

**APROVECHAMIENTO DEL ACEITE RESIDUAL COMESTIBLE PARA LA
OBTENCIÓN DE BODIESEL GENERADO EN LA EMPRESA “TÍPICOS
ELOY” UBICADO EN EL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR**



**PEDRO JOSE CARDENAS BOLAÑO
ANGIE CAROLINA SUAREZ OÑATE**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR, CESAR
2020**

**APROVECHAMIENTO DEL ACEITE RESIDUAL COMESTIBLE PARA LA
OBTENCIÓN DE BODIESEL GENERADO EN LA EMPRESA “TÍPICOS
ELOY” UBICADO EN EL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR**



**PEDRO JOSE CARDENAS BOLAÑO
ANGIE CAROLINA SUAREZ OÑATE**

**DIRECTORA:
ANGELICA VANEGAS**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR, CESAR
2020**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado, primeramente, a Dios que con la ayuda de él todo es posible , a mi madre **CARMEN CRISTINA BOLAÑO CUELLO** , por la comprensión, la ayuda, la confianza, el apoyo incondicional, pero ante todo el increíble amor que me ha brindado durante mi diario vivir, porque sé que, sin ella no hubiera podido llegar hasta aquí, a mi padre **JOSE ABSALON CARDENAS ORDOÑEZ** que a pesar de que no estuvo conmigo durante mi formación profesional dejo un legado de perseverancia, humildad, dedicación y emprendimiento para poder cumplir las metas que me propuse junto a él.

PEDRO JOSE CARDENAS BOLAÑO

Dedico el presente trabajo de grado, principalmente a Dios quien fue mi fortaleza y en él deposite mi confianza durante toda la carrera hasta culminarla, fue quien me dio la sabiduría y el entendimiento para poder cumplir este logro en mi vida, a mis padres **GERMITH SUAREZ ARIZA** y **ANA MARÍA OÑATE LÓPEZ** por brindarme su confianza, apoyo incondicional y ante todo su amor y comprensión durante este periodo de altos y bajos. Y por último a mi tía **ISABEL OÑATE LÓPEZ** quien me brindo su comprensión, apoyo y quien me entendió durante todo el tiempo de la carrera.

ANGIE CAROLINA SUAREZ OÑATE

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A la Ing. ANGELICA VANEGAS PADILLA, por prestar el apoyo y la ayuda necesaria para la realización de este proyecto, por su dedicación y esfuerzo; ella supo cómo guiarnos en tan arduo trabajo, por eso, deseamos expresarle nuestra gratitud, éxito y el mayor de los augurios en su trayectoria profesional.

A la UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR, por brindarnos su academia y formarnos en todo el proceso del pregrado, por prestarnos su infraestructura física, equipos y demás elementos necesarios para realizar el proyecto.

A la empresa /restaurante TIPICOS ELOY de la ciudad de Valledupar, la cual, fue fundamental para poder ejecutar nuestro proyecto, por abrirnos las puertas y por la disposición prestada.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
2. JUSTIFICACIÓN	5
3. OBJETIVOS	6
3.1 OBJETIVO GENERAL	6
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
4. MARCO REFERENCIAL	7
4.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	7
4.2 MARCO TEÓRICO	12
4.2.1 Biocombustible	12
4.2.2 Biodiesel	12
4.2.3 Aplicaciones del biodiesel	12
4.2.4 Ventajas del biodiesel	13
4.2.5 Diferencias entre biodiesel y diésel	13
4.2.6 Aceite de cocina	14
4.2.7 Clases de aceites	14
4.2.7.1 Origen Vegetal	15
4.2.7.2 Origen Animal	15
4.2.7.3 Origen Mineral	15
4.2.8 Proceso para Obtención de Biodiesel	15
4.2.9 Reacción de transesterificación	17
4.2.9.1 Variables que afectan a la reacción de transesterificación	17
4.3 MARCO CONCEPTUAL	20
4.4 MARCO CONTEXTUAL	22
4.5 MARCO LEGAL	24
5. METODOLOGÍA	26
5.1 TIPO DE ESTUDIO	26
5.2 POBLACIÓN	26

5.3	MUESTRA	26
5.4	DESARROLLO METODOLÓGICO	26
5.4.1.	Fase 1: Revisión bibliográfica.....	26
5.4.2.	Fase 2: Pretratamiento.....	26
5.4.3.	Fase 3: Caracterización fisicoquímica del aceite.....	27
5.4.4.	Fase 4: Producción de biodiesel	27
5.4.5.	Fase 5: Determinar las propiedades del biodiesel.....	29
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	30
6.1.	PRETRATAMIENTO.....	30
6.2.	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL ACEITE	31
6.3.	OBTENCIÓN DEL BIODIESEL A PARTIR DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN	37
6.4.	DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL BIODIESEL OBTENIDO DE ACUERDO CON LAS NORMAS ASTM.....	42
6.5.	ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA	46
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	48
8.	CONCLUSIONES.....	49
9.	RECOMENDACIONES	50
	BIBLIOGRAFÍA.....	51

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades del biodiesel y del diesel.	14
Tabla 2. Normatividad legal aplicable al estudio	24
Tabla 3. Parámetros para caracterizar fisicoquímica el aceite.....	27

LISTA DE ILUSTRACIÓN

	Pág.
Ilustración 1: Esquema general del Proceso para la obtención de biodiesel	16
Ilustración 2 Localización de la empresa típicos Eloy	23
Ilustración 3.. Empresa Típicos Eloy.....	23
Ilustración 4. Proceso de pretratamiento del aceite	30
Ilustración 5. Proceso de lavado y secado del aceite	30
Ilustración 6. Filtración del aceite por medio de una bomba de vacío.....	31
Ilustración 7. Proceso de centrifugado y secado.....	31
Ilustración 8. Montaje y procedimientos para la porción de ensayo.....	33
Ilustración 9. Montaje y procedimiento para determinar la porción de ensayo .	35
Ilustración 10. Montaje para la obtención del biodiésel.....	39
Ilustración 11. Separación del biodiésel de la glicerina.....	40
Ilustración 12. Lavado de biodiesel.....	41
Ilustración 13. Secado del biodiesel.....	41
Ilustración 14. Montaje para la determinación de humedad del biodiésel	43
Ilustración 15. Montaje para la determinación del punto de nube del biodiesel	45
Ilustración 16. Resultados del Spectometro Fluid Scan	45

INTRODUCCIÓN

Es un hecho que la generación de energía a partir de combustibles fósiles es una de las principales actividades antropogénicas que ocasionan problemas ambientales como la contaminación atmosférica por emisión de gases tóxicos, o el calentamiento global debido a la emisión de gases de efecto invernadero, entre otros fenómenos. Partiendo de esta realidad, la búsqueda de fuentes energéticas renovables y ambientalmente sostenibles como los biocombustibles entre los cuales se encuentra el biodiesel, han sido objeto de muchas investigaciones siendo participe de debates a nivel mundial (Arias, 2007; Fernández, 2006).

El biodiesel es un combustible líquido obtenido a partir de productos renovables. El biodiesel puro es biodegradable, no tóxico y esencialmente libre de azufre y compuestos aromáticos (Choi, 2006; Ciria, 2007; Pérez, 2006). Por lo anterior, este proyecto busca ofrecer una alternativa en la producción de combustibles que pueda generar beneficios ambientales ya que evita el impacto ambiental de disponerlos por el drenaje el cual terminará en las fuentes de aguas, además de los beneficios económicos que trae dado que se puede producir un combustible económico y limpio.

En términos generales este proyecto tiene como propósito la producción casera de biodiesel a partir de aceites residuales de frituras del restaurante típicos Eloy; tanto el aceite usado como el biodiesel producido se caracterizará fisicoquímicamente mediante las respectivas Normas Técnicas Colombianas (NTC) y la American Society for Testing and Materials, Standard Specification (ASTM).

El informe final del estudio se presentará en varios capítulos, que se describen a continuación: en un primer capítulo estarán las generalidades del proyecto como son: planteamiento del problema, justificación y objetivos. En un segundo capítulo se encuentra el marco referencial y sus diferentes componentes,

seguidamente en un tercer capítulo esta la metodología y en un cuarto capítulo se ubican los resultados del estudio, conclusiones y recomendaciones.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la empresa Típicos Eloy, ubicado en la ciudad de Valledupar, actualmente se generan 360 litros de aceite vegetal usado debido a la gran demanda que han tenido los productos fritos, convirtiéndose en un problema desde el punto de vista medio ambiental, así como para la salud de los consumidores (García et al., 2013).

El aceite de cocina es un producto utilizado en todo el mundo, y por lo general en la preparación de los alimentos. Considerando que desde hace años se sabe a nivel global, que el aceite comestible no debe ser reutilizado en la elaboración de alimentos, debido a que las altas temperaturas a que debe ser sometido para freír alimentos generan la liberación de agentes cancerígenos como el benzopireno (García et al., 2013), no es recomendable que dicho aceite se reutilice. Sin embargo, algunos, por las condiciones de trabajo y porque resulta muy caro, continúan utilizándolo indiscriminadamente. Dicho aceite después de ser utilizado comúnmente es desechado por la cañería, en otros casos, se vierte directamente a los suelos, ríos, mares, entre otros, lo que provoca afectaciones al ecosistema del lugar, generando un impacto ambiental negativo debido a que se conoce que 1 litro de aceite de cocina usado puede contaminar 1000 litros de agua (Barrera & Cortés, 2017).

Esta situación ha conllevado a que se trabaje en la búsqueda de alternativas para el uso de estos aceites. A nivel mundial, una solución a este problema es utilizarlo para la obtención de biocombustible. Uno de los más recientes que se puede citar es el biodiésel, el cual se obtiene a partir de aceites vegetales, y cuyo método más habitual para la transformación de estos aceites vegetales, es a través de un proceso de combinación con alcohol metílico e hidróxido de sodio (NaOH), conocido como reacción de transesterificación, produciéndose un compuesto que se puede utilizar directamente en un quemador o en un motor diesel sin modificar (García et al., 2013), resultando ser una estrategia

óptima para darle solución a la problemática ambiental generada en la empresa.

Por otro lado, 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 y con la que se está favoreciendo al aumento del efecto invernadero, considerando además que estos carburantes no son renovables. Con la aplicación de esta estrategia en la empresa, se espera producir un combustible ecológico alternativo a partir de aceites comestibles que ayude al medio ambiente, basándose en un producto doméstico que es sumamente utilizado en dicha empresa, además el proceso para producir el biodiesel es práctico, sencillo y económico, por lo que representa muchas ventajas, ya que se logra sustituir a los generados de fuentes de energía no renovables, obteniendo un gran impacto positivo en el medio ambiente, pues la combustión del biodiesel generado no emite gases tóxicos para el ser humano, ni nocivos para el medio ambiente, debido a que sus componentes son 100% orgánicos, evitando así favorecer el efecto invernadero (Barrera & Cortés, 2017).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo obtener biodiesel a partir de aceite residual comestible generado en la empresa “Típicos Eloy” ubicado en el municipio de Valledupar?

2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente existe la necesidad de buscar combustibles renovables alternativos a los que se obtienen del petróleo, no solo por la limitación de este recurso, sino también por los problemas de contaminación ambiental creciente que genera la reutilización y disposición inadecuada de los aceites comestibles (García et al., 2013).

En este sentido, la utilización del biodiesel, a diferencia de otros combustibles, resulta ventajosa desde el punto de vista energético, y mucho más recomendable desde el punto de vista medioambiental, por su menor nivel de emisión de gases nocivos, en particular el dióxido de carbono (CO₂), que es el principal causante del efecto invernadero (Deudor, 2012).

La empresa Típicos Eloy, genera alrededor de 360 litros de aceite comestible residual mensualmente, es decir que con este volumen tan alto debe la misma tener una estrategia para la recuperación de aceite, evitando cualquier impacto ambiental y sobre todo aprovechando que de 1.1 litro de aceite usado se puede obtener 1 litro de biodiesel.

La importancia de aprovechar el aceite residual comestible es por el impacto que tienen en la sociedad, ya que logra despertar la conciencia en las personas toda vez que reutilizando el aceite comestible se contribuirá a bajar los niveles de contaminación de las urbes, y en este sentido se ve favorecida la salud de las personas; desde el punto de vista ambiental, los combustibles fósiles generan una serie de contaminantes atmosféricos, causantes del cambio climático y lluvia acida, razón por la cual se busca la utilización y la sustitución completa de combustibles alternativos como el biodiesel obtenido a partir de aceites usados; asimismo, tienen un impacto económico positivo, dando independencia energética ya que se diversifica las fuentes de energía con lo cual también se mejora la competitividad de los países.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Aprovechar el aceite residual comestible para la obtención de biodiesel generado en la empresa “Típicos Eloy” ubicado en el municipio de Valledupar.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar fisicoquímicamente los aceites residuales de acuerdo con las propiedades requeridas por la normatividad ambiental vigente.
- Obtener biodiesel a partir del aceite extraído mediante el proceso de transesterificación empleando un método casero.
- Determinar las propiedades del biodiesel obtenido de acuerdo con las normas ASTM (American Society for Testing and Materials, Standard Specification).

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

A continuación, se mencionan algunas investigaciones que permitan ilustrar y constatar con validez científica la metodología y resultados de esta investigación.

Barrera y Cortes (2017). Obtención de biodiesel a partir del aceite de frituras.

a presente investigación tiene como objetivo evaluar la producción de Biodiesel a partir de aceite vegetal de frituras en la planta piloto de la Universidad Libre. Para poder obtener biodiesel a partir de aceite de frituras, se utilizó el proceso transesterificación, proceso en el cual se convierten los aceites y grasas en biodiesel, mediante una reacción química que consiste en la mezcla de un triglicérido con un alcohol para formar alquil ésteres y glicerol. Todo el proceso de obtención de biodiesel se realizó en las instalaciones de la Universidad Libre, utilizando el reactor biodiesel (tipo batch) que se encuentra en el laboratorio de plantas térmicas de la universidad. Se realizó la recolección del aceite como primera medida, después se procedió a realizar una limpieza del aceite mediante el proceso de filtrado para retirar impurezas, después de tener el aceite y los reactivos (metanol y KOH) listos se utilizó el reactor biodiesel tipo batch. Se realizaron 6 pruebas, cada una consistió en realizar un precalentamiento del aceite a 45°C, mientras tanto se realizó la mezcla de los reactivos, posteriormente se realizó la mezcla del aceite con los reactivos a una temperatura entre 50°C y 60°C, al pasar una hora mezclando el aceite y los reactivos se procedió a una decantación del biodiesel, para separar la glicerina que se generó. Se dejaron decantar las muestras durante 1 semana en los decantadores del laboratorio de química de la universidad Libre, posteriormente a la decantación se realizó la caracterización física y química de las muestras obtenidas junto con un análisis de poder calorífico. Con el biodiesel obtenido a partir de aceite de frituras se puede llegar a incursionar en la industria de los biocombustibles, aprovechando el uso inadecuado de este aceite después de ser utilizado, desarrollando un plan de recolección del aceite se podrán reducir

los costos de la materia prima, que en el caso de la obtención del biodiesel corresponde al 70% del costo de producción.

García, Hernández y Maqueira (2013). Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar la obtención del biodiesel a partir de aceites comestibles usados y metanol. Las cantidades de aceite y reactivos para que se desarrolle la reacción de transesterificación, mediante la cual se obtiene biodiesel y glicerina, se fijaron a partir de búsqueda bibliográfica. Se procedió a caracterizar el aceite empleado como materia prima. Posteriormente se llevó a cabo la fase experimental a nivel de laboratorio. Como resultado de los experimentos se obtuvo un 88,385 % de rendimiento, valor que se encuentra en el orden de los reportados en la bibliografía consultada. La técnica usada en el laboratorio se puede escalar a otros niveles.

López, Bocanegra y Malagón (2015). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado.

En el presente trabajo se evaluó la obtención de biodiesel a partir de aceite de cocina usado, empleando la catálisis con hidróxido de sodio y potasio. Se evaluaron tres relaciones molares de metanol: aceite, 6:1, 9:1 y 12:1, dos catalizadores KOH y NaOH y dos porcentajes de catalizador 1 % y 2 %; se realizó un diseño factorial por duplicado. La temperatura se mantuvo en 60 °C, y el tiempo de reacción, en 2 horas. Se determinó el contenido de metilésteres y de mono-, di- y triglicéridos mediante cromatografía de gases. Las mejores condiciones para NaOH y KOH como catalizadores se obtuvieron cuando el porcentaje de catalizador fue 1 % y la relación molar alcohol: aceite fue 12:1. En estas condiciones se obtuvo una conversión del 64,1 %, un rendimiento de 98 % y un porcentaje de metilésteres de 99,1 % cuando el catalizador fue NaOH. Con KOH la conversión fue 63,2 %; el rendimiento, 88 %, y el porcentaje de metilésteres, 98,4 %. Los resultados de este estudio muestran un alto rendimiento de la reacción al emplear aceite usado, por lo cual su implementación industrial dependerá de la evaluación económica.

Álvarez (2013). Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del refugio.

Este trabajo de investigación está enfocado a realizar un estudio del potencial de biomasa residual (aceite usado) que puede generar la comunidad del Refugio, establecida en el municipio de Tijuana Baja California. También se realizaron pruebas para determinar si la biomasa residual puede ser utilizada para la producción de biodiesel, mediante técnicas que permitan una producción sustentable. En primer lugar, se estableció un plan de recolección piloto de aceite usado mediante la selección de 50 casas considerando los resultados obtenidos por la encuesta aplicada. Con este plan se determinó que se pueden recolectar 146 litros en promedio de aceite a la semana por la comunidad y se considera que dando a conocer el proyecto y sus beneficios puede aumentar considerablemente la cantidad de aceite recolectad. Posteriormente se realizó el pre-tratamiento al aceite para eliminar solidos suspendidos y gomas que influyen el proceso de producción de biodiesel. Al aceite limpio y seco se le realizó la caracterización de propiedades físicas y químicas para determinar si era posible utilizarlo para la producción de biodiesel, todos los parámetros determinados son similares a los reportados por otros autores. El índice de acidez se encuentra por debajo del 2% por lo que la producción de biodiesel sólo se realizó por catálisis básica con NaOH y KOH en una relación molar alcohol/aceite 6:1, una concentración de catalizador del 1% con respecto al aceite y un rango de temperatura de 30 a 60°C, encontrando que a una temperatura de 60°C y KOH como catalizador se obtienen rendimientos superiores al 90%.

Bulla (2014). Diseño del proceso de producción del biodiesel a partir de aceites de fritura.

Este trabajo pretende establecer el diseño del proceso de producción de biodiesel a partir de los aceites de fritura, bajo el análisis de algunas variables en la etapa de producción y posteriormente establecer el rendimiento del proceso. Los resultados establecen que el proceso de producción se realiza en dos etapas, debido al índice de acidez (IA) de 7,65 mg KOH/g aceite usado de

soja. La primera etapa es una esterificación con catálisis homogénea ácida y segunda etapa con una transesterificación con catálisis homogénea básica, las variables del estudio son temperatura de reacción, porcentaje en peso del catalizador (%p/p), relación molar de 1:8 –Esterificación-, y 1:7 –Transesterificación-, condiciones que se emplearon para una prueba de producción de biodiesel de 105 L/Lote en una planta piloto de proceso discontinuo obteniendo un biodiesel con características físicas y químicas según los parámetros de la norma ASTM D 6751 con un rendimiento de 93,52 %p/p de FAEE's, y trazas de 4,60 %p/p de mono, diglicéridos. Las condiciones óptimas encontradas en el estudio hacen posible el uso del biodiesel producido en equipos industriales –Calderas-, que emplean diésel para su funcionamiento.

Sanaguano, Chávez, Sánchez (2016). Obtención de biodiesel a partir de aceite reciclado de frituras como fuente potencial de energía.

El objetivo principal de esta investigación fue darle una utilidad a los aceites de fritura debido a que este residuo no tiene una disposición final adecuada, los aceites fueron recolectados de los restaurantes y lugares de comidas rápidas de la ciudad de Guaranda, por las características físico químicas que presentaron estos aceites usados se aplicó una metodología de catálisis homogénea ácido – básico. Para el proceso de transesterificación se utilizó metanol e hidróxido de sodio como catalizador, se determinaron como variables de estudio la relación molar, concentración del catalizador y el tiempo de reacción, la temperatura y agitación se mantuvo constante en todos los ensayos realizados. Para este efecto se estudiaron 12 tratamientos, de los datos obtenidos se determinó que el T4, T8 y T10 reportan mayor volumen de biodiesel. Con respecto a los resultados de correlaciones de Pearson r entre las variables de producción de biodiesel. Las variables que presentaron una correlación fueron: el volumen de glicerina con el volumen de metanol (con $r = 0.71$ y $P = 0.0093$); volumen de glicerina con la concentración de NaOH en % (con $r = 0.52$ y $P = 0.0840$) y el volumen de biodiesel producido con la variable concentración de NaOH en % (con $r = -0.68$ y $P = 0.0155$). De los

cromatogramas realizados se determinó que el tratamiento T4 y T8 presentan picos más intensos, lo cual es indicativo que existe mayor cantidad de esteres metílicos.

4.2 MARCO TEÓRICO

A continuación, se brindará la respectiva información para comprender los diferentes aspectos teóricos que fundamentan la investigación.

4.2.1 Biocombustible

El biocombustible es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa. Es una fuente renovable de energía, a diferencia de otros recursos naturales como el petróleo, carbón y los combustibles nucleares. Aunque se puede hablar de muchos tipos de biocombustible, por su importancia, aplicación y volumen de producción, básicamente hay dos: el bioetanol y el biodiésel. Se cree que pueden sustituir a los combustibles fósiles más tradicionales, en virtud de su bajo o nulo deterioro ambiental y sus características de renovación. (Núñez & García, S.F)

4.2.2. Biodiesel

El biodiésel es un biocarburante líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo la colza, el girasol y la soja las materias primas más utilizadas para este fin. Las propiedades del biodiésel son prácticamente las mismas que las del gasóleo de automoción en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el biodiésel puede mezclarse con el gasóleo para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adaptan éstos convenientemente. (García & García, 2006).

4.2.3 Aplicaciones del biodiesel

El uso más común de los biocombustibles es para el transporte, aunque algunos se pueden usar en generadores para producir electricidad y algunos otros podrían reemplazar eventualmente al propano y aceites de calentamiento (combustible para calefacción). En particular, el biodiesel se utiliza como combustible cuando cuenta con las características fisicoquímicas dentro de las

normas UNE EN 14214 y la ASTM D6751. Normalmente el biodiesel se usa mezclado con diésel fósil, siendo la mezcla B20 (20% de biodiesel y 80% diésel) la más común. Otra aplicación del biodiesel es usarlo en pequeña porción, en vez de emplear aditivos lubricantes, para mejorar la lubricidad de un combustible diésel altamente desulfurado (Ortiz, s. f).

4.2.4 Ventajas del biodiesel

- ✓ Empleo de fuentes naturales renovables como materias primas, tales como aceite vegetal usado y etanol, dando solución al problema de contaminación generada por la inadecuada disposición final y reutilización de dichos aceites.
- ✓ Sustitución del diesel convencional en motores, quemadores y turbinas; así como en autobuses, taxis y maquinaria agrícola sin necesidad de reconversión mecánica.
- ✓ Contiene 11% de oxígeno en peso y no tiene azufre. El biodiesel posee mejores cualidades lubricantes que el combustible tradicional.
- ✓ Mayor estabilidad energética, pues proporciona una protección contra la dependencia del petróleo.
- ✓ Mayor poder disolvente, que hace que no se produzca carbonilla ni se obstruyan los conductos y mantiene limpio el motor.
- ✓ Se producen menos partículas de desgaste que con el diésel (Dávila & Cortés, 2017).

4.2.5 Diferencias entre biodiesel y diésel

El diésel es un derivado del petróleo, así mismo al utilizar este combustible se aumentan las emisiones de CO₂ y en los motores produce desgaste, por otro lado, se observó que el biodiesel es un derivado de aceites vegetales, al ser utilizado se busca reducir las emisiones de CO₂, como beneficios en los motores otorga un gran poder de lubricación, así mismo se esperan tener cambios positivos desde el punto de vista ambiental y económico. El biodiesel

posee propiedades físicas y químicas similares a las de combustible diésel empleado para la gran mayoría de automotores, se puede mezclar hasta en un 20% de biodiesel con el diésel obtenido de la refinación del petróleo, desde el 24 punto de vista de la inflamabilidad el biodiesel es más seguro debido a su punto de inflamación elevado respecto al del diésel (Dávila & Cortés, 2017).

Tabla 1. Propiedades del biodiesel y del diesel.

Datos fisicoquímicos	Biodiesel	Diesel
Composición combustible	Ester metílico Ácidos grasos C ₁₂ -C ₂₂	Hidrocarburo C ₁₀ -C ₂₁
Poder calorífico inferior. Kcal/Kg	9500	10800
Viscosidad cinemática, cst (40°C)	3,5 – 5,0	3,0 – 4,5
Peso específico g/cm ³	0,875 0,900	0,850
Azufre. % P	0	0,2
Punto ebullición. °C	190 – 340	180 - 335
punto inflamación, °C	120 -170	60 – 80
Punto escurrimiento, °C	-15 / +16	-35 / - 15
Número cetanos	48 -60	46
Relación estequiométrica. Aire/comb. p/p	13,8	15

Fuente: Tejeda, 2011.

4.2.6 Aceite de cocina

Los aceites son líquidos grasos que se clasifican según su origen, una de sus características es su imposibilidad de ser disueltos en agua, esto se debe a que su densidad es menor a la del agua. (Dávila & Cortés, 2017).

4.2.7 Clases de aceites

Según su origen se clasifican en: Vegetales, Animales y minerales.

4.2.7.1 Origen Vegetal

Los aceites procedentes de plantas generalmente contienen ácidos grasos, fosfolípidos, esteroides y otras impurezas, para ello es recomendable no utilizarlos directamente como combustibles y así poder superar inconvenientes con el aceite, que en ocasiones debe sufrir una modificación química. (Dávila & Cortés, 2017)

4.2.7.2 Origen Animal

Son productos que se originan de los tejidos adiposos de los animales, por lo general los animales marítimos son de los que más se obtienen estos aceites, son destinados para el consumo animal, la industria del jabón, entre otros. (Dávila & Cortés, 2017).

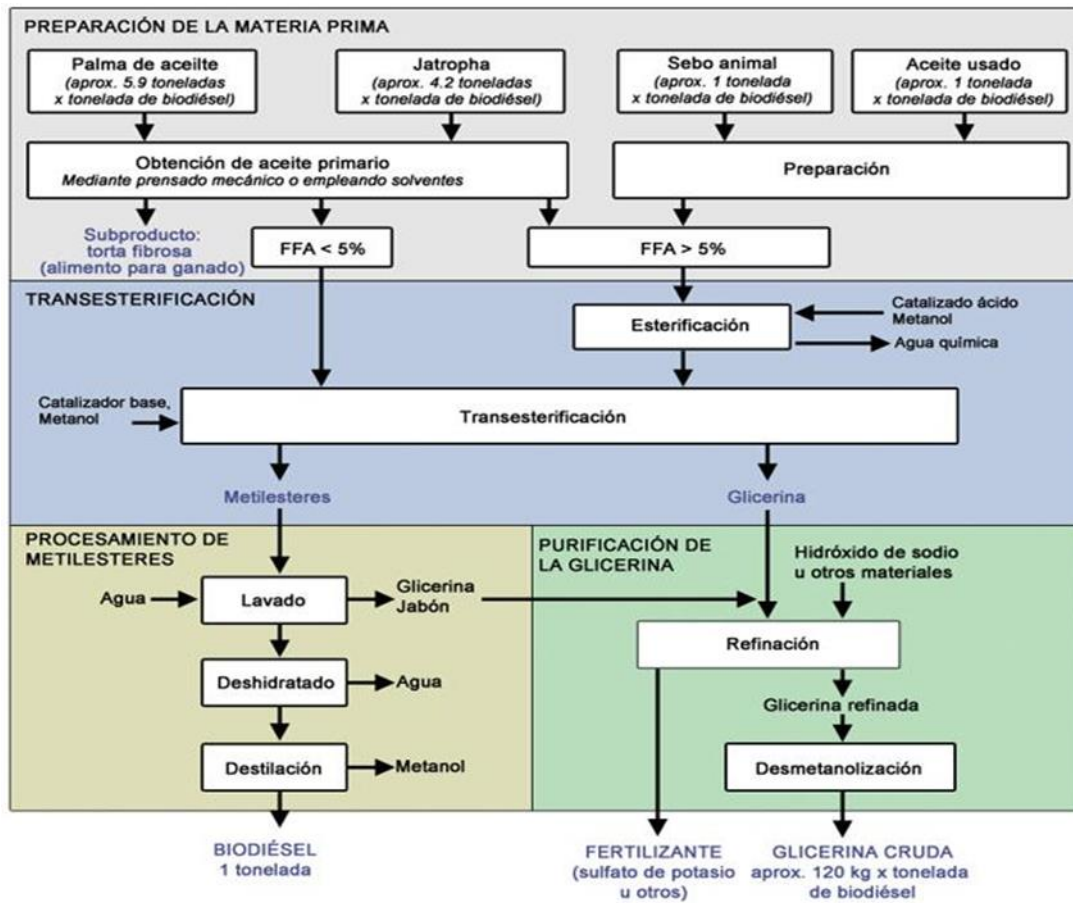
4.2.7.3 Origen Mineral

Son aquellos que se obtienen mediante la refinación del petróleo, son utilizados por lo general como lubricantes. (Dávila & Cortés, 2017)

4.2.8 Proceso para Obtención de Biodiesel

La ilustración 2 es un esquema en donde se explica cómo es el curso para la obtención de biodiesel, teniendo en cuenta las diferentes materias primas que se pueden utilizar, el método de transesterificación y su proceso final.

Ilustración 1: Esquema general del Proceso para la obtención de biodiesel



Fuente: Dávila & Cortés, 2017.

Un aceite de características conocidas reacciona a temperaturas moderadas (60-65 ° C aproximadamente) con metanol en presencia de un catalizador comúnmente básico como el hidróxido de sodio o potasio; en una reacción conocida como transesterificación, en la cual se hidrolizan los enlaces éster de los triglicéridos obteniendo nuevos ésteres con los ácidos grasos liberados en la hidrólisis y el alcohol sencillo que se utiliza como reactivo. Como producto secundario de la reacción se presenta la glicerina, un producto secundario de gran valor añadido, el cual puede tener salidas en el sector químico, agrario ó alimentario. (Herrera & Vélez, 2008).

En un proceso productivo a gran escala se pueden obtener a partir de una tonelada de aceite, de 156 Kilogramos de metanol y de 9,2 Kilogramos de hidróxido de potasio 956 Kg de biodiesel y 178 Kilogramos de glicerina sin refinar, teniendo la oportunidad de recircular 23 Kg de metanol (15). Las principales variables que influyen en el rendimiento, conversión y cinética de la

reacción de transesterificación son la calidad de la materia prima, el tipo y cantidad de catalizador, el tipo de alcohol, la relación molar alcohol/aceite y las condiciones de reacción como temperatura, presión y agitación. (Herrera & Vélez, 2008).

4.2.9 Reacción de transesterificación

El proceso químico mediante el cual se obtiene el biodiesel es conocido como reacción de transesterificación. Este proceso implica la reacción de una molécula de triglicérido (TAG) con otra de un alcohol monohídrico de cadena corta, generalmente en presencia de un catalizador y a temperatura elevada para formar ésteres alquílicos (EA) y glicerol como productos. La conversión de los triglicéridos (TAG's) a biodiesel es un proceso que se da paso a paso, en el cual, inicialmente el alcohol en forma de anión alcóxido reacciona con el TAG para producir FAAE y diglicéridos (DAG's), los cuales reaccionan con moléculas de alcóxido nuevamente para liberar otra molécula de FAAE y generar monoglicéridos (MAG's). Por último, los MAG's experimentan alcoholólisis para producir glicerol y EA, que combinados son conocidos colectivamente como biodiesel. Tres moles de biodiesel y un mol de glicerol son producidos por cada mol de TAG que experimenta una conversión completa (Mosser, 2009).

4.2.9.1 Variables que afectan a la reacción de transesterificación

➤ Acidez y humedad

Los contenidos de ácidos grasos y de humedad son los parámetros determinantes de la viabilidad del proceso de transesterificación del aceite vegetal. Para que se realice la reacción completa se necesita un valor de ácidos grasos libres, menor al 3%. Cuanta más alta es la acidez del aceite, menor es la conversión. Además, tanto el exceso como la deficiencia de catalizador pueden producir la formación de jabón, sumado a la presencia de

humedad que disminuye el rendimiento de la reacción, pues el agua reacciona con los catalizadores formando jabones. (Herrera & Vélez, 2008).

Si las grasas animales o los aceites vegetales, con valores altos de FFA, se quieren utilizar para producir biodiesel, es necesario refinarlos con una neutralización, utilizando una solución de NaOH para eliminar los ácidos grasos libres. Igualmente, el proceso de catálisis ácida también se puede usar para la esterificación de estos ácidos grasos y en un segundo paso se realiza la transesterificación con un catalizador alcalino, para completar la reacción. (Herrera & Vélez, 2008).

El jabón resultante provoca un aumento de viscosidad o formación de geles que interfieren en la reacción y en la separación del glicerol. (Herrera & Vélez, 2008).

➤ Tipo de catalizador y concentración

Si el aceite usado tiene un alto grado de ácidos grasos y elevada humedad los catalizadores ácidos son los más adecuados. Estos ácidos pueden ser sulfúrico, fosfórico o ácido sulfónico orgánico. En los procesos de metanólisis alcalina los principales catalizadores usados han sido el hidróxido potásico y el hidróxido sódico. Se han probado catalizadores de metales alcalino-térreos. El proceso se lleva a cabo si aparecen iones de metóxido en la reacción intermedia. Los hidróxidos alcalinotérreos, alcóxidos y óxidos catalizan la reacción más lentamente. Aunque el proceso de transesterificación, con catalizadores alcalinos, para transformar los triglicéridos en sus correspondientes esteres metílicos tiene una conversión muy alta en un periodo más corto de tiempo, tiene algunos inconvenientes: el catalizador debe ser separado del producto final, la recuperación del glicerol puede resultar difícil, el agua alcalina resultante del proceso debe ser tratada y los ácidos grasos y el agua afectan a la reacción. (Herrera & Vélez, 2008).

➤ Relación molar de alcohol / aceite y tipo de alcohol

La relación estequiométrica requiere tres moles de alcohol y un mol de triglicérido para producir tres moles de esteres y un mol de glicerol. La transesterificación es una reacción de equilibrio que necesita un exceso de alcohol para conducir la reacción al lado derecho. Para una conversión máxima se debe utilizar una relación molar de 6:1. En cambio un valor alto de relación molar de alcohol afecta a la separación de glicerina debido al incremento de solubilidad. Cuando la glicerina se mantiene en la solución hace que la reacción revierta hacia la izquierda, disminuyendo el rendimiento de los ésteres.

4.3 MARCO CONCEPTUAL

En la presente investigación se tendrán en cuenta los siguientes conceptos, que facilitarán el entendimiento de esta.

Aceite de cocina usado (ACU): producto de origen vegetal constituido básicamente por glicéridos de ácidos grasos principalmente triglicéridos, cuyas características fisicoquímicas han sido modificadas al ser sometido a cocción de alimentos en los ámbitos domésticos, industrial, comercial y de servicios (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2018).

Aceite vegetal comestible (AVC): producto alimenticio principalmente constituido por glicéridos de ácidos grasos obtenidos únicamente por fuentes vegetales, que podrán contener pequeñas cantidades de otros lípidos tales como fosfátidos de constituyentes insaponificable y de ácidos grasos libres naturalmente presentes en el aceite (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2018).

Almacenamiento: ubicación temporal del aceite de cocina usado en recipientes, depósitos y/o contenedores para su recolección con fines de aprovechamiento (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2018).

Aprovechamiento: proceso de transformación que permite emplear el aceite de cocina usado dentro de la cadena productiva, que cumpla con las normas y especificaciones técnicas y ambientales aplicables (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2018).

Biocombustibles: Es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa, nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado de un proceso de conversión fotosintético; la energía de la biomasa deriva del material vegetal y animal, como la madera de los bosques, los residuos de procesos agrícolas y forestales, de la basura industrial, humana o animal (Hernández & Hernández, 2008).

Biodiesel: El biodiesel se define como un metil éster obtenido a partir de aceites vegetales o grasas animales, de características similares al diesel, que se prestan a sustituirlo total o parcialmente como combustible de motores de combustión interna, puesto que su uso representa una excelente opción desde el punto de vista ecológico al reducir las emisiones de dióxido de carbono y la dependencia de fuentes de energía no renovables (Encinar et al., 2011).

Catálisis: mecanismo a través del cual se acelera la velocidad de un proceso o reacción química, gracias a la acción de un agente catalizador (Padilla & Muñoz, 2016)

Generador industrial, comercial y servicios de ACU: toda persona que genere ACU dentro de sus actividades industriales, comerciales y de servicio (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2018).

Gestor de ACU: es la persona que realiza las actividades de recolección, tratamiento y/o aprovechamiento de ACU dentro del marco de la gestión y cumpliendo con los requerimientos de la normatividad vigente (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2018).

Metanol: El Metanol es un líquido incoloro, volátil e inflamable con un ligero olor alcohólico en estado puro. Es un líquido altamente venenoso y nocivo para la salud. Es miscible en agua, alcoholes, esteres, cetonas y muchos otros solventes; además, forma muchas mezclas azeotrópicas binarias. Es poco soluble en grasas y aceites (Ibarra, 2010).

4.4 MARCO CONTEXTUAL

Valledupar es un municipio colombiano, capital del departamento del Cesar. Es la cabecera del municipio homónimo, el cual tiene una extensión de 4493 km², 443.414 habitantes y junto a su área metropolitana reúne 662 9413 habitantes; está conformado por 25 corregimientos y 102 veredas. El casco urbano tiene una longitud norte-sur de 8.3 km y este-oeste de 6.2 km, se encuentra a una altitud que oscila entre los 220 m al norte y 150 m a sur, siendo la altitud media de 168 m.

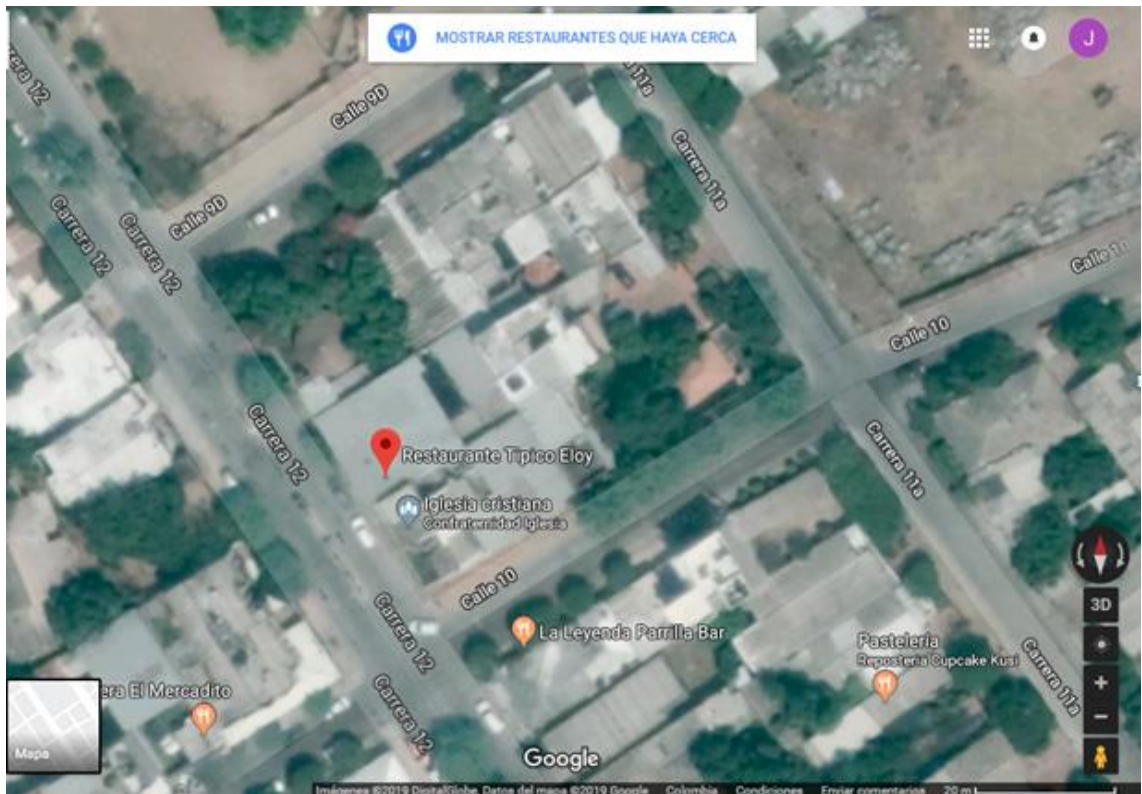
Está ubicada al nororiente de la Costa Caribe colombiana, a orillas del río Guatapurí, en el valle del río Cesar formado por la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía del Perijá. El municipio de Valledupar limita por el Norte con los departamentos de Magdalena y la Guajira, por el Sur con los municipios de San Diego, La Paz y el Paso, por el Este con la Guajira y los municipios de San Diego y la Paz y por el Oeste con el Magdalena y los municipios de Bosconia y el Copey.

Está conformado por 6 zonas geográficas: Zona Norte: consta de 5 corregimientos y 42 veredas. Corregimientos: Atanquez, Guatapurí, Chemesquemena, La Mina, Los Haticos. Zona Nororiental: 10 corregimientos y 4 veredas. Corregimientos: Guacoche, Guacochito, La Vega arriba, Los Corazones, El Jabo, Las Raices, El Alto la Vuelta, Badillo, Patillal y Rio Seco. Zona Suroriental: 2 corregimientos y 13 veredas. Corregimientos: Aguas Blancas y Valencia de Jesús. Zona Sur: 4 corregimientos y 15 veredas. Corregimientos: Guaimaral, Caracolí, Los Venados, El Perro. Zona Suroccidental: 2 corregimientos y 30 veredas. Corregimientos: Mariangola y Villa Germania y Zona Noroccidental: 2 corregimientos y 21 veredas. Corregimientos: Sabana Crespo y Azúcar Buena.

El restaurante de nombre Típicos Eloy se encuentra ubicado en la dirección: carrera 12 # 9D-27 barrio San Joaquín, comuna 6 de la ciudad de Valledupar.

4.4.2 Localización

Ilustración 2 Localización de la empresa típicos Eloy.



Fuente: Google maps.

Ilustración 3.. Empresa Típicos Eloy.



Fuente: Google Maps.

4.5 MARCO LEGAL

A continuación, se referencia el marco normativo ambiental aplicable a la gestión de aceites usados y protección del medio ambiente:

Tabla 2. Normatividad legal aplicable al estudio

Normatividad	Descripción
Constitución política de Colombia 1991	<p>Artículo 8: Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación.</p> <p>Capítulo 3: De los derechos colectivos y del ambiente. El estado colombiano debe proteger tanto la diversidad como la integridad del medio ambiente y planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, con el propósito de garantizar el desarrollo sostenible de la nación, previniendo y controlando factores de deterioro ambiental. (artículo 78,79,80,81,82)</p>
Ley 9 de 1979	código sanitario nacional.
Ley 99 de 1993	ley general ambiental de Colombia.
Ley 939 de 2004	por medio de la cual se subsanan los vicios de procedimiento en que incurrió en el trámite de la Ley 818 de 2003 y se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en Motores diésel y se dictan otras disposiciones.
Ley 1715 del 2014	La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de

	<p>energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.</p>
<p>Resolución 0631 de 2015</p>	<p>por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.</p>
<p>Resolución 316 de 2018:</p>	<p>por la cual se establecen disposiciones relacionada con la gestión de los aceites de cocina usados y se dictan otras disposiciones.</p>

Fuente: Elaboración propia

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE ESTUDIO

El estudio es de tipo **descriptivo** porque permitió caracterizar, analizar, contextualizar y realizar de forma detallada el proceso de producción de biodiesel a partir de aceites de frituras; su enfoque es **cuantitativo** porque permitió la expresión de resultados mediante términos porcentuales tablas y gráficos, para una mejor apreciación de los resultados; **de corte transversal** porque los datos recolectados fueron analizados en un periodo de tiempo determinado por los investigadores.

5.2 POBLACIÓN

La población de este estudio corresponde a los visitantes de este restaurante que en promedio son 300 personas diarias.

5.3 MUESTRA

La muestra son 3 litros de aceite que fueron utilizado o sometido al proceso de generación de biodiesel.

5.4 DESARROLLO METODLÓGICO

5.4.1. Fase 1: Revisión bibliográfica

Se realizó a partir de una minuciosa consulta de textos, artículos científicos, documentos académicos, conceptos especializados de revistas, información relacionada de trabajos de campo y otras fuentes de información sobre la obtención de biodiesel a partir de aceites de frituras por medio de métodos caseros.

5.4.2. Fase 2: Pretratamiento

Recolección de aceite

Se recolectaron 3 litros de aceite usados en frituras, el cual se depositó en un recipiente plástico, luego se realizó la filtración por medio de dos tamices de 45

micras y 106 micras de abertura, inmediatamente se calentó el aceite a 100 °C durante una hora, y se realizó un lavado con agua a una temperatura de 80 °C y se volvió a calentar el aceite hasta que esté dejará de burbujear el agua presente como se observa en la siguiente ilustración. Luego nuevamente se filtró el aceite por medio de una bomba de vacío que ejercía una presión de 40 kpa y se utilizó papel filtro de 5 micras. Posterior a esto, se centrifugó el aceite agregando 50 ML de aceite a unos tubos de ensayo de pasta y se le agrego 0,25 ml de agua previamente calentada a 80°C se dejó centrifugar por 20 minutos a 45 rpm y nuevamente se puso a calentar el aceite con el fin de eliminar el agua presente.

5.4.3. Fase 3: Caracterización fisicoquímica del aceite

Tomando como referencia el criterio de Galeano y Guapacha (2011) los parámetros por analizar durante el proyecto para los aceites de acuerdo con las normas NTC, son:

Tabla 3. Parámetros para caracterizar fisicoquímica el aceite

Parámetro	Norma
NTC 218	Índice de acidez
NTC 335	Índice de saponificación
NTC 432	Densidad Absoluta (peso aceite/vol. Picnómetro); Densidad Relativa (peso aceite / peso del agua)

Fuente: Elaboración propia

5.4.4. Fase 4: Producción de biodiesel

Medina y Ospina (2011) proponen los siguientes pasos para la producción de biodiesel.

Para la obtención de biodiesel se siguió el siguiente proceso:

- Se trabajó una relación molar metanol: aceite 1:6 (se escogió esta según la literatura citada que dice que es la relación más efectiva para el proceso de transesterificación).

- Se determinó el Peso Molecular de Ácidos Grasos (PMAC) de acuerdo con el índice de saponificación, así:

$$\text{Peso molecular ácidos grasos} = \frac{1}{Is} * \frac{PM\ KOH\ 1000\ mg}{1\ mol\ 1\ g}$$

- Se determinó el Peso Molecular Triglicéridos (PMTG), así:

$$\text{Peso molecular de triglicerios} = (3 * PMAG + (3 * PMC) + (2 * PMH))$$

- Luego, se determinó la Masa Triglicéridos (MTG)

$$\text{Masa de triglicerios} = \text{cantidad de aceite} * \text{densidad del aceite}$$

- De esta manera se calculó entonces el número de moles de metanol

$$n_{\text{metanol}} = \frac{MTG}{PMTG}$$

- Número de moles 2 de metanol

$$n_2\text{metanol} = n_{\text{metanol}} * \text{relación molar metanol: aceite}$$

- Masa del metanol: mmetanol

$$\text{Masa del metanol} = n_2\text{metanol} * PM\ \text{metanol}$$

- Volumen del metanol: Vmetanol

$$V_{\text{metanol}} = \frac{\text{masa del metanol}}{\text{densidad del metanol}}$$

- Cantidad de catalizador (se trabajó al 1%)

$$KOH = \% * 100\ ml * \text{densidad del aceite}$$

- Las cantidades de metanol y catalizador se mezclaron de manera homogénea por medio de agitación y luego se calentaron los 200 ml de aceite a una temperatura de 60°C.
- Posterior a esto se agregó el metóxido de potasio a los 200 ml de aceite y se hizo un montaje conectando un condensador de reflujo al matraz

que contiene el metóxido y el aceite y se coloca sobre la plancha de calentamiento a 60 °C y agitación de 380 rpm sobre un baño de maría y se toma el tiempo de reacción de 2 horas al momento de que la solución llegue a los 60 °C.

- Pasadas las 2 horas se desmontó el proceso de transesterificación y la solución se introdujo en un embudo de decantación con el fin de que se separara el biodiesel de la glicerina, y se almacena en un Becker
- Luego se hizo el lavado del biodiesel con el fin de eliminar impurezas y restos de glicerina, para luego terminar con un secado al biodiesel
- Por último, se determinó el rendimiento del biodiesel, así:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Volumen final}}{\text{Volumen inicial}} * 100$$

5.4.5. Fase 5: Determinar las propiedades del biodiesel

Galeano y Guapacha (2011) consideran que las propiedades del biodiesel que se deben estudiar de acuerdo con ASTM son:

- **Gravedad Especifica (Densidad relativa):** La gravedad específica o densidad relativa al igual que la densidad, está directamente relacionada con la gravedad API, los valores según la norma van de 0,8607 a 0,9007,
- **Punto de Nube, °C:** los valores deben ser lo más bajo posible para poder ser empleados en climas fríos.
- **Acidez Método AT, mg KOH/g:** por el método ASTM D-664, cuyo valor límite es 0,5 mg de KOH/g.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. PRETRATAMIENTO

Primero se realizó un filtrado con dos tamices de 45 micras y 106 micras de abertura como se muestra la ilustración 4.

Ilustración 4. Proceso de pretratamiento del aceite



Fuente: Elaboración propia

Luego se calentó el aceite a 100 °C durante una hora posterior a eso se realizó un lavado con agua a una temperatura de 80 °C y se volvió a calentar el aceite hasta que esté dejará de burbujear el agua presente como se observa en la siguiente ilustración.

Ilustración 5. Proceso de lavado y secado del aceite



Fuente: Elaboración propia

Luego nuevamente se filtró el aceite por medio de una bomba de vacío que ejercía una presión de 40 kpa y se utilizó papel filtro de 5 micras.

Ilustración 6. Filtración del aceite por medio de una bomba de vacío



Fuente: Elaboración propia

Posterior a esto, se centrifugó el aceite agregando 50 ML de aceite a unos tubos de ensayo de pasta y se le agregó 0,25 ml de agua previamente calentada a 80°C se dejó centrifugar por 20 minutos a 45 rpm y nuevamente se puso a calentar el aceite con el fin de eliminar el agua presente.

Ilustración 7. Proceso de centrifugado y secado



Fuente: Elaboración propia

6.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE

Tomando como referencia el criterio de Galeano y Guapacha (2011) los parámetros por analizar durante el proyecto para los aceites de acuerdo con las normas NTC, son:

NTC 335: Índice de saponificación del aceite

De acuerdo con la norma se necesita una solución etanólica, 2 gr de aceite, solución de Ácido clorhídrico (HCL) de 0,5 M y fenolftaleína. El HCL suministrado por el laboratorio de la Universidad Popular del Cesar tenía una concentración de 37% y una densidad de 1,190 g/ml.

Para preparar la solución de HCL 0,5 M se hicieron los siguientes cálculos:

$$\frac{37\%}{100 \text{ ml}} = \frac{370 \text{ ml}}{1 \text{ l}} = 370 \text{ ml} * 1,190 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = \frac{440,3 \text{ g}}{1 \text{ l}}$$

Peso molecular del HCL= 36,46 gr/mol

$$440,3 \text{ gr} * \frac{1 \text{ mol}}{36,46 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}} = 12,07 \text{ M}$$

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

$$V_1 = \frac{V_2 C_2}{C_1} = \frac{100 \text{ ml} \times 0,5 \text{ M}}{12,07 \text{ M}} = 4,14 \text{ ml HCL}$$

Entonces, se midieron 4,14 ml de HCL y se completó hasta 100 ml con agua destilada. Luego, para el índice de saponificación se hicieron dos pruebas, así:

Porción de ensayo

Se pesaron 2 g de la muestra de ensayo (aceite) en un matraz cónico, además, con una pipeta se añadió 25 ml de la solución etanólica de hidróxido de potasio hasta que este llegó a su punto ebullición. Luego, se conecta el condensador de reflujo al matraz o Erlenmeyer, y luego éste sobre el dispositivo de calentamiento y se dejó ebullición ligeramente, agitando esporádicamente por 1 h.

Posterior a esto, se añadió a la solución caliente 3 gotas de fenolftaleína y se tituló con la solución volumétrica de HCL estándar hasta que desapareció el color rosa indicador y se anotó el volumen gastado.

Ilustración 8. Montaje y procedimientos para la porción de ensayo



Fuente: Elaboración propia

Ensayo en blanco

Se realizó un ensayo en blanco siguiendo el procedimiento especificado para la porción de ensayo, pero omitiendo la porción de ensayo (2 g de aceite).

Entonces,

Volumen gastado para la porción de ensayo: 8,5 ml de HCL

Volumen gastado para el ensayo en blanco: 23 ml de HCL

Índice de saponificación

$$I_s = (V_0 - V_1) * C * \left(\frac{56,1}{m}\right)$$

Dónde:

V₀ = es el volumen, en mililitros, de la solución volumétrica normalizada de ácido clorhídrico que se usa para el ensayo en blanco.

V₁ = es el volumen, en mililitros, de la solución volumétrica estándar de ácido clorhídrico que se usa para la determinación

C = es la concentración exacta, en moles por litro, de la solución volumétrica estándar de ácido clorhídrico

m = es la masa, en gramos, de la porción de ensayo

$$I_s = (23 \text{ ml} - 8,5 \text{ ml}) * 0.5 \text{ M} * \left(\frac{56,1}{2 \text{ g}}\right)$$

$$I_s = 203,725 \text{ mg KOH/g}$$

De acuerdo con la norma el índice debe estar dentro del rango de 170 a 200, sin embargo, en esta investigación el índice esta por fuera del rango, pero haciendo consultas con expertos en el tema nos sugirieron trabajar con ese valor ya que no está muy lejos del estipulado por la norma.

Índice de acidez del aceite

De acuerdo con la NTC 218, se deben pesar 7 g de aceite pretratado, 50 ml de etanol, fenolftaleína e hidróxido de potasio al 0,1 M (esta solución fue brindada en el laboratorio).

Porción de ensayo

En el primer matraz se pesan 7 gr de muestra para obtener una acidez esperada entre 1-4. En un segundo matraz se calienta a ebullición 50 ml de etanol que contenían 3 gotas de fenolftaleína. Mientras la temperatura esta sobre 70 °c, se neutraliza cuidadosamente con la solución de KOH al 0,1 M, el punto final de la titulación se alcanzó cuando la solución cambio de color a un rosa claro que permaneció por unos 15 s.

Se agregó el etanol neutralizado a la porción de ensayo en el primer matraz y se mezcló muy bien. Se llevó el contenido a ebullición y se tituló con la solución de KOH hasta que la solución se tornó de color rosa. A continuación, se anotó el volumen gastado.

Ilustración 9. Montaje y procedimiento para determinar la porción de ensayo



Fuente: Elaboración propia

Entonces,

Volumen gastado para la porción de ensayo: 1,6 ml

Índice de acidez

$$I_A = \frac{56,1 * v * c}{m}$$

Dónde:

V: es el volumen, en mililitros, de la solución volumétrica normalizada de KOH.

C: es la concentración exacta, en moles por litro, de la solución volumétrica normalizada de KOH.

m: es la masa, en gramos, de la porción de ensayo.

$$I_A = \frac{56,1 * 1,6 \text{ ml} * 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{l}}}{7 \text{ g}}$$

$$I_A = 1,28$$

Cumple con el valor de la norma que es entre 1 y 4)

Acidez

$$A = \frac{V * C * M}{10 * m}$$

Donde:

V: es el volumen, en mililitros, de la solución volumétrica normalizada de KOH.

C: es la concentración exacta, en moles por litro, de la solución volumétrica normalizada de KOH.

m: es la masa, en gramos, de la porción de ensayo

M: es la masa molar, en gramos por mol, del ácido escogido para la expresión de los resultados

$$A = \frac{1,6 \text{ ml} * 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{l}} * 200 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{10 * 7 \text{ g}}$$

$$A = 0,46$$

De acuerdo con la norma la acidez debe estar por debajo de 3%, es decir que el valor calculado en este estudio está dentro del rango.

Densidad del aceite

Se hizo por medio de un picnómetro con el siguiente procedimiento:

Se pesó el picnómetro tapado y vacío en la balanza y luego se le adiciono aceite hasta el tope del picnómetro y se tapó y se pesó nuevamente, obteniendo los siguientes datos:

Masa del picnómetro vacío: 17,8520 g

Masa del picnómetro con el aceite: 27,1705 g

Volumen del picnómetro: 10,134 ml = volumen del aceite

Se procede a hacer la diferencia entre las masas obtenidas para obtener la masa del aceite

Masa del picnómetro más aceite – masa del picnómetro vacío

$$27,1705 - 17,8520 = 9,3185 \text{ g} = \text{masa del aceite}$$

Ahora hallamos la densidad del aceite

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{9,3185 \text{ g}}{10,134 \text{ ml}} = 0,919 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

6.3. OBTENCIÓN DEL BIODIESEL A PARTIR DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN

Cálculos para determinar la cantidad de metanol y catalizador por utilizar

Se trabajó una relación molar metanol: aceite 1:6 (se escogió esta según la literatura citada que dice que es la relación más efectiva para el proceso de transesterificación).

Volumen de aceite para la obtención de biodiesel: 200 ml

Peso Molecular de Ácidos Grasos (PMAG):

$$PMAG = \frac{1}{203,725 \text{ mg KOH/g}} * \frac{56,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{1 \text{ mol}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}$$

$$PMAG = 275,37 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Peso Molecular Triglicéridos (PMTG)

$$PMTG = (3 * 275,37 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + (3 * 12 \frac{\text{g}}{\text{mol}}) + (2 * 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}))$$

$$PMTG = 864,11 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Masa Triglicéridos (MTG)

$$MTG = 200 \text{ ml} * 0,919 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$MTG = 183,8 \text{ g}$$

Número de moles de metanol

$$n_{\text{metanol}} = \frac{183,8 \text{ g}}{864,11 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$$

$$n_{\text{metanol}} = 0,21 \text{ mol}$$

Número de moles 2 de metanol

$$n_2 \text{ metanol} = 0,21 \text{ mol} * 6$$

$$n_2 \text{ metanol} = 1,26 \text{ mol}$$

Masa del metanol: m_{metanol}

$$m_{\text{metanol}} = 1,26 \text{ mol} * 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$m_{\text{metanol}} = 40,32 \text{ g}$$

Volumen del metanol: V_{metanol}

$$V_{\text{metanol}} = \frac{40,32 \text{ g}}{0,792 \frac{\text{g}}{\text{ml}}}$$

$$V_{\text{metanol}} = 50,9 \text{ ml}$$

Cantidad de catalizador (se trabajó al 1%)

$$KOH = 0,01 * 100 \text{ ml} * 0,919 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$KOH = 0,92 \text{ g}$$

Con las cantidades de metanol y KOH se procedió a realizar el proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel, el cual se llevó a cabo con los siguientes parámetros:

Cantidad de aceite: 200 ml

Cantidad de metanol: 50,9 ml

Cantidad de KOH: 0,92

Temperatura de reacción: entre 60 °C y 64, 5 °C (esto debido a que el punto de ebullición del metanol es 65 °C)

Tiempo de reacción: 2h

Agitación: 380 rpm

En primer lugar, se midieron las cantidades de metanol y catalizador, luego se mezclaron de manera homogénea por medio de agitación durante 10 minutos (este proceso se hizo de manera hermética sobre una plancha con agitación). Mientras pasaban los 10 minutos se calentaron los 200 ml de aceite a una temperatura aproximada de 60°C. Luego se agregó el metóxido de potasio a los 200 ml de aceite y se hizo un montaje conectando un condensador de reflujo al matraz que contiene el metóxido y el aceite y se coloca sobre la plancha de calentamiento a 60 °C y agitación de 380 rpm sobre un baño de maría y se toma el tiempo de reacción de 2 horas al momento de que la solución llegue a los 60 °C.

Ilustración 10. Montaje para la obtención del biodiésel



Fuente: Elaboración propia

Pasadas las 2 horas se desmontó el proceso de transesterificación y la solución se introdujo en un embudo de decantación con el fin de que se separara el biodiesel de la glicerina; este proceso se tardó aproximadamente 5 minutos en hacerse visible a la vista y se dejó en reposo durante 17 horas para

obtener una buena separación. Cabe destacar que el biodiesel queda en la parte de arriba de color amarillo y la glicerina se posa debajo con un color oscuro.



Fuente: Elaboración propia

Pasadas las 17 horas se procedió a separar la glicerina del biodiesel y esta se fue depositando en un Becker como se muestra en la ilustración 10.

Ilustración 11. Separación del biodiésel de la glicerina



Fuente: Elaboración propia

Finalizado el proceso de separación continuamos con el lavado del biodiesel con el fin de eliminar impurezas y restos de glicerina. Este lavado se realizó agregando al embudo de decantación 200 ml de agua a una temperatura de 80 °C al agregar el agua se agitaba vigorosamente durante unos 30 segundos a 1 minuto con el fin de que se generará una interacción entre las dos partes, se

dejó reposar la mezcla durante 5 minutos o hasta que se viera una separación completa entre el biodiesel y el agua, luego se retiró el agua y se le agregaron 3 gotas de fenolftaleína con el fin de que está saliera con un pH neutro. Este proceso se realizó 6 veces (el lavado) siendo este último donde el agua no se tornó de color rosa lo cual indica que el agua ya estaba en su punto neutro.

Ilustración 12. Lavado de biodiesel



Fuente: Elaboración propia

Posterior al lavado se le hizo un secado al biodiesel por medio del montaje de filtración al vacío utilizando el reactivo de sulfato de potasio anhídrido el cual se esparció sobre el papel filtro que ya previamente había sido acomodado sobre el embudo buchner y por el cual se hizo pasar el biodiesel para su respectivo secado.

Ilustración 13. Secado del biodiesel



Fuente: Elaboración propia

Este proceso se volvió a realizar con las mismas cantidades de aceite, metanol y catalizador.

Rendimiento del biodiesel

Luego del proceso de transesterificación, separación de glicerina, lavado y secado del biodiesel se midió la cantidad del biodiesel obtenido el cual dio como resultado:

Volumen de biodiesel obtenido en los dos procesos: 335 ml

Total de glicerina obtenida de los dos procesos: 58 ml

La diferencia da 7 ml que seguramente se perdieron tanto el proceso de lavado como en el de proceso de secado.

A continuación, se tiene el rendimiento al biodiesel

$$\text{Rendimiento} = \frac{335 \text{ ml}}{400 \text{ ml}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 83,75\%$$

6.4. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL BIODIESEL OBTENIDO DE ACUERDO CON LAS NORMAS ASTM

Al biodiesel obtenido se le realizaron las siguientes pruebas en el laboratorio

Densidad relativa del biodiesel

Se realizó mediante el mismo procedimiento que se le halló al aceite obteniendo el siguiente valor:

$$\rho = \frac{8,912 \text{ g}}{10,134 \text{ ml}} = 0,881 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

Galeano y Guapacha (2011) de acuerdo con la norma ASTM 6751 MENCIONA QUE los valores de la densidad relativa del biodiesel deben estar entre 0,8607 a 0,9007.

Acidez del biodiésel

Se realizó mediante el mismo procedimiento que se le halló al aceite obteniendo el siguiente valor:

$$I_A = \frac{56,1 * 0,6 \text{ ml} * 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{l}}}{7 \text{ g}}$$

$$I_A = 0,48$$

Acidez

$$A = \frac{0,6 \text{ ml} * 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{l}} * 200 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{10 * 7 \text{ g}}$$

$$A = 0,17$$

De acuerdo con la norma AST 675 el valor del índice de Acidez no debe sobrepasar el 0,8.

Humedad del biodiesel

Para la determinación de la humedad del biodiesel se siguieron las directrices de la NTC 287, esta prueba se realizó pesando 5 gr de biodiesel en dos cajas de Petri respectivamente y se llevó a un horno con una temperatura de 103 °C durante 2 horas como especifica la norma como se observa en la siguiente ilustración:

Ilustración 14. Montaje para la determinación de humedad del biodiésel



Fuente: Elaboración propia

Pasadas las 2 horas se sacaron las dos cajas de Petri y se pesaron nuevamente anotando los valores para determinar el porcentaje de humedad por medio de la siguiente formula y obteniendo los siguientes resultados:

$$\% \text{ humedad} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} * 100$$

Siendo,

m_0 : masa de la caja de Petri sin la muestra

m_1 : masa de la caja de Petri más los 5 gr de muestra

m_2 : masa de la caja de Petri más los 5 gr de muestra después de pasadas las 2 horas en el horno.

Se hace la diferencia entre m_1 y m_2 para la caja de Petri grande

$$51,599 \text{ g} - 51,540 \text{ g} = 0,059 \text{ g}$$

Según la norma esta diferencia debe ser mayor a 0,03 gr o sea que si cumple

$$\% \text{ humedad} = \frac{51,599 \text{ g} - 51,540 \text{ g}}{51,599 \text{ g} - 46,564 \text{ g}} * 100 = 1,17\%$$

Según la norma el máximo del porcentaje es de 5% o sea que si cumple

Se hace la diferencia entre m_1 y m_2 para la caja de Petri pequeña

$$48,677 \text{ g} - 48,619 \text{ g} = 0,058 \text{ g}$$

Según la norma esta diferencia debe ser mayor a 0,03 gr o sea que si cumple

$$\% \text{ humedad} = \frac{48,677 \text{ g} - 48,619 \text{ g}}{48,677 \text{ g} - 43,669 \text{ g}} * 100 = 1,16\%$$

Según la norma el máximo del porcentaje es de 5% o sea que si cumple

Punto de nube

Esta prueba se hace con base a la temperatura teórica del punto de nube que esta entre 14 °C y 16 °C para el biodiesel.

El procedimiento se lleva a cabo llevando agua en un Becker a una temperatura de entre 14 y 16 °C y cuando el agua estuvo a dicha temperatura en un Erlenmeyer pequeño se toma una muestra de 50 ml de biodiesel y se introduce en el agua que está a la ya mencionada temperatura con el fin de observar a que temperatura se forman cristales o algo parecido a una nube en la parte inferior del biodiesel; en el caso de nosotros la temperatura a la cual se formó la nube o los cristales fue de 16 °C lo cual nos indica que este parámetro cumple.

Ilustración 15. Montaje para la determinación del punto de nube del biodiesel



Fuente; Elaboración propia

A continuación, con el equipo Spectrometro Fluid Scan, observar las características del equipo en el anexo 1, se pudo determinar que el porcentaje de biodiesel presente en la sustancia fue del 100%, la cantidad de glicerina fue de 0,143 mass %, verificar el índice de acidez: 0,37 mgKOH/g y el contenido de agua: 2505 ppm.

Ilustración 16. Resultados del Spectrometro Fluid Scan



Fuente: Elaboración propia

6.5. ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA

Para elaborar el análisis se utilizó el software minitab 17. Se trabajó con el diseño experimental de un solo factor con cinco tratamientos, tres replicas y un nivel de confianza de 95%, y se aplicó la prueba tukey con un nivel de significancia de 5%.

Análisis de varianza para el rendimiento de biodiesel

Se procedió a la realización del análisis de ANOVA con respecto al parámetro del rendimiento del biodiesel, con el fin de determinar si existía diferencia significativa entre los tratamientos aplicados.

Tabla 4. Diseño de un factor para el rendimiento del biodiesel

RB	Repeticiones (%)		
TTO	1	2	3
1	62,84	55,3	74,0
2	63,23	61,15	72,5
3	62,8	70,84	72,10
4	73,22	75,0	77,0
5	83,75	95,7	82,5

Autores, 2020

Al analizar la Tabla 8 suministrada por el software minitab 17, que, al comparar el valor de $F_{Calculada}$ (6.51) con el valor de $F_{Tabulada}$ (0.008) al 95% de significancia se observa que F_C es mayor que F_T , lo cual indica que hay significancia, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna, lo cual quiere decir que los tratamientos son significativamente diferentes. Y se procedió a realizar la prueba de tukey.

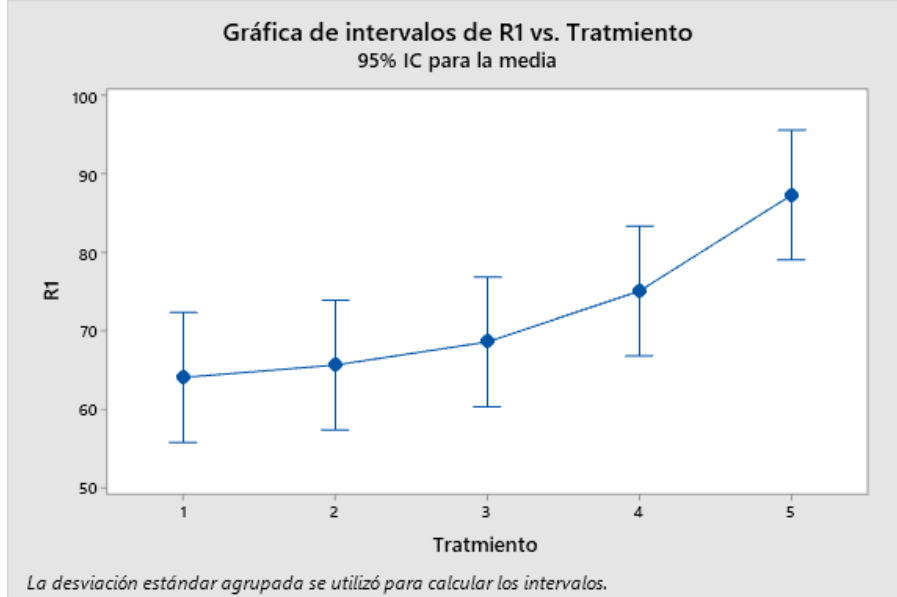
Tabla 5. Análisis de ANOVA para el rendimiento del biodiesel

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	1078.6	269.65	6.51	0.008
Error	10	414.3	41.43		
Total	14	1492.9			

Fuente: elaboración propia

Al realizar la prueba de tukey, se observa en el Gráfico 6 que en el intervalo no hay cero "0" lo cual corrobora que los tratamientos son significativamente diferentes, obteniendo un mayor rendimiento del biodiesel del ultimo tratamiento.

Gráfica 1. Diferencias del rendimiento de biodiesel de acuerdo con las repeticiones



Fuente: Autores, 2020

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El biodiesel se define como la mezcla de éster monoalquílico de ácido graso obtenido de aceites vegetales o grasas animales y constituye un combustible alternativo y ambientalmente más amigable respecto del Diesel, ya que es biodegradable, renovable y no es tóxico. (Rashid et al., 2009).

El contenido de humedad en este estudio es bajo teniendo en cuenta que se encuentra 4 puntos porcentuales por debajo de lo indicado en la norma. Este es un parámetro de suma importancia ya que la presencia de humedad disminuye el rendimiento de la reacción, pues el agua reacciona con el catalizador formando jabón. Los jabones son perjudiciales porque contaminan el producto final, y porque forman emulsiones muy estables. Por esto, debe asegurarse la menor cantidad de agua posible durante el proceso, lo cual implica un secado del aceite, con mayor exigencia cuando se utiliza aceite usado (Alfonso, 2013).

Los análisis del índice de acidez y % de ácidos grasos libres, muestran valores bajos, cuanto mayor son estos valores aumenta la posibilidad de que reaccionen con el catalizador y disminuya la eficiencia de la reacción de transesterificación. Debido a que el valor de índice de acidez no pasa del 2% (Sharma, Singh, & Upadhyay, 2008), no es necesario realizar un pretratamiento ácido y se puede pasar al proceso de transesterificación.

El índice de saponificación se refiere a la probabilidad de que un aceite o una grasa se transforme en jabón, por lo que, entre más alto el índice de saponificación mayor la probabilidad de presencia de jabón en el producto final de la transesterificación. El resultado obtenido del índice de saponificación presenta una disminución de casi el 50% en comparación con el índice del aceite de mayor presencia en la materia prima utilizada en el proyecto de Alfonso (2013), por lo cual el mismo autor permite intuir que el rendimiento en la obtención de biodiesel será alto como consecuencia del bajo índice de jabón, este resultado coincide con el valor de 203, 725 mg KOH/g, el cual se encuentra dentro del rango establecido en la norma (170 a 200).

8. CONCLUSIONES

Una vez puestos en conjunto todos los resultados estudiados en el anterior capítulo, y los objetivos planteados, se pudo sacar las siguientes conclusiones:

Con respecto a la caracterización fisicoquímica al aceite usado se determinaron 3 parámetros que son los más usados y dicientes en el proceso de producción de biodiesel, tales fueron: índice de saponificación, índice de acidez y densidad del aceite, mediante estos datos se determinó que la materia prima es apta para obtener biodiésel ya que los resultados obtenidos son similares a los de otros autores y los resultados cumplen con la NTC 218, 335 y 432.

Teniendo en cuenta la caracterización fisicoquímica se obtuvo biodiesel a partir del aceite usado mediante el proceso de transesterificación con una relación molar alcohol/aceite de 6:1 en un rango de temperatura de 60 °C y 64, 5 ° y 1% de catalizador con relación al aceite para el KOH. El rendimiento del biodiésel fue de 83,75% por lo cual se considera un combustible alternativo para sustituir a los energéticos convencionales, con el objeto de disminuir los Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Las propiedades que se caracterizaron al biodiésel de acuerdo con la norma ASTM fueron: Punto de nube, densidad y acidez los cuales cumplen con el rango establecido; y la humedad, la cual cumple con el valor de la norma por lo cual el biodiésel obtenido no se vio perjudicado por el contenido de agua lográndose un producto de buena calidad, además esto denota que el secado realizado en la etapa de pretratamiento fue totalmente eficiente.

Finalmente, los resultados obtenidos en este trabajo demuestran la factibilidad, viabilidad y sustentabilidad en el proceso de obtención de biodiésel, y, por tanto, su utilización en motores, o como lubricante, limpiador o disolvente, lo cual supone un ahorro significativo, tanto por la eliminación de los gastos de tratamiento residual, como por el partido que se le pueda sacar al propio biodiesel.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una campaña de concientización para dar a conocer los beneficios del proyecto, que contribuya a aumentar la participación de la población en la donación del aceite.

Continuar con la caracterización del biodiesel haciendo referencia a otros parámetros establecido por la norma ASTM.

Es considerable realizar un análisis de gases, con el cual se daría un referente sobre las emisiones de estos y la contaminación que produciría el biodiésel obtenido.

Cualquier estudio que se quiera replicar a partir de este o simplemente para la reducción de biodiesel debe prestarse especial importancia a la etapa de pretratamiento porque de esta depende la calidad del biodiesel producido.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, R. (2014). Obtención de biodiésel a partir de mezclas de aceite usado de cocina y aceite de palma. Tesis de pregrado. Universidad Santo Tomás. Bogotá, D.C. Recuperado de: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/717/Obtencion%20de%20biodiesel%20a%20partir%20de%20mezclas%20de%20aceite%20usado%20de%20cocina%20y%20aceite%20de%20palm.pdf?sequence=1>
- Barrera, J. & Cortés, E. (2017). Obtención de Biodiesel a partir del aceite de fritura. Tesis de pregrado. Universidad libre de Colombia. Bogotá, D.C. Recuperado de: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10393/Proyecto%20de%20Grado%20BIODIESEL%20%281%29%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Deudor, Y., et al. (2012). Empleo de biocombustible como fuente de energía calorífica en el ecuador. Recuperado de: <http://www.unmsm.edu.pe/cedit/linked/empleo%20de%20biocombustibles%20en%20el%20peru.pdf>
- Fedebiocombustibles. (2012). Cifras informativas del sector biocombustibles. Recuperado el 27 de enero de 2019, de: [http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Bio%20combustibles%20-%20BIODIÉSEL\(41\).pdf](http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Bio%20combustibles%20-%20BIODIÉSEL(41).pdf).
- García, M., Gandón, J., & Maqueira, Y. (2013). Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado. *Tecnología Química*, 33(2), 162-169. Recuperado en 28 de enero de 2019, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852013000200005&lng=es&tlng=es.
- Barrera, J. & Cortes, C. (2017). Obtención de biodiesel a partir del aceite de fritura. Tesis de pregrado. Universidad Libre de Colombia. Bogotá, D.C. Recuperado de: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10393/Proyecto%20de%20Grado%20BIODIESEL%20%281%29%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, M. Gandón, J. & Maqueira, Y. (2013). Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado. Ciudad Universitaria José Antonio Echevarría, CUJAE. La Habana, Cuba. Recuperado de:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852013000200005

López, L. Bocanegra, J. & Malagón, D. (2015). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado. Ingeniería y Universidad. Bogotá, D.C. recuperado de: <file:///C:/Users/JOSE/Downloads/5461-Article%20Text-45815-1-10-20150512.pdf>.

Álvarez, J. (2013). Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del refugio. Tesis de posgrado. Centro de investigación en materiales avanzados, S.C. Chihuahua, México. Recuperado de: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/349/1/Tesis%20Juan%20Antonio%20Alfonso%20Alvarez.pdf>.

Bulla, E. (2014). Diseño del proceso de producción del biodiesel a partir de aceites de fritura. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C. recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/45935/1/02300238.2014.pdf>.

Sanaguano, S. et al. (2016). Obtención de biodiesel a partir de aceite reciclado de frituras como fuente potencial de energía. Ecuador. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/315724385_Obtencion_de_biodiesel_a_partir_de_aceite_reciclado_de_frituras_como_fuente_potencial_de_energia

Núñez, M & García, P, (s. f) BIOCOMBUSTIBLES: Bioetanol y Biodiesel (Tesis de pregrado) Universidad de Santiago de Compostela, España.)
Recuperado de www.enciga.org/files/boletins/61/biocombustibles_bioetanol_y_biodiesel.pdf.

García, J & García, J (2006) biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol.

Informe de vigilancia tecnológica. Recuperado de http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/Publicacion/doc/VT/vt4_Biocarburantes_liquidos_biodiesel_y_bioetanol.pdf

Dávila & Cortés, (2017), Obtención De Biodiesel A Partir De Aceite De Fritura. Tesis de pregrado. Universidad libre. Bogotá, Colombia. Recuperado de:

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10393/Proyecto%20de%20Grado%20BIODIESEL%20%281%29%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vivas, (2010), Estudio Y Obtención De Biodiesel A Partir De Residuos Grasos De Origen Bovino. Tesis de pregrado. Universidad Tecnológica De Pereira. Pereira, Risaralda, Colombia. Recuperado de:
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2038/6626V856.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ortiz, (s. f) Reporte De Inteligencia Tecnológica Biodiésel. Instituto mexicano de petróleo. Mapas de Ruta Tecnológica para los Centros Mexicanos de Innovación en Energía (CEMIE´s). México. Recuperado de:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/313548/Reporte_Inteligencia_Tecnologica_BIODIESEL_270318.pdf

Castellar, Angulo & Cardozo (2014) Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos. Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Colombia. Recuperado de:
<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250640010>> ISSN 1692-8261

Herrera & Vélez, (2008). Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (biodiesel). Tesis de grado. Universidad Tecnológica De Pereira. Pereira, Colombia. Recuperado de:
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1059/6626H565.pdf?sequence=1>

Espada (2018) Cómo hacer biodiesel casero.
https://okdiario.com/howto/2018/07/22/como-hacer-biodiesel-casero-2705814?fbclid=IwAR2_EwQwb67BOKLY-HYM875WtLV7_MkAgRsEKzLatFOL-vcCe8F6YYD6JUM.

Pasquale & Ruiz, (2010). Biodiesel Casero Todo lo que hay que saber para fabricar un buen biodiesel. Centro de Estudios sobre el Desarrollo Sustentable. Buenos aires, Argentina. Recuperado de:
<http://nicolasdiruscio.com.ar/archivos/Libros/Biodiesel%20Casero.pdf>

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (2018). Resolución 0316. Bogotá, Colombia. Recuperado de:
<http://www.andi.com.co/Uploads/Resoluci%C3%B3n%20316%20de%202018-.pdf>

Hernandez, M & Hernández, J. (2008). Verdades y mitos de los biocombustibles. Instituto tecnológico de puebla. Puebla, México. Recuperado de: <https://elementos.buap.mx/num71/pdf/15.pdf>

Encinar, J. et al. (2011). Study of biodiesel production from animal fats with high free fatty acid content. Departamento de Ingeniería Química y Química Física. Universidad de Extremadura. Extremadura, España. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/336545816/Study-of-Biodiesel-Production-From-Animal-Fats-With-High-Free-Fatty-Acid-Conten>

Padilla, O & Muñoz, A. (2016). Principios de catálisis aplicados al control de emisiones ambientales. Sexta edición. ISAGEN. Medellín, Colombia. Recuperado de: <https://www.isagen.com.co/SitioWeb/delegate/documentos/publicaciones-tecnicas/2016/boletin-diciembre.pdf>

ANEXO 1. EVIDENCIAS

