, 90% recuperado		360	°C	D1160

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

Fuente: Norma ASTM D 6751-09

2.3.7 Materia prima para biodiésel en el Perú

Las materias primas que mayor interés ha despertado en el Perú por su potencial para la producción de biodiésel son, sin duda alguna, la palma aceitera en la selva y la colza llamada también canola en la sierra. Otras materias primas potenciales serían también, la scya en la selva, el girasol en la sierra, la semilla de algodón en la costa, el piñón o tempate en zonas diversas, así como algunas fuentes alternativas como los aceites y grasas usadas, el aceite de pescado y el sebo animal. (Castro et. al., 2007).

2.3.7.1 Importación de biodiésel en el Perú

La demanda de biodiésel en el Perú es cubierta casi en su totalidad por las cuatro empresas importadoras de biodiesel las cuales son, la Refinería la Pampilla SAA, Petróleos del Perú Petroperú SA, La Fabril Perú SAC y Pure Biofuels del Perú SAC.

2.3.8 Materias primas para la obtención del biodiésel

2.3.8.1. Aceites y grasas

Los principales componentes de los aceites y las grasas son los triglicéridos o también conocidos como ésteres de ácidos grasos unidos a un glicerol. Generalmente los triglicéridos constan de un mol de glicerol y tres moles de ácidos grasos (AG) que por lo general son diferentes. La glicerina tiene tres grupos OH razón por el cual puede estar de forma mono, di o triesterificada por los ácidos grasos. Cuando los tres ácidos

grasos son iguales en el triglicérido se define como triglicérido simple pero cuando los AG son diferentes se define como triglicérido compuesto; para el caso de los AG estos pueden variar en la longitud de la cadena de carbonos e hidrógenos y el número de enlaces saturados e insaturados. (Bulla, 2014).

Las fuentes primordiales de producción de la materia prima (aceites y grasas) que se requiere para la obtención del biodiesel son dos. La primera es extraída de las plantas oleaginosas y la segunda extraída de los tejidos adiposos o grasas de animales.

TABLA N° 2.3
ACEITES UTILIZADOS PARA OBTENER BIODIÉSEL

Aceites vegetales		
Convencionales		Alternativos
Aceite de Colza	Aceite de ajonjolí	Aceite de Crambe abyssinica
Aceite de algodón	Aceite de soja	Aceite de Cynara cundunculus
Aceite de coco	Aceite de higuera	Aceite de Jatropha curcas
Aceite de girasol	Aceite de oliva	Aceite de Pogonius
Aceite de palma	Aceite de Maíz	Aceite de Brassica carint
		Aceite de Camelina sativa
Aceite de semillas alteradas genéticamente		
Aceite de Girasol de alto oleico		
Grasas animales		
Sebo de búfalo		Sebo de vaca
Sebo de Cerdo		
Grasa de pescado		Grasa de Pollo
Aceites usados de fritura		
Aceites de otras fuentes		
Aceites de microalgas		Aceite de producciones microbianas

Fuente: (Bulla, 2014)

2.3.8.2. Catalizadores

Debido a que la reacción de transesterificación es lenta a condiciones normales estándar es necesario el uso de catalizadores. Estos catalizadores pueden ser: alcalinos, ácidos, enzimáticos y heterogéneos. Siendo los más utilizados los catalizadores alcalinos.

Catalizadores alcalinos

A nivel industrial los catalizadores más usados son los básicos porque permiten alcanzar velocidades de reacción elevadas y se puede operar la reacción bajo condiciones moderadas de presión y temperatura.

Estos catalizadores no deben tener contacto prolongado con el aire, debido a que reduce su efectividad, provocado por la interacción con la humedad y el dióxido de carbono.

El catalizador que más se utiliza es el NaOH, el cual reacciona con la cantidad necesaria del alcohol que es el metanol obteniendo el metóxido de sodio y como subproducto agua.



2.3.8.3. Alcoholes

Los alcoholes más usados son el metanol y etanol.

a) Metanol

El metanol es el más costoso y es difícil de manipular ya que requiere medidas de seguridad contra incendios y manipulación, originario de fuentes fósiles, pero sin embargo permite conversiones de equilibrio mayores debido a que favorece la formación del intermediario metóxido altamente activo.

Además, los metil ésteres (biodiésel del metano) son menos viscosos que los provenientes del etanol facilitando la combustión en motores diésel principalmente en climas fríos.

TABLA 2.4

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL METANOL

PROPIEDADES DEL METANOL	
Estado de Agregación	Líquido
Apariencia	Incoloro
Densidad	0.7918 g/cm ³
Masa Molecular	32.04 uma
Punto de Fusión	176 K (-97.15 °C)
Punto de Ebullición	337.8 K (64.65 °C)
Solubilidad en Agua	Totalmente soluble
Punto de Inflamación	12.2 °C

Fuente: Alva, et. al., 2015

b) Etanol

También denominado alcohol etílico, presenta una gran ventaja frente al metanol debido a que es un derivado de fuentes renovables; además este alcohol es más soluble en el aceite que el metanol.

TABLA 2.5
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ETANOL

PROPIEDADES DEL ETANOL	
Estado de Agregación	Líquido
Apariencia	Incoloro
Densidad	0.810 g/cm ³
Masa Molecular	47.07 uma
Punto de Fusión	158.9 K (-114.25 °C)
Punto de Ebullición	351.6 K (78.45 °C)
Temperatura Crítica	514 K (240.85 °C)
Presión Crítica	63 atm
Acidez (pKa)	15.9
Solubilidad en Agua	Miscible

Fuente: Alva, et. al., 2015

2.3.9 Tecnología actual para el biodiésel

A continuación, se indica los métodos más pronunciados en la producción de biodiésel:

2.3.9.1 Transesterificación ácida

La Transesterificación se da con catalizadores ácidos como el fosfórico, sulfúrico, clorhídrico, etc. Las conversiones a ésteres son elevadas, pero la velocidad de reacción es extremadamente lenta; además requiere mayor cantidad de alcohol lo cual la hace menos atractiva económicamente. La separación del glicerol es difícil de realizar y se requieren materiales de construcción resistentes a los ácidos. (Barriga, 2011).

2.3.9.2 Transesterificación enzimática

La reacción enzimática es insensible a los ácidos grasos libres y al contenido de agua de los aceites usados de cocina (por tanto, no se requiere el pretratamiento de los aceites usados de cocina); presenta como ventajas que no genera subproductos, la recuperación de productos es fácil, las condiciones de operación no son rigurosas y el catalizador es recuperable. Tiene como desventajas que el catalizador es caro, la cinética de la reacción es muy lenta y, debido a la inactivación de la enzima por medio de Metanol, la reacción no llega a ser completa como para cumplir con los requerimientos exigidos por las normas técnicas de calidad. (Barriga, 2011).

2.3.9.3 Transesterificación heterogénea

La Transesterificación se da con catalizador sólido (insoluble en el alcohol y el aceite), la ventaja de este proceso es que el catalizador no es tomado en cuenta como una impureza y son sencillamente recuperables al final de la reacción. Otra ventaja comparada con otros catalizadores es que el glicerol obtenido tiene una pureza más alta que en los otros procesos, pero su desventaja es que en la reacción se requiere mayor temperatura y presión.

2.3.9.4 Transesterificación básica

La Transesterificación básica es el proceso más utilizado para fabricar biodiesel, debido a que los catalizadores utilizados como el KOH y NaOH son cómodos, logra obtener rendimientos superiores al 90% y su cinética de reacción es rápida. Este proceso de Transesterificación no requiere equipos complicados y la separación de los productos obtenidos es fácil de realizar con ayuda de un decantador.

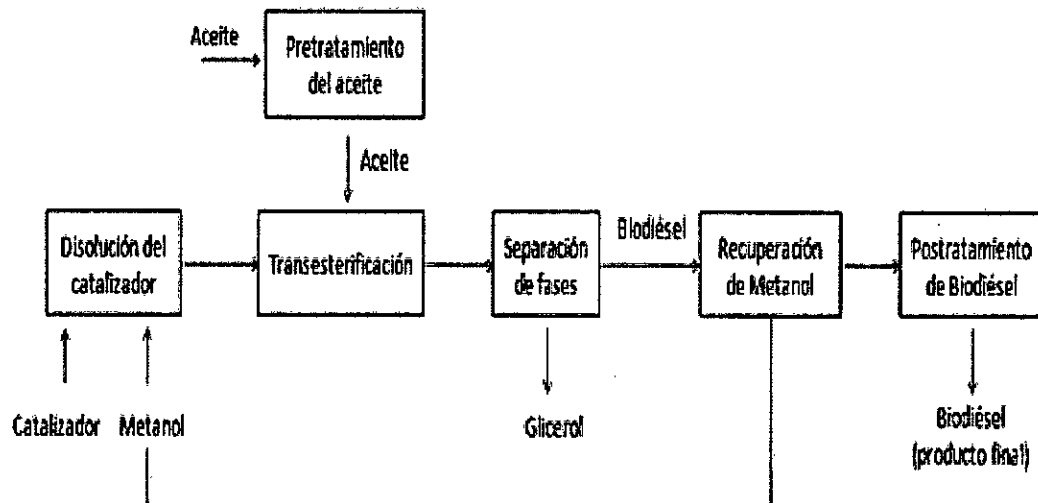
La desventaja de este proceso es que requiere aceites baja cantidad de agua, puesto que esto producirá una hidrólisis con formación de jabones y pérdidas de éster; también requiere un bajo contenido de ácidos grasos libres.

2.3.10. Proceso de producción para el biodiésel

En la figura N° 2.4 se observa detallado de manera general los procesos por los cuales debe pasar la materia prima que es el aceite comestible residual con la finalidad de obtener como producto final el biodiesel.

FIGURA N° 2.4

DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL



Fuente: Barriga, 2011

2.3.10.1. Pretratamiento del aceite

El pretratamiento consiste primero en filtrar el aceite comestible residual para separar los sólidos suspendidos e impurezas del aceite, luego evaluar su porcentaje de ácidos grasos libres y humedad, con la finalidad de acondicionar el aceite para su uso como materia prima en la transesterificación básica.

2.3.10.2. Transesterificación

Es la reacción que se lleva a cabo en el reactor entre el metóxi (hidróxido de sodio y metanol) con el aceite residual para la formación del biodiésel y un subproducto llamado glicerina, esta reacción debe llevarse a cabo a condiciones de operación como temperatura, tiempo de reacción y velocidad de agitación, los cuales van hacer fundamentales para la eficiencia de obtención del biodiésel.

2.3.10.3. Separación de fases

Una vez obtenido el producto, se vierte a un decantador dejándolo por 24 horas observando pasado el tiempo para la separación del biodiésel y la glicerina, procediendo a retirar la glicerina que se encuentra en el fondo del decantador por tener mayor densidad que el biodiésel.

2.3.10.4. Lavado

Este proceso consiste en agregar agua a 40°C al biocombustible y agitarlo por unos minutos con el objetivo de eliminar todos los posibles compuestos que hayan quedado en el biocombustible, ya sea alcohol, glicerina, hidróxido de sodio o jabones debido a que presentan buena solubilidad en agua y mala en biodiésel, este proceso hace que arrastre las trazas de las impurezas hasta el fondo del decantador y el biodiésel se quedara en la parte superior. Este lavado hay que repetirlo hasta que el agua este clarificada y con un pH neutro.

2.3.10.5. Postratamiento del biodiésel

Una vez lavado el biodiesel y libre de impurezas, se calentará hasta una temperatura de 110°C para eliminar el exceso de humedad por un tiempo de media hora y por último se realizará los métodos de estándares de calidad que exige la norma ASTM D 6751-09.

2.4. Definiciones de términos

2.4.1. Biodiésel

Es un líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación, que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del petrodiesel.

2.4.2. Transesterificación

La transesterificación es el proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un alcohol. Estas reacciones son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base.

2.4.3 Triglicéridos

Los triglicéridos son un tipo de lípidos formados por una molécula de glicerol esterificado con tres ácidos grasos, que suelen ser distintos. Los triglicéridos proceden de la dieta o de su síntesis en el hígado.

2.4.4. Catalizadores

Un catalizador propiamente dicho es una sustancia que está presente en una reacción química en contacto físico con los reactivos, y acelera, induce o propicia dicha reacción sin actuar en la misma.

2.4.5. Catálisis

La catálisis es el proceso por el cual se aumenta o disminuye la velocidad de una reacción química, debido a la participación de una sustancia llamada catalizador.

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables

3.1.1. Variable independiente

Y= Obtención del biocíesel a partir de aceite comestible residual del comedor de la UNAC aplicando el proceso de transesterificación alcalina.

3.1.2. Variable dependiente

X₁ = Características físicas y químicas del aceite comestible residual del comedor de la UNAC.

X₂ = Condiciones de operación del proceso de transesterificación que optimizan la obtención de biodiésel.

X₃ = Características físicas y químicas del biodiésel obtenido.

3.2 Operacionalización de variables

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y= Obtención del biodiésel a partir de aceite comestible residual del comedor de la UNAC aplicando el proceso de transesterificación alcalina	Relación volumétrica	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Volumen de aceite residual/ volumen de biodiésel (ml/ml) 	Experimental
VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X ₁ = Características físicas y químicas del aceite comestible residual del comedor de la UNAC	Parámetros fisicoquímicos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Densidad (g/cm³) ➤ Viscosidad (mm²/s) ➤ Humedad (%) ➤ Ácidos grasos libres (%) 	Experimental
X ₂ = Condiciones de operación del proceso de transesterificación que optimizan la obtención de biodiésel	Parámetros fisicoquímicos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Volumen de alcohol / volumen de aceite (ml / ml) ➤ Temperatura (°C) ➤ Tiempo de reacción (h) ➤ Número de revoluciones (rpm) 	Experimental
X ₃ = Características físicas y químicas del biodiésel obtenido	Parámetros fisicoquímicos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Densidad (g / ml) ➤ Viscosidad cinemática (m²/s) ➤ Índice de acidez (mg de KOH / g muestra) ➤ Corrosión (color) 	Experimental

3.3. Hipótesis

3.3.1. Hipótesis general

Aplicando el proceso de transesterificación alcalina al aceite comestible residual del comedor de la UNAC, se obtendrá un 87% de rendimiento de biodiésel.

3.3.2 Hipótesis específicas

- a) Las características físicas y químicas que presenta el aceite comestible residual serán las más apropiadas para la producción de biodiésel.
- b) Las condiciones de operación del proceso de transesterificación que optimizan la obtención de biodiésel son: volumen de alcohol:volumen de aceite en 1:5, temperatura de 50°C, tiempo de reacción de 50 minutos, número de revoluciones de 400 RPM.
- c) Las características físicas y químicas del biodiésel obtenido cumplen con los estándares de calidad de la norma ASTM D 6751-09.

METODOLOGÍA

Tipo de Investigación

Tipos de investigación que se han realizado en el presente trabajo de son:

. Por su finalidad

Es de tipo básica porque se inicia de un marco teórico, logrando conclusiones que se basan en hechos que se han observado y medido.

Por su diseño de investigación

Es de tipo experimental ya que se realiza mediante la observación, registros y análisis de las variables intervinientes de las corridas experimentales en el laboratorio.

. Por su énfasis en la naturaleza de los datos manejados

Es de tipo cualitativo debido a que se registran las variables de investigación y cuantitativo porque estas variables de investigación se van a medir.

4.2 Diseño de la Investigación

4.2.1 Definición del escenario de la investigación.

La investigación se realizó en el laboratorio de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

4.2.2 Elección del método de diseño de equipo de laboratorio.

Para la realización del desarrollo experimental de la obtención de biodiesel a partir de aceite residual de cocina del comedor de la UNAC mediante un proceso de transesterificación alcalina, se utilizó un reactor de 3 entradas de 0.5 litro de capacidad; realizándose el balance de materia y energía para la secuencia del proceso en base a esta capacidad.

TABLA N° 4.1
DISEÑO FACTORIAL

Número de experiencias	Variables			Niveles	Vector de respuesta	
	a	b	c	+ -	% Conversión	Color
1	60	50	400	---	72	Amarillo
2	60	60	400	+++	78	Amarillo
3	50	60	400	-++	80	Amarillo
4	50	50	400	--+	71	Amarillo
5	60	60	600	+ - +	87	Amarillo
6	50	60	600	++ -	84	Amarillo
7	60	50	600	- + -	76	Amarillo
8	50	50	600	+ - -	74	Amarillo

Fuente: Elaboración propia

Donde:

a: Temperatura

b: Tiempo

c: Agitación

4.2.3. Determinación de las variables del diseño.

Se va a utilizar el diseño factorial de dos niveles 2^n que nos permita obtener el máximo de su información con el número de corridas experimentales, donde 2^n nos indica el número de experiencias que deben efectuarse para distintos valores de las n variables, si cada variable es continua, los dos niveles son el superior (+) y el inferior (-). Las variables del diseño que se controlará son:

A: Tiempo de reacción: 50min y 60min

B: Temperatura de reacción: 50 °C y 60 °C

C: Velocidad de agitación: 400 rpm y 600 rpm

4.2.4. Recolección de información necesaria para el objeto de este estudio.

Se ha recolectado información de fuentes secundarias producto de: tesis, investigaciones científicas, internet, paper y revistas relacionadas al objetivo de nuestra tesis de investigación.

La recopilación de datos de la primera fase son las características físicas y químicas del aceite comestible residual del comedor de la UNAC, obtenido en base a un análisis fisicoquímico.

La recopilación de datos de la segunda fase son las condiciones de operación del proceso de transesterificación que optimizan la obtención de biodiésel determinadas experimentalmente.

La recopilación de datos de la tercera y última fase son las características físicas y químicas del biodiésel obtenido en base a un análisis fisicoquímico.

4.3 Población y Muestra

4.3.1 Población.

La población de la investigación es la Universidad Nacional del Callao.

4.3.2 Muestra

La muestra de la investigación es la obtención de biodiésel a partir de aceite comestible residual del comedor de la UNAC.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas y los instrumentos de recolección de datos de la investigación son los siguientes:

Determinación de la densidad por el método del picnómetro.

Determinación de la viscosidad por el método del tubo de vidrio.

Determinación del porcentaje de humedad por el método de la balanza.

Cálculo de pH mediante un pH-metro.

Determinación del índice de acidez por método de titulación.

4.5 Plan de análisis estadísticos de datos

En esta investigación se utilizó gráficos estadísticos del programa Excel 2013 y el programa MINITAB el cual nos ayudará a identificar el grado de significancia de la investigación.

V. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO

5.1 EQUIPOS, MATERIALES, INSUMOS Y REACTIVOS

5.1.1 Equipos

- Bomba al vacío de 0.5 Hp
- Agitador magnético
- pH-metro
- Balanza

5.1.2 Materiales

- Vaso precipitado
- Kitasato
- Matraz
- Pipeta
- Bureta
- Embudo
- Soporte Universal
- Condensador
- Espátula
- Termómetro

5.1.3 Insumos y reactivos

- Aceite comestible residual del comedor de la UNAC
- Hidróxido de sodio

- Ftalato de potasio
- Hidróxido de potasio
- Etanol
- Metanol
- Éter
- Agua Destilada
- Fenolftaleína

5.2 Procedimiento para la obtención de biodiésel

5.2.1 Filtración del aceite residual

El aceite fue filtrado con un papel filtro colocado dentro de un embudo, para saber la cantidad de impurezas en el aceite se tomó una muestra de 40 ml, se realizó el filtrado y luego se pesó el papel para saber el porcentaje de impurezas en la muestra de aceite.

5.2.2 Análisis del aceite residual

5.2.2.1 Porcentaje de ácidos grasos libres

Se mezcló en un matraz 10 gramos de aceite con 50 ml de etanol y 4 gotas de fenolftaleína, para la valoración se prepararon 250 ml de solución de hidróxido de sodio 0.1N y con la ayuda de una bureta se deja caer gota a gota la solución básica en la mezcla que contiene el aceite hasta que dicha mezcla cambie a color rosa (se anota el gasto de hidróxido de sodio).

El porcentaje de ácidos grasos se calculará con la siguiente fórmula:

$$\%AGL = \frac{N_{NaOH} \times fc \times V_{gastado(NaOH)} \times mg_{\text{ÁcidoOleico}} \times 100}{m_{\text{aceite}}}$$

5.2.2.2 Porcentaje de humedad

Se midió 50 gramos de aceite residual en un matraz, se aplicó calor hasta alcanzar una temperatura de 110°C, cada 5 minutos volvemos a medir en la balanza para saber la cantidad de agua que se está evaporando, la diferencia de masa se divide entre la masa medida inicialmente y luego lo multiplicamos por 100%, es así como se calculó el porcentaje de humedad.

5.2.2.3 Densidad

La densidad del aceite residual se llevó a cabo a 20°C pesando primero el picnómetro vacío de 25ml y luego con la muestra de aceite. Se usa la siguiente fórmula para calcular la densidad:

$$\rho_{\text{aceite}} = m / V$$

m: masa del aceite

V: volumen del aceite

5.2.2.4 Viscosidad

La viscosidad mide la fricción interna entre las moléculas, es decir la resistencia a fluir de un líquido, este parámetro no puede ser muy alto

porque causaría daños en el motor de combustión. Esta prueba se calculó con un viscosímetro de vidrio a 20°C.

5.2.3 Reacción de transesterificación alcalina

Como no sabemos cuál es la acidez del aceite residual es necesario realizar una valoración para saber la cantidad óptima de catalizador que debemos agregar cuando se lleve a cabo la reacción de transesterificación. Se mezclan 10ml de alcohol isopropílico con 1 ml de aceite residual y 4 gotas de fenolftaleína en un matraz, paralelo a esto se debe preparar una solución al 1% de soda caustica, finalmente con la ayuda de una bureta se titula hasta color rosa; finalmente se debe considerar agregar al gasto de la valoración 3.5 gramos de hidróxido de sodio por cada litro de aceite.

La reacción de transesterificación se lleva a cabo entre el metanol y el aceite residual en presencia de un catalizador que es el hidróxido de sodio. En un reactor de medio litro de capacidad se colocó 200 ml de aceite y se hizo reaccionar con los 40 ml de metanol y 1 gramo de hidróxido de sodio que fue preparado por separado en un matraz, se debe tener cuidado con el metóxido de sodio debido a que es una reacción exotérmica y causa quemaduras en el caso de salpicaduras a la piel.

Cuando se lleva a cabo la reacción de transesterificación se controla la temperatura con un termómetro instalado en el reactor, el tiempo y la agitación que fue graduada en el agitador magnético para cada muestra.

5.2.4 Postratamiento del biodiésel obtenido

Luego de la reacción de transesterificación el biodiésel obtenido debe lavarse en un decantador para eliminar los restos de metanol y catalizador presente en el combustible, esto se realiza con 60 ml agua a 40°C durante tres horas. El agua usada debe verterse lentamente sobre la muestra para un mejor arrastre del agua sobre las trazas de metanol e hidróxido de sodio. En cada lavado se va controlando el pH y el número de lavado en cada muestra se realiza hasta que el pH sea neutro.

Finalizado el lavado, se calienta el biodiésel obtenido a una temperatura de 110°C por media hora para eliminar el exceso de agua.

5.2.5. Análisis del biodiésel

5.2.5.1 Densidad

La densidad se realizó por el método del picnómetro a 20°C. Se procedió pesando el picnómetro vacío de 25 ml y luego con la muestra de biodiésel, de esta manera con una diferencia de masas se puede calcular la densidad de la muestra de biodiésel.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

m: masa

V: volumen

5.2.5.2 Viscosidad

El cálculo de la viscosidad se realizó por el método del viscosímetro capilar de vidrio según la norma ASTM D 445, el procedimiento requiere que el tubo de vidrio se sumerja en un baño maría a 40°C y se mida el tiempo que le toma a la muestra de biodiésel fluir dentro del tubo de una marca a otra por la fuerza de gravedad.

5.2.5.3 Corrosión

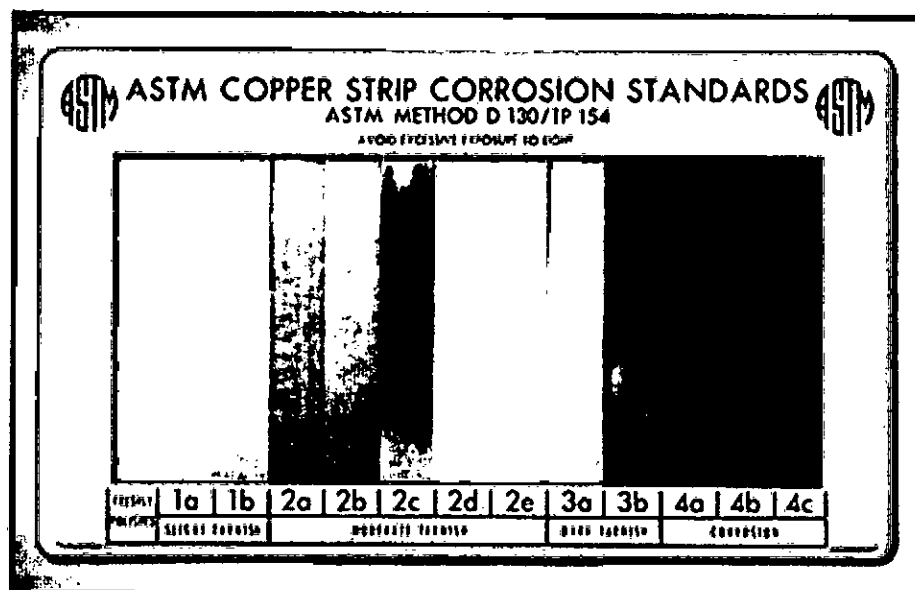
La prueba de corrosión fue realizada por el método con la lámina de cobre según la norma ASTM E 130, este análisis detecta los efectos corrosivos del biodiésel en aleaciones de cobre y partes no ferrosas. La corrosión en el biodiésel es causada por componentes sulfurosos y ácidos grasos libres.

Se sumerge una lámina pulida de cobre en una muestra de 30 ml de biodiésel a temperatura constante de 50°C por un periodo de tres horas,

al terminar este tiempo se limpia la lámina y se busca evidencias de degradación del cobre.

Los resultados se miden comparando las manchas en la lámina con la escala de colores de 1A a 4C según la norma ASTM D 130 (ver figura N° 5.1).

FIGURA N° 5.1
ESCALA DE COLORES DE CORROSIÓN



FUENTE: ASTM D130

5.2.5.4 Índice de acidez

El índice de acidez fue realizado con una solución de 200ml de KOH 0,01N según la norma ASTM D 664.

Se mezcla 25 ml de éter con 25 ml de etanol, a continuación, se añade 4 gotas de fenolftaleína, esto se agrega a la muestra de biodiésel (8 gramos aproximadamente). La mezcla final se realiza en un matraz y se valora con la solución de hidróxido de potasio 0.01N. Con la ayuda de una bureta se deja caer gcta a gota la solución básica en la mezcla que contiene el biodiésel hasta que dicha mezcla cambie a color rosa (se anota el gasto de hidróxido de potasio).

Finalmente, con los datos obtenidos se calcula el índice de acidez con la siguiente formula:

$$IA = \frac{N_{KOH} \times fc \times V_{gastado(KOH)} \times M_{KOH}}{m_{Biodiésel}}$$

Donde:

F_c: factor de corrección

M_{KOH}: Peso molecular del hidróxido de potasio

M: masa del biodiésel

N: Concentración de la solución de hidróxido de potasio.

VI. RESULTADOS

Se exponen los resultados obtenidos en cada una de las experiencias realizadas, también se comprobará si el biodiésel obtenido cumple con los estándares de calidad según la norma ASTM D 6751-09.

6.1. Filtración del aceite residual

Se filtra el aceite para eliminar los sólidos suspendidos de la muestra (ver figura N°6.1).

$$m_{\text{PapelFiltro}} = 1.39 \text{ g}$$

$$m_{\text{Aceite+Impurezas}} = 97.96 \text{ g}$$

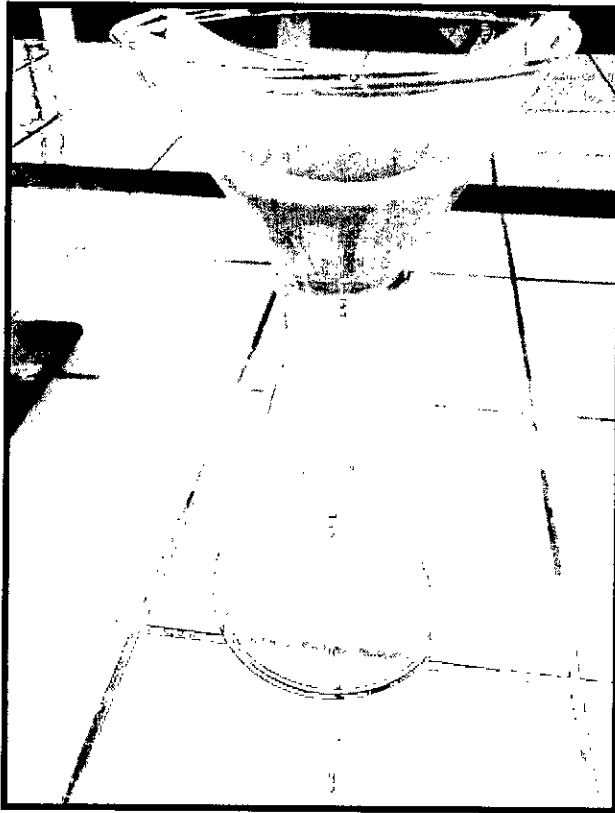
$$m_{\text{PapelFiltro+Impurezas}} = 3.89 \text{ g}$$

$$m_{\text{impurezas}} = 2.50 \text{ g}$$

$$m_{\text{AceiteFiltrado}} = 95.46 \text{ g}$$

FIGURA N° 6.1

FILTRACIÓN DEL ACEITE RESIDUAL



Fuente: Elaboración propia

Por cada 40 ml de aceite residual del comedor de la UNAC, encontramos un 2.6% de impurezas.

6.2. Análisis del aceite residual

6.2.1. Porcentaje de ácidos grasos libres

$$m_{NaOH} = 0.1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 250 \text{ml} \times 40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times \frac{1\text{L}}{1000\text{ml}} = 1\text{g}$$

$$f_c = 0.687$$

Donde:

fc: factor de corrección

$$\%AGL = \frac{N_{NaOH} \times f_c \times V_{\text{gastado}(NaOH)} \times mg_{\text{ÁcidoOleico}} \times 100}{m_{\text{aceite}}}$$

$$\%AGL = \frac{0.1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0.687 \times 3\text{ml} \times \frac{1\text{L}}{1000\text{ml}} \times 282 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 100}{10\text{g}}$$

$$\%AGL = 0.58\%$$

El aceite residual del comedor de la UNAC presenta un %AGL 0.58%, este resultado indica que al no tener un alto porcentaje de AGL, no necesita de un pre tratamiento químico para llevarlo al reactor de transesterificación alcalina.

FIGURA N° 6.2

CÁLCULO DE PORCENTAJE DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES



Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Porcentaje de humedad

El contenido de humedad se calculó calentado la muestra a una temperatura de 110°C (ver figura N° 6.3), cada 5 minutos se pesaba para saber la cantidad de agua vaporizada.

FIGURA N° 6.3

ELIMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL ACEITE RESIDUAL



Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de humedad se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{Humedad} = \frac{m_{\text{inicial}} - m_{\text{final}}}{m_{\text{inicial}}} \times 100$$

Los resultados del porcentaje de humedad de cada muestra se encuentran en la tabla N° 6.1.

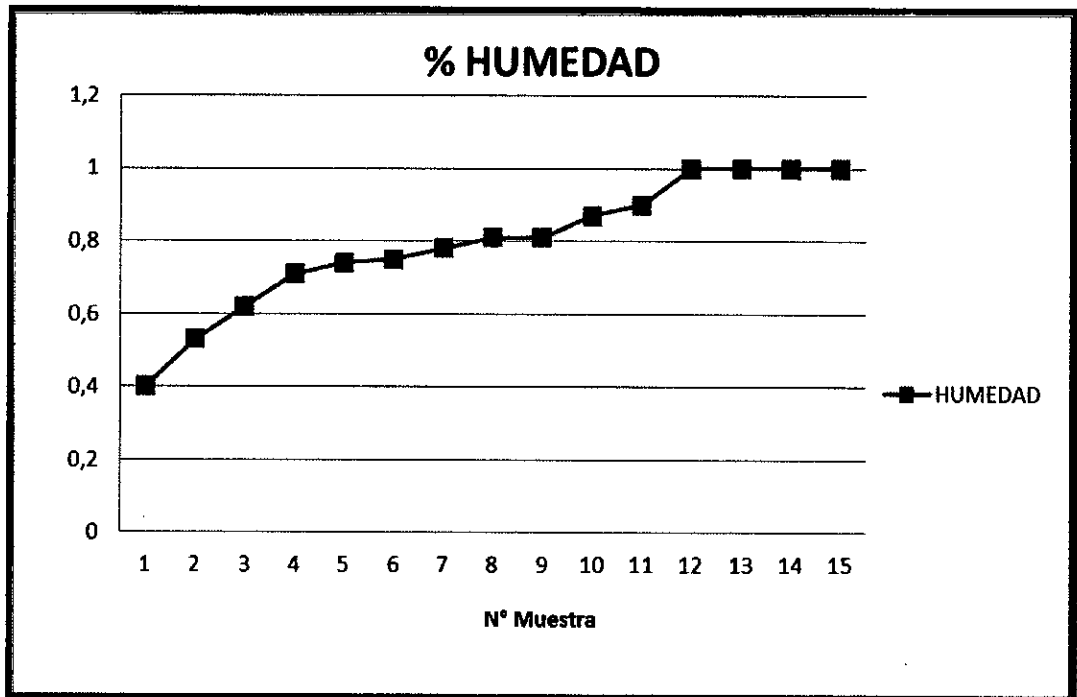
TABLA 6.1

PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL ACEITE RESIDUAL

N° Muestra	Masa total (g)	Masa aceite (g)	Contenido de agua eliminada (g)	Humedad %
1	205.832	49.802	0.198	0.40
2	205.766	49.736	0.264	0.53
3	205.722	49.692	0.308	0.62
4	205.674	49.644	0.356	0.71
5	205.660	49.630	0.370	0.74
6	205.655	49.625	0.375	0.75
7	205.640	49.610	0.390	0.78
8	205.626	49.596	0.404	0.81
9	205.594	49.564	0.436	0.87
10	205.578	49.548	0.452	0.90
11	205.572	49.542	0.458	0.92
12	205.550	49.500	0.500	1
13	205.550	49.500	0.500	1
14	205.550	49.500	0.500	1
15	205.550	49.500	0.500	1

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 6.4
PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL ACEITE RESIDUAL



Fuente: Elaboración propia

Nuestra materia prima ha tenido un porcentaje de humedad y de volátiles del 1%(ver tabla 6.1), lo que es un bajo valor y aceptable que nos permite llevar nuestro aceite al reactor de transesterificación.

6.2.3. Densidad

La densidad del aceite residual a 20°C es:

$$m_{aceite} = 22.45g$$

$$V_{aceite} = 25ml$$

$$\rho_{aceite} = m / V$$

m: masa del aceite

V: volumen del aceite

$$\rho_{aceite} = 0.89 \text{ g/ml}$$

6.2.4. Viscosidad

En este apartado vemos el resultado de la viscosidad a 20°C.

$$\nu_{aceite} = 75.9 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

En resumen, podemos indicar que el aceite tiene las siguientes características en la tabla N° 6.2.

TABLA N° 6.2

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL ACEITE RESIDUAL

PARÁMETROS	RESULTADOS
Coloración	Marrón oscuro
Densidad	0,8163 g/ml
Viscosidad	75.9 mm ² /s
% Humedad	1 %
% Ácidos grasos libres (AGL)	0,58 %
pH	5

Fuente: Elaboración propia

6.3. Proceso de transesterificación

6.3.1. Preparación del metóxido de sodio

Para evitar que se presente la saponificación se procedió a reaccionar en un matraz el catalizador y el alcohol metílico (ver figura N° 6.5)

Masa de catalizador

$$m_{NaOH} = 1g$$

Volumen de alcohol metílico

$$V_{metanol} = 40ml$$

FIGURA N° 6.5

PREPARACIÓN DEL METÓXIDO DE SODIO



Fuente: Elaboración propia

6.3.2. Reacción de transesterificación alcalina

Luego de la reacción de transesterificación se obtiene glicerina (ver tabla N° 6.3), este producto es más denso que el biodiésel por lo que se va ir al fondo del decantador como se observa en la figura N° 6.6.

TABLA N° 6.3
VOLUMEN DE GLICERINA OBTENIDO

MUESTRA	VOLUMEN DE GLICERINA (ml)
1	23
2	22
3	22
4	23
5	23
6	23
7	22
8	24

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°6.6

PRODUCTO OBTENIDO

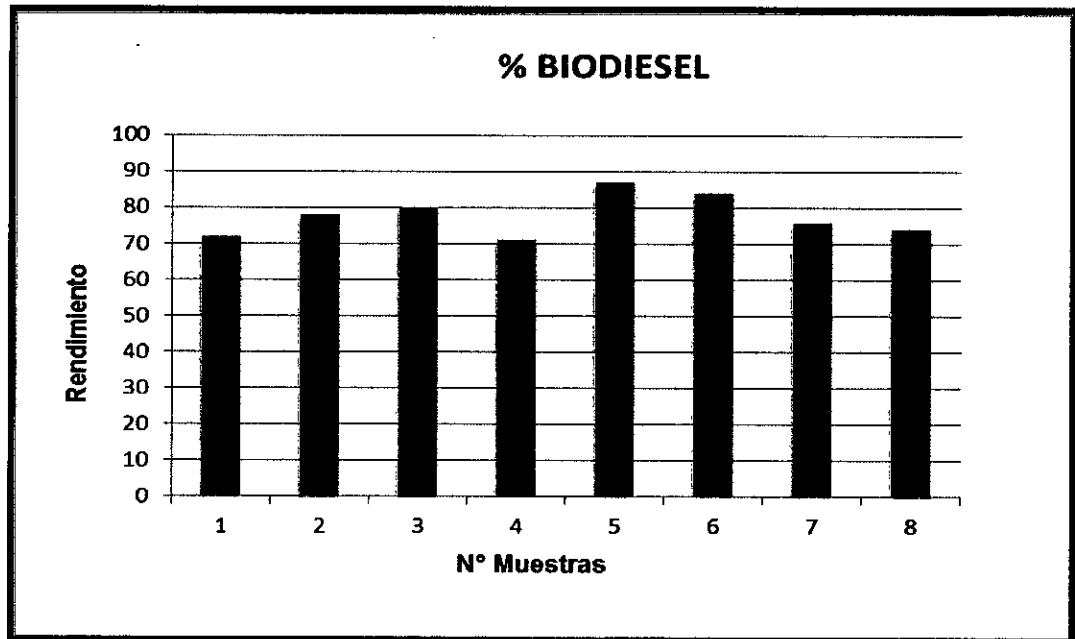


Fuente: Elaboración propia

La cantidad de biodiésel obtenido en cada experiencia se muestra en la figura N° 6.7

FIGURA N° 6.7

RENDIMIENTO DE BIODIÉSEL EN CADA MUESTRA



Fuente: Elaboración propia

6. 4. Postratamiento del biodiésel obtenido

Cada lavado se realizó para favorecer la eliminación de restos de metanol y catalizador, se hizo tres veces en cada experiencia hasta que el agua de lavado tenga un pH=7 (ver figura N° 6.8).

FIGURA N° 6.8
LAVADO DEL BIODIÉSEL



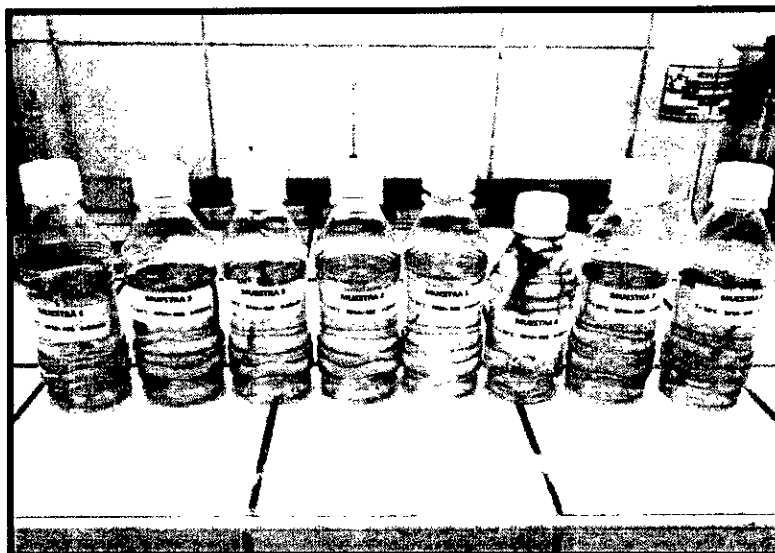
Fuente: Elaboración propia

La eliminación de restos de agua en el biodiésel se realiza en el mismo reactor donde se llevó a cabo la reacción principal de transesterificación, cada muestra de biodiésel se calienta hasta alcanzar una temperatura de 110°C por un tiempo de 20 minutos, la agitación fue distinta y se trabajó según el número de la muestra (ver tabla N° 6.4).

El resultado obtenido luego de esta deshidratación del biodiésel se puede
gura 6.9.

FIGURA N° 6.9

MUESTRAS DE BIODIÉSEL



Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 6.4

RENDIMIENTO DE CADA EXPERIENCIA

N°	TIEMPO (min)	T °C	RPM	BIODIESEL (ml)	RENDIMIENTO %
1	60	50	400	173	72
2	60	60	400	187	78
3	50	60	400	192	80
4	50	50	400	170	71
5	60	60	600	209	87
6	50	60	600	202	84
7	60	50	600	182	76
8	50	50	600	178	74

Fuente: Elaboración propia

El mayor rendimiento se presentó en la experiencia N°5, donde la reacción de transesterificación se llevó a cabo a 60 minutos, 60°C y una agitación de 600 rpm.

6.5. Análisis del biodiésel

6.5.1. Relación tiempo- conversión

Se muestra el efecto del tiempo en el rendimiento de la reacción (ver tabla N° 6.5).

TABLA N° 6.5

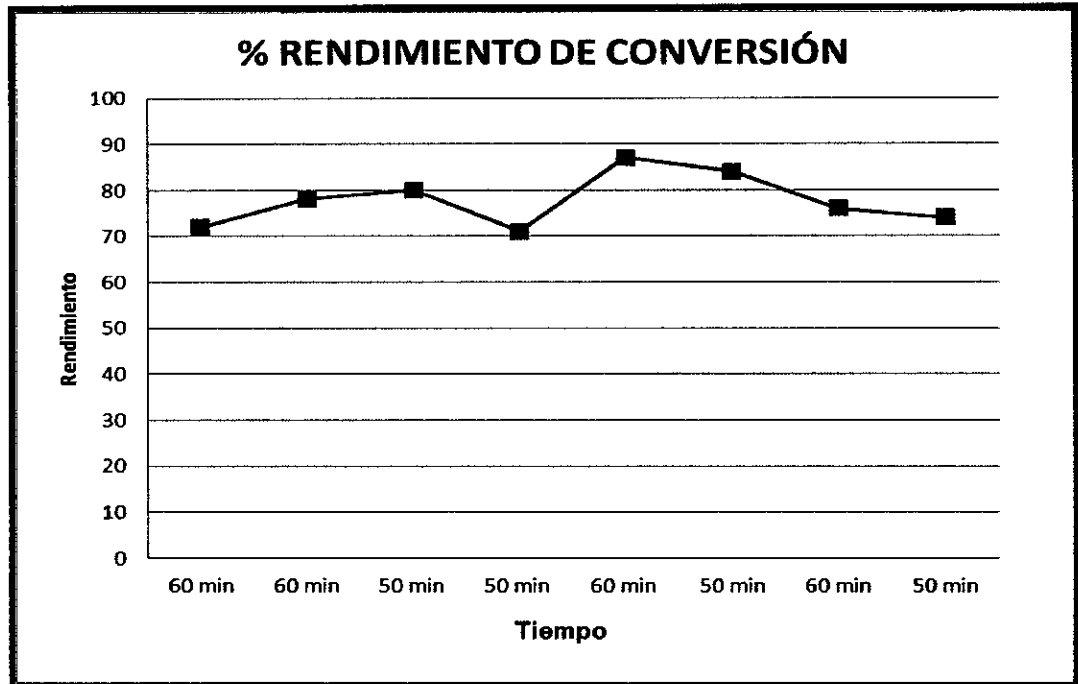
EFFECTO DEL TIEMPO EN EL RENDIMIENTO

MUESTRA	TIEMPO (Min)	RENDIMIENTO
1	60	72
2	60	78
3	50	80
4	50	71
5	60	87
6	50	84
7	60	76
8	50	74

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 6.10

RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO



Fuente: Elaboración propia

Los mayores porcentajes de rendimiento en conversión se han obtenido en un tiempo de 60 minutos, mientras que los más bajos se presentaron en un tiempo de 50 minutos.

6.5.2. Relación temperatura – conversión

Se muestra como ha ido variando la conversión de aceite en biodiésel en función de la temperatura en cada una de las experiencias (ver tabla N° 6.6), esta variable es definitivamente la más importante debido a la gran influencia en la reacción de transesterificación.

TABLA N° 6.6

EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL RENDIMIENTO

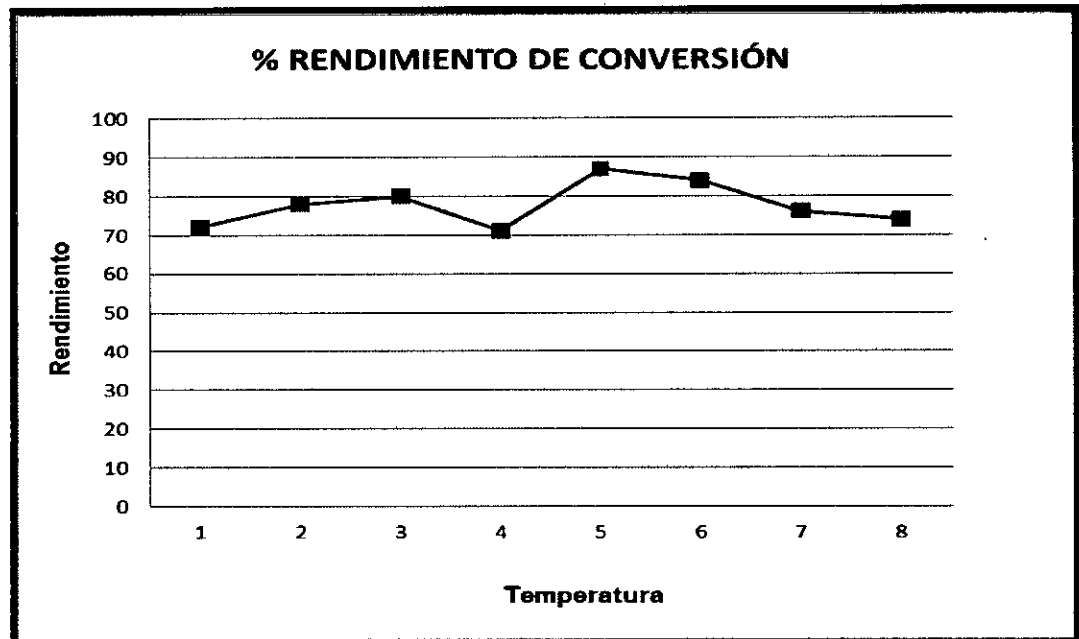
MUESTRA	TEMPERATURA (°C)	RENDIMIENTO
1	50	72
2	60	78
3	60	80
4	50	71
5	60	87
6	60	84
7	50	76
8	50	74

Fuente: Elaboración propia

El efecto de la temperatura en la reacción de la transesterificación se puede notar en la figura N° 6.11.

FIGURA N° 6.11

RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia

Se puede concluir que el mayor porcentaje de rendimiento en conversión se presenta en la muestra 5 donde la temperatura es 60°C y la más baja ocurre en la muestra 4 donde la temperatura es 50°C.

6.5.3. Relación agitación – conversión

Se muestra como ha ido variando el rendimiento en conversión de aceite en biodiésel en función de la agitación cada una de las experiencias (ver tabla N° 6.7).

TABLA N° 6.7

EFFECTO DE LA AGITACIÓN EN EL RENDIMIENTO

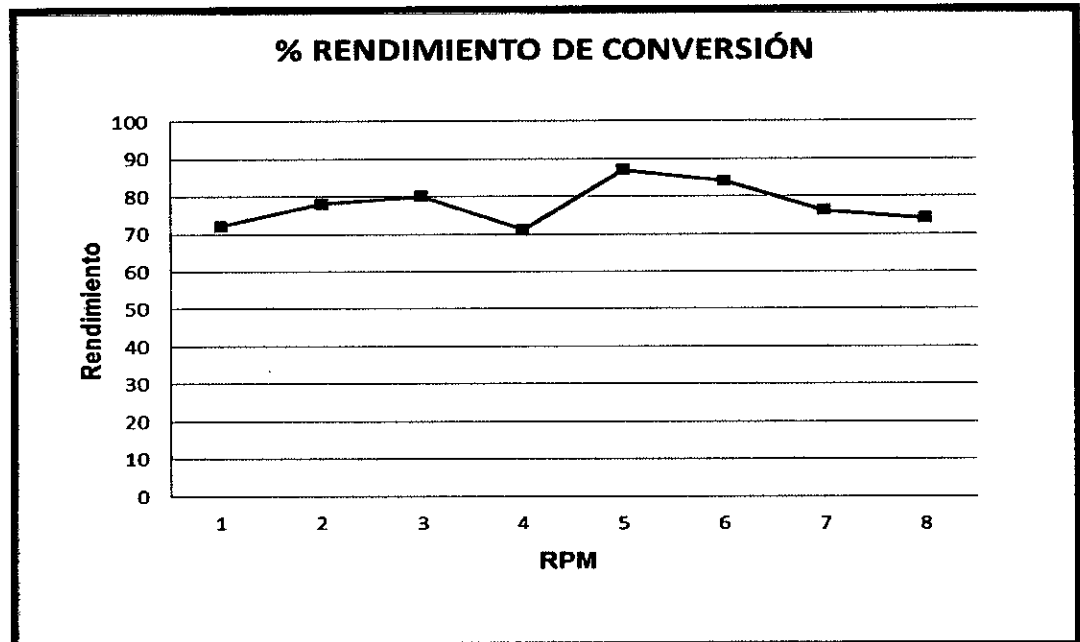
MUESTRA	RPM	RENDIMIENTO
1	400	72
2	400	78
3	400	80
4	400	71
5	600	87
6	600	84
7	600	76
8	600	74

Fuente: Elaboración propia

La influencia de la agitación en la conversión de aceite en biodiésel se puede notar en la figura N° 6.12.

FIGURA N° 6.12

RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DE LA AGITACIÓN



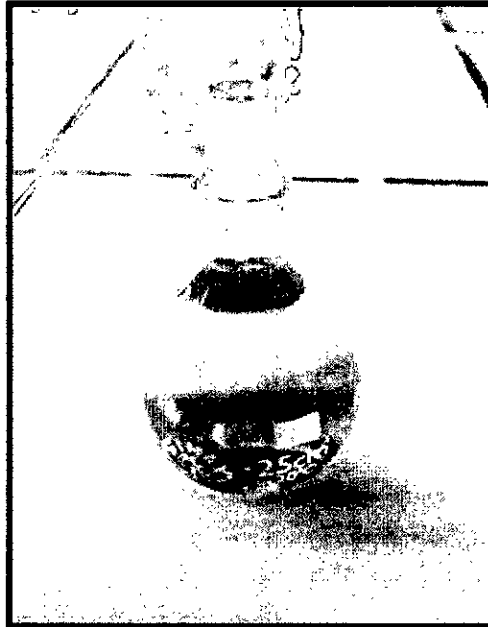
Fuente: Elaboración propia

6.5.4. Densidad

Esta propiedad ayuda a lograr una adecuada combustión, la medida de la densidad se realizó por el método del picnómetro a 20°C (ver figura N° 6.13).

FIGURA N° 6.13

DENSIDAD DEL BIODIÉSEL



Fuente: Elaboración propia

Se procedió pesando el picnómetro vacío de 25 ml y luego con la muestra de biodiésel.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

m: masa

V: volumen

m Picnómetro vacío = 21.23g

Para la muestra N° 1

m Picnómetro + Biodiesel = 42.76g

$$\rho = \frac{21.53g}{25ml}$$

$$\rho = 0.861g/ml$$

La densidad se calculó de manera similar para las demás muestras (ver tabla N° 6.8)

TABLA N° 6.8
DENSIDAD A 20°C

Muestra	Densidad (g/cm³)
1	0.861
2	0.860
3	0.861
4	0.861
5	0.864
6	0.871
7	0.862
8	0.873

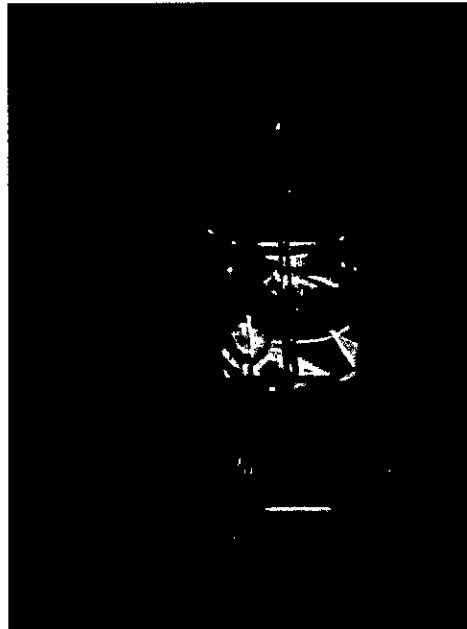
Fuente: Elaboración propia

6.5.5. Viscosidad

El cálculo de la viscosidad se realizó por el método del viscosímetro capilar de vidrio según la norma ASTM D 445 (ver figura N°6.14), los resultados se muestran en la tabla N° 6.9.

FIGURA N°6.14

VISCOSIDAD DEL BIODIÉSEL A 40°C



Fuente: Elaboración propia

Para calcular la viscosidad cinemática se tomó en cuenta la siguiente formula:

$$C = \frac{v}{t}$$

Donde:

C: constante del viscosímetro

v: viscosidad cinemática para el líquido estándar (mm²/s)

t: tiempo de flujo en segundos

El viscosímetro usado tiene una constante de 0.042 mm²/s². se midieron tiempos de flujo en cada muestra, los resultados obtenidos se encuentran en la tabla N° 6.9.

TABLA N° 6.9

VISCOSIDAD CINEMÁTICA 40°C

Muestra	Viscosidad (mm²/s)
1	4.81
2	4.80
3	4.81
4	4.81
5	4.82
6	4.86
7	4.81
8	4.87

Fuente: Elaboración propia

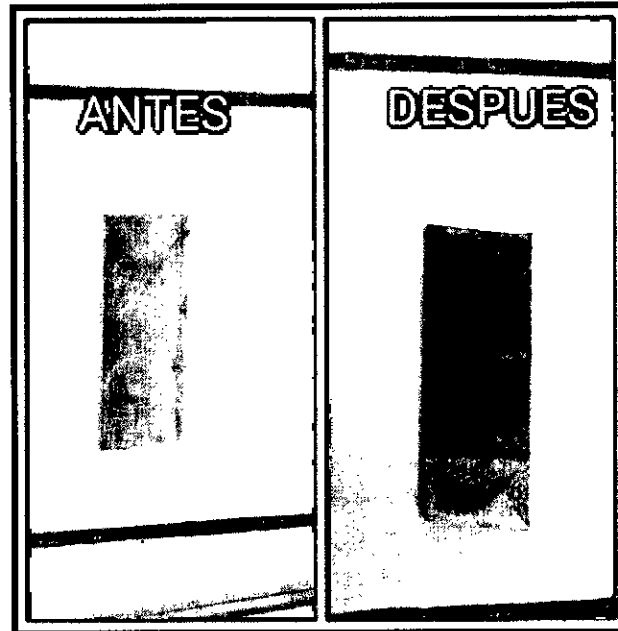
Los resultados de la viscosidad cinemática en cada muestra son satisfactorios cumpliendo con la norma ASTM D 445.

6.5.6. Corrosión

La prueba de corrosión fue realizada por el método con la lámina de cobre según la norma ASTM D130, el resultado se muestra en la figura 6.15.

FIGURA N° 6.15

CORROSIÓN DE LA LÁMINA DE COBRE A 50°C



Fuente: Elaboración propia

El resultado de nuestro análisis coincide con 1a donde se nota una ligera decoloración de la lámina de cobre, indicando que nuestra muestra de biodiésel no es corrosiva en los motores.

6.5.7. Índice de acidez

El índice de acidez fue realizado con una solución de KOH 0,01N según la norma ASTM D 664. El volumen gastado en cada experiencia se muestra en tabla 6.10 y los resultados se muestran en la tabla N° 6.10.

$$m_{KOH} = 0.1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 200 \text{ml} \times 56 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times \frac{1\text{L}}{1000\text{ml}} = 1.12 \text{g}$$

$$f_c = 0.91$$

TABLA 6.10

VOLUMEN GASTADO DE KOH

N°	VOLUMEN
1	7.92
2	7.72
3	7.35
4	8.30
5	7.20
6	7.40
7	7.60
8	7.68

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$f_c = \text{Factor de Corrección}$

Con el volumen gastado se halla el índice de acidez

$$IA = \frac{N_{KOH} \times f_c \times V_{\text{gastado (KOH)}} \times M_{KOH}}{m_{\text{Biodiesel}}}$$

$$IA = \frac{0.01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0.91 \times 7.72 \text{ml} \times 56 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{8.02 \text{g}}$$

$$IA = 0.994$$

De la misma forma se realizó para cada experiencia y los resultados se muestran en la tabla 6.11.

TABLA N° 6.11

ÍNDICE DE ACIDEZ DEL BIODIÉSEL

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
IA mgKOH/g de muestra	0.51	0.49	0.47	0.53	0,46	0.47	0.49	0.50

Fuente: Elaboración propia

VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos se cumple con la hipótesis general que establece que aplicando el proceso de transesterificación alcalina al aceite comestible residual del comedor de la UNAC, se obtuvo un 87% de rendimiento de biodiésel.

De acuerdo con los resultados obtenidos existen una relación con lo que sostiene Barros (2014) con respecto al tiempo de reacción de la transesterificación que es de 60 minutos y con lo que sostiene Bulla (2014) con respecto a la temperatura de operación que es de 60°C y una velocidad de agitación de 600 rpm.

VIII. CONCLUSIONES

1. Se concluye que el porcentaje de rendimiento obtenido es de 87% de conversión de aceite comestible residual a biodiésel.
2. El aceite comestible residual del comedor de la UNAC, está apto como materia prima para la obtención de biodiésel debido a que cumple con las características fisicoquímicas.
3. El biodiésel obtenido cumple con los estándares de calidad fisicoquímicos en base a la norma internacional ASTM D 6751-09.
4. La temperatura de operación fue de 60°C es la variable que más influye en el rendimiento del biodiésel obteniéndose un 87% y a una temperatura de 50°C se obtuvo un rendimiento de 84%.

IX. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda diseñar el equipo de obtención de biodiésel a una escala piloto, teniendo las condiciones de operación de: temperatura 60°C, tiempo de reacción 60 minutos y velocidad de agitación 600 rpm.
2. Realizar el estudio de factibilidad económica del biodiésel obtenido a nivel de planta piloto encontrando una rentabilidad.
3. La contaminación del agua mediante el aceite comestible residual se puede evitar usándolo como materia prima para la obtención de biodiésel.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVA BOCANEGRA, Manuel A., CIPRA OBESO, Pedro J. **Estudio Comparativo de los Biodiésel, Obtenidos a Partir de Metanol y Etanol y su Adaptación a Escala Piloto.** Tesis. Trujillo. Universidad Nacional de Trujillo. 2015.
2. ARBELÁEZ MARÍN, Ángela M., RIVERA QUIROZ, Marcela P. **Diseño Conceptual de un Proceso para la Obtención de Biodiésel a Partir de Algunos Aceites Vegetales Colombianos.** Tesis. Medellín. Universidad EAFIT. 2007.
3. ARIAS TAMAYO, Ana Cecilia. **Obtención de Biodiésel a Partir de Aceites Comestibles Usados (ACVUs), Como una Alternativa para el Reciclaje de Material de Desecho Altamente Contaminante para el Medio Ambiente.** Tesis. Ambato. Universidad Técnica de Ambato. 2012.
4. ASTM. American Society for Testing and Materials, Specification for Biodiesel Fuel (B100) – ASTM D 6751-2009.
5. ASTM D 130: 2004. Método estándar para corrosividad de cobre.
6. ASTM D 445: 2006. Método de prueba estándar para Viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos
7. ASTM D 664: 2006. Método de prueba estándar para índice de acidez.
8. BARRIGA MORENO, Eduardo Antonio. **Diseño del Módulo de Transesterificación de una Planta Piloto para Producción de**

- Biodiésel a Partir de Aceites Usados de Cocina.** Tesis. Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2011.
9. **BARROS PIÑEIRO, Xian. Obtención de Biodiésel a Partir de Aceite de Cocina Usado de la ENM.** Trabajo Fin de Grado. España. Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar. 2014 – 2015.
10. **BULLA PEREIRA, Edwin Alberto. Diseño del Proceso de Producción del Biodiésel a Partir de Aceites de Fritura.** Tesis. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. 2014.
11. **CASTRO, Paula, COELLO, Javier, CASTILLO, Liliana. Opciones para la producción y uso de biodiésel en el Perú.** Soluciones Prácticas-ITDG. Lima. 2007
12. **GARCÍA SÁNCHEZ, Edduar G., ALFARO LÓPEZ, Yesser A., RUIZ ORTEGA, Manuel E. Estudio de Prefactibilidad Para la Generación de Biodiésel a Partir de Aceite Quemado en el Restaurante Tip Top, Estelí, Nicaragua.** Tesis. Managua. Universidad Nacional de Ingeniería. 2012.
13. **MARTÍNEZ AGUIRRE, Oscar Humberto. Diseño de un Prototipo Demostrativo para la Producción de Biodiésel.** Tesis. México. Universidad Nacional Autónoma de México. 2013.
- Ministerio de Energía y Minas (MINEM). **Plan Energético Nacional 2014-2025.** Lima. 2014.

15. VICENTE PARDAL, Ana Cristina Dinis. **Obtención de Biodiésel por Transesterificación de Aceites Vegetales: Nuevos Métodos de Síntesis**. Tesis Doctoral. Badajoz. Universidad de Extremadura. 2012.

Referencias electrónicas

1. Biodisol. La producción de biodiesel. Disponible en: <http://www.biodisol.com/biodiesel-que-es-el-biodiesel-definicion-de-biodiesel-materias-primas-mas-comunes/la-produccion-de-biodiesel-materias-primas-procesos-calidad/>. Artículo web. Consultada el 02 de diciembre del 2016.
2. Bluer aplicaciones. Incineración de glicerina, subproducto de la industria de biodiesel. Disponible en: <http://www.bluer.es/incineracion-de-glicerina,-subproducto-de-la-industria-de-biodiesel.html>. Artículo web. Consultada el 22 de diciembre del 2016.
3. Emily Ugarte. Obtención de biodiesel a partir de aceite usado. Disponible en: https://prezi.com/fr_h9hd59c5o/obtencion-de-biodiesel-a-partir-de-aceite-usado/. Artículo web. Consultada el 04 de enero del 2017.
4. Endesa educa. Centrales de Biomasa. Disponible en: www.endesaeduca.com/Endesa_educarecursos_interactivos/produccion-de-electricidad/xiv.-las-centrales-de-biomasa. Artículo web. Consultada el 22 de noviembre del 2016.

5. Energía12. Plantas de producción de biodiesel en Argentina. Disponible en: <https://energia12.com/2012/11/13/plantas-de-produccion-de-biodiesel-en-argentina/>. Artículo web. Consultada el 10 de noviembre del 2016.
6. Torso solar ingeniería energética. Disponible en: http://www.torsolar.es/servicios/energias_renovables/biodiesel/. Artículo web. Consultada el 15 de diciembre del 2016.

XI. ANEXOS